چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

شواهد خوشه بندی هندسی در کاتالوگ زلزله های تهران

سید رضا مهرنیا

دانشیار دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین srmehrnia@ikiu.ac.ir

چکیده

بر اساس کاتالوگ زمین لرزه های استان تهران، در ربع قرن اخیر، حداقل 30 رومرکز با بزرگای M≥3 در پایتخت و شهرهای اطراف آن رخ داده اند که طبق تحلیل مکانی بعمل آمده، دارای نشانه های آشکاری از خوشه بندی هندسی هستند. از آنجا که توزیع زلزله های البرز مرکزی تابع مارپیچ لگاریتمی است، لذا از الگوریتم جدیدی برای تعیین شاخص تنیدگی رومرکزها و توالی مکانی آنها در مطابقت با سری نامتناهی فیبوناچی استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می دهند که در سال های اخیر، رومرکزهای بین شهرهای تهران، پاکدشت و ری دارای افراز غیرخطی با آرگومان هایی از نسبت های فی، اویلر و پی هستند. بدین ترتیب در جنوب و جنوب شرقی استان تهران، شاهد افزایش زلزله های هم استقامت با کمان های مارپیچ طلایی هستیم و خوشه بندی رویدادها، زمینه پیش بین مکانی آنها را فراهم نموده است. بر این اساس، افزایش ایستگاه های لرزه نگاری- شتاب نگاری و پایش دقیق آنها در حریم گسل های ری و پاکدشت توصیه شده است.

واژه‌های کلیدی

پیش بینی زلزله، تهران، درهم تنیدگی لرزه ای، مارپیچ لگاریتمی.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1. **متن مقاله**

در اغلب کشورهایی که با مخاطرات لرزه ای سروکار دارند، از روش های آماری برای پیش بینی زلزله ها استفاده می شود [1]. تاکنون مدل هایی که برای پیش بینی مکان، زمان و بزرگای زلزله ها ارائه شده اند، از پیش فرض تصادفی بودن رویدادهای لرزه ای استفاده نموده و علیرغم الگوریتم ها و مطالعات موردی متعدد، چندان موفق آمیز نبوده اند [1]. اما پیش فرض دیگری هم مطرح است که مفاهیم پایه خود را از سری نامتناهی فیبوناچی و تبعیت رویدادهای لرزه ای از توزیع مارپیچ لگاریتمی می گیرد. یعنی مدل هایی را ارائه می کند که به دنبال نظم هندسی رومرکزهای یک منطقه هستند و توالی آنها را شناسایی و برای پیش بینی مکانی زلزله ها استفاده می نمایند [2]. از آنجا که تحولات لرزه زمین ساختی البرز مرکزی، تابع فعالیت گسل های جوان است. لذا پایانه های گسلی که در زیر نهشته های رسوبی آتشفشانی کواترنری قرار گرفته اند، منشاء زمین لرزه های عهد حاضر هستند [3] و نشانه های بارزی از قبیل خمینگی پربندهای مغناطیسی [4] و تغییر رخساره های ثقلی [5] دارند. طبق تعریف، معیار خوشه بندی هندسی رومرکزها، بررسی رابطه بین نسبت های طلایی و تصادفی (فی ، اویلر و پی) می باشد که غالبا بر روی دایره های متحدالمرکز فیثاغورث و در سطح معینی تابع مارپیچ لگاریتمی افراز می گردد[2]. برای محاسبه ضرایب بین نسبت های طلایی و تصادفی از فرمول های (1) تا (3) استفاده می کنیم.

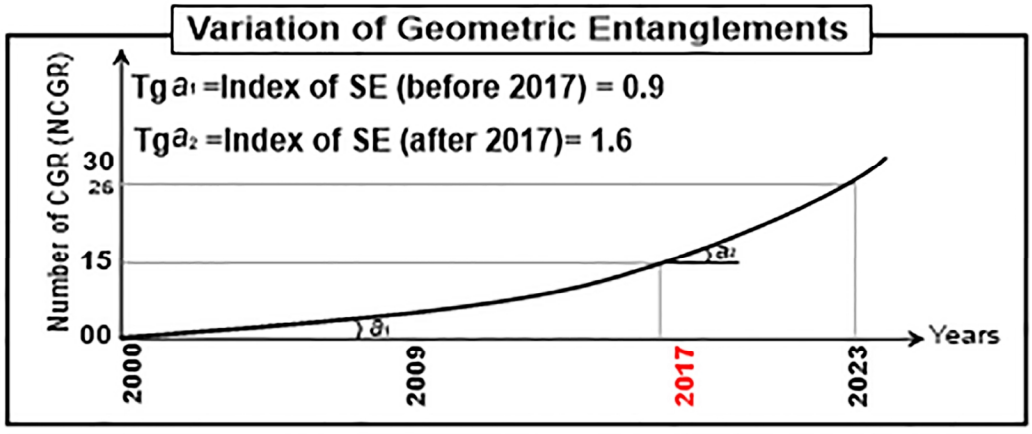
$$\text{Coefficient of Golden Ratios (CGR)} = 2.718/1.618 = 1.68 \qquad (1)$$

$$\text{Coefficient of Golden Ratios (CGR)} = 3.141/2.718 = 1.15 \qquad (2)$$

$$\text{Coefficient of Golden Ratios (CGR)} = 3.141/1.618 = 1.94 \qquad (3)$$

در این روابط، منظور از CGR ، ثابت طلایی بین دو کمان دلخواه از مارپیچ لگاریتمی است که به ترتیب بین سطوح فی- اویلر (1/68) ، اویلر- پی (1/15) و فی- پی (1/94) برقرار است.

نمودار شکل1، تغییرات CGR را برای زلزله های $M\geq3$ که بین سال های 2000 تا 2023 میلادی و در شعاع 50 کیلومتری پایتخت رخ داده اند، نشان می دهد. شیب خط CGR (در دستگاه مختصات دکارتی)، بیانگر نظم هندسی رویدادهاست و تحت عنوان شاخص تنیدگی هندسی (Geometric Entanglement) معرفی می گردد.



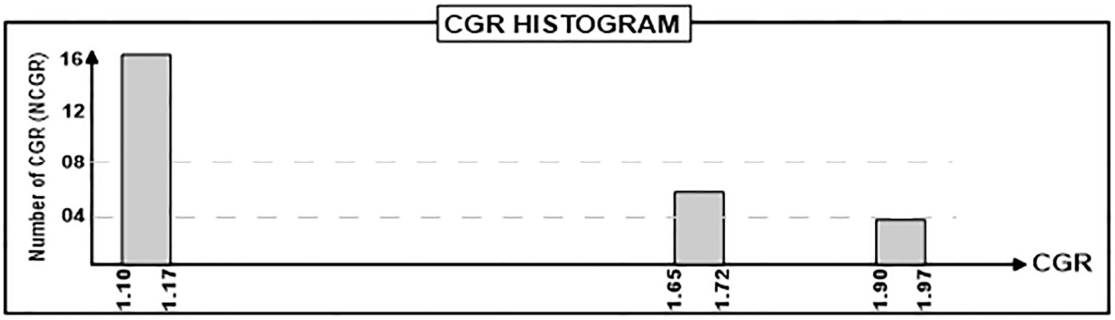
شکل 1. تغییرات سالیانه ضریب نسبت طلایی در شعاع 50 کیلومتری تهران (کاتالوگ پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله) شیب خط بیانگر شاخص تنیدگی لرزه ای (SE) می باشد.

چنانچه ملاحظه می گردد، نقطه عطف CGR، مربوط به سال 2017 میلادی است. یعنی پیش از زلزله 5/1 ملارد (غرب تهران)، شاخص تنیدگی هندسی زلزله های تهران 0/9 بوده، اما بعد از این رویداد، و تنها طی 6 سال (2017 تا 2023) به 1/6 افزایش یافته است که از نشانه های بارز خوشه بندی هندسی زلزله ها در محدوده مورد مطالعه است.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1,1. روش تحقیق

در این پژوهش از مفهوم درهم تنیدگی رویدادهای لرزه ای برای پیش بینی مکانی زلزله ها استفاده شده است. طبق تعریف، شاخص تنیدگی لرزه ای (Index of Seismic Entanglement) ، نوعی از پیوستگی های هندسی است که بدلیل تبعیت چشمه های لرزه ای از پایانه های گسلی جوان بوجود می آید [6] و الگوی توزیع آن با الگوی توزیع سری فیبوناچی مطابقت دارد [2]. روش متداول برای تعیین شاخص تنیدگی لرزه ای، استفاده از مختصات رومرکزها برای محاسبه شیب خط CGR است. مطابق نمودار شکل1، این شاخص برای بزرگای M≥3 و در شعاع تجسس50 کیلومتر محاسبه و با توجه به تغییرات سالیانه CGR، از نمودار شکل2، برای استنباط آماری آن استفاده شده است.



شکل 2. نمودار مستطیلی تعداد ضرایب طلایی (NCGR) در مقابل تغییرات آنها (CGR)، برای رومرکزهای درهم تنیده استان تهران

مطابق این نمودار، از 30 رویداد ثبت شده در تهران و شهرهای اطراف آن، 16رومرکز دارای ضرایب 1/1 تا 1/17 هستند و طبق فرمول (2)، مکان هندسی آنها با سطح توزیع اویلر- پی مطابقت دارد. همچنین تغییر ضرایب نسبت های طلایی برای 6 رومرکز بین 1/65 تا 1/72 و برای 4 رومرکز دیگر بین 1/90 تا 1/97 است که با عنایت به فرمول های (1) و (3)، به ترتیب نشان دهنده مطابقت هندسی آنها با سطوح فی- اویلر و فی- پی می باشد. بعبارت دیگر، حداقل نیمی از رومرکزهای ثبت شده در تهران، دارای نظم هندسی متناظر با تابع توزیع مارپیچ لگاریتمی هستند و مختصات آنها منطبق بر کمان هایی از این مارپیچ می باشد (پیش بینی مکانی زلزله ها).

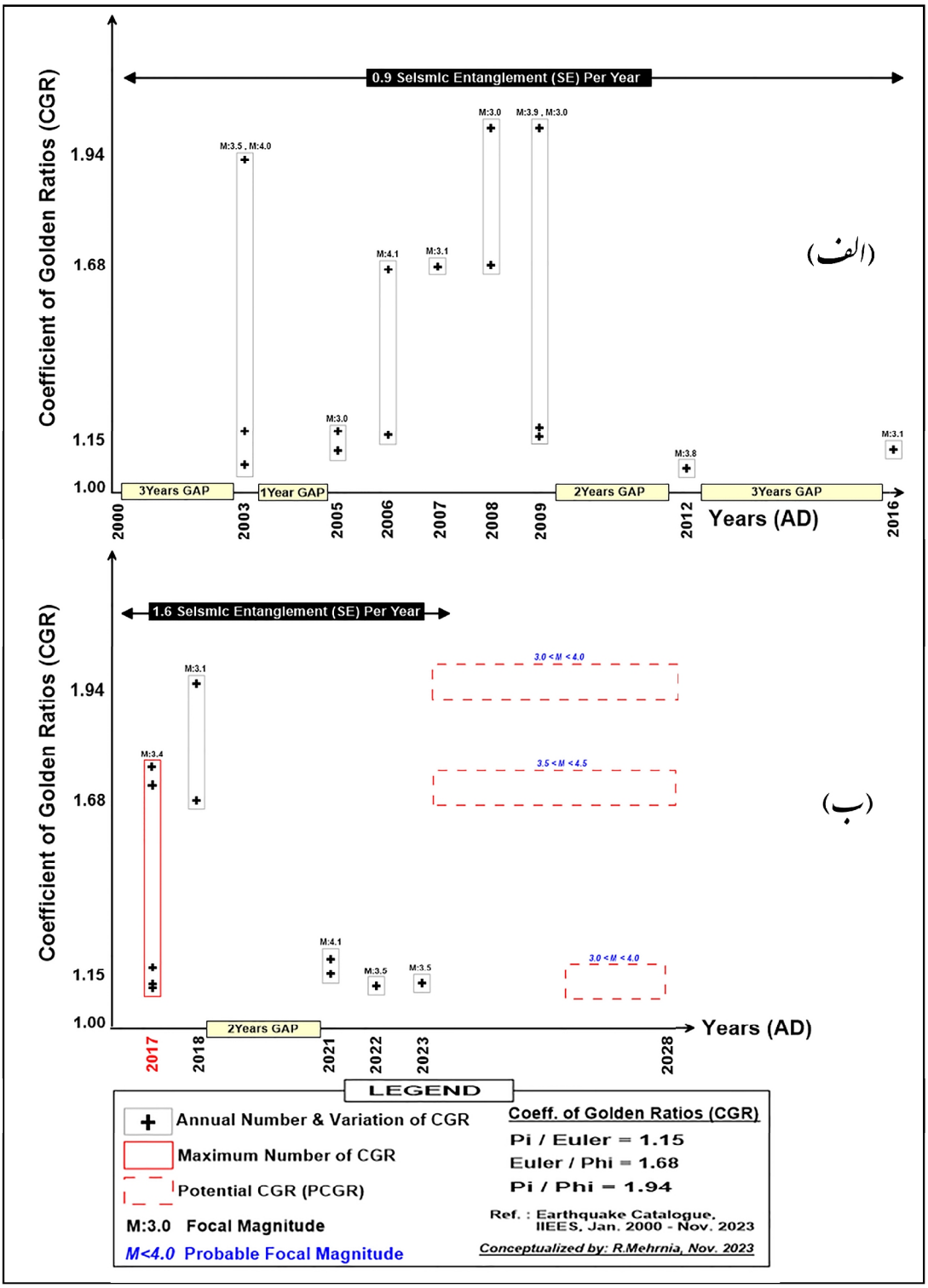
2,1. تحلیل مکانی نمودارهای CGR

از دیدگاه لرزه زمین ساختی، پایانه های گسلی البرز مرکزی، عامل اصلی لرزه خیزی منطقه هستند [3]. گسل های جوان دارای رومرکزهای خودسامانده بوده و خوشه های لرزه ای شبیه به مارپیچ تولید می کنند [2]. این رویدادها در فواصل زمانی معین رخ نمی دهند، اما رابطه مکانی معناداری با زلزله های قبل و بعد از خود دارند[7] که با استفاده از شاخص تنیدگی لرزه ای قابل ارزیابی می باشد.

$$Logz=Logr/\Theta \qquad (4)$$

در فرمول (4)، منظور از Logz ، لگاریتم شاخص درهم تنیدگی لرزه ای، منظور از عبارت Logr ، لگاریتم فاصله رومرکز مورد مطالعه از رویداد کانونی و پارامتر هندسی Θ ، زاویه بین کانون و رومرکز زلزله است که بر حسب رادیان و در دستگاه مختصات قطبی بیان می شود. بدین ترتیب با داشتن کاتالوگ زلزله های تهران (بازه زمانی و بزرگای معین)، امکان پیش بینی مکانی رویدادها بطور مستقل از تغییرات بزرگا و زمان وقوع آنها فراهم می گردد. در نمودار شکل3، تغییرات ضریب CGR ، به عنوان کمیت متناسب با شاخص تنیدگی رومرکزهای تهران در قالب نمودارهای (الف) و (ب) آمده است.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 3. تغییر ضرایب طلایی در رومرکزهای لرزه ای تهران و شهرهای اطراف آن (2000 تا 2023 میلادی)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هر دو نمودار بیانگر تغییرات سالیانه CGR هستند ، بطوری که نمودار 3-الف، مربوط به رومرکزهای ثبت شده در سال های 2000 تا 2016 میلادی و نمودار 3-ب، مربوط به رومرکزهای ثبت شده از سال 2017 تا پایان سال 2023 میلادی است. چنانچه ملاحظه می گردد، در 23 گذشته، 5 نبود تنیدگی در رویدادهای لرزه ای تهران رخ داده است که طولانی ترین آنها 3 سال (2000 تا 2003 و 2012 تا 2016 میلادی) و کوتاهترین آنها 1 سال می باشد (2004 میلادی). محور عمودی نمودارها بیانگر تغییرات ضریب نسبت طلایی بوده و با استفاده از فرمول های (1) ، (2) و (3) محاسبه شده است. در نمودار 3-الف، تغییرات CGR در مطابقت نسبی با سطوح فی ، اویلر و پی می باشد. اما در نمودار 3-ب، کمبود یا نبود تنیدگی در سطح اویلر- پی مشهود است. بنابراین احتمال پیدایش رومرکزهایی که نبود/کمبود سطح مذکور را جبران نمایند، دور از انتظار نبوده و با پتانسیل لرزه ای تهران و شهرهای اطراف آن ارتباط دارد.

با دقت در نمودار3-ب، بیشترین تعداد CGR مربوط به پیش لرزه ها ، پس لرزه ها و شوک اصلی ملارد است (2017 میلدی). از دیدگاه هندسی، رویدادهای لرزه ای غرب تهران نقش مهمی در تشدید خوشه بندی جنوب - جنوب شرقی تهران داشته و شاخص تنیدگی رومرکزهای اطراف گسل های ری و پاکدشت را تا 1/7 برابر افزایش داده است. در جدول1، مشخصات رومرکزهایی که دارای تنیدگی های متوالی و معنادار هستند درج شده است. با توجه به تغییرات CGR ، مکان هندسی زلزله های جنوب تهران، با سطوح توزیع فی ، اویلر و پی مطابقت دارد، که این به معنای هم استقامت بودن آنها با کمان های مارپیچ لگاریتمی زلزله است.

جدول 1. رابطه ضریب نسبت طلایی (CGR) با لرزه خیزی جنوب و جنوب شرقی استان تهران (خوشه هندسی تهران-ری-پاکدشت)

تاریخ (میلادی)	موقعیت	بزرگا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ضریب CGR
07/11/2023	ری - پاکدشت	3/5	51/5	35/5	1/9
20/08/2005	پاکدشت	3/0	51/8	35/7	1/15
20/02/2011	ری	4/2	51/78	35/47	1/75

2. نتایج

تحلیل هندسی زمین لرزه های تهران ، نشان دهنده مطابقت رومرکزها با توزیع مارپیچ لگاریتمی زلزله است. نشانه های بارزی از خوشه بندی رومرکزها در جنوب و جنوب شرقی استان تهران مشاهده می گردد که غالبا ماهیت لرزه زمین ساختی داشته و با پایانه های گسلی ری - پاکدشت در ارتباط هستند. در این تحقیق، شاخص هندسی جدیدی بنام ضریب نسبت طلایی (CGR) معرفی گردید تا بوسیله آن، همیافتی رومرکزها با کمان های متعلق به مارپیچ لگاریتمی زلزله بررسی و زمینه شناسایی پتانسیل های لرزه ای تهران فراهم شود. نظم هندسی رومرکزهایی که قبل از سال 2017 میلادی رخ داده اند، کمتر از رویدادهای لرزه ای 2017 و بعد از آن است. بر اساس تغییرات CGR، خوشه بندی زلزله های تهران از شمال به جنوب افزایش یافته و در حریم گسل های ری و پاکدشت، به شکل کمان های متوالی از نسبت های طلایی و تصادفی (فی، اویلر و پی) مشاهده می گردد. بنابراین افزایش ایستگاه های لرزه نگاری- شتاب نگری به منظور پایش لرزه خیزی مناطق پرجمعیت (با بافت های فرسوده) ، در گستره طولی 51/5 تا 51/80 و عرض های 35/45 تا 35/70 پیشنهاد می گردد.

3. منابع

[۱] Turcotte, D., 2007. Fractals in Geology & Geophysics, 2nd edition, Cambridge Univ., USA. 432.

[2] مهرنیا، ر. 1400. هندسه طلایی طبیعت، نشر ستایش، تهران، ایران. شابک: 978-622-6703-66-6.

[۳] Berberian, M., and Yeats, R.S., 2016. Tehran: An earthquake time bomb, The Geological Society of America, Special Paper 525, doi:10.1130/2016.2525 (04).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

[٤] Mehrnia, R. 2011. Introduction to Coherent Component Nonlinear Analysis for Revealing Seismogenic Decomposed Lineaments in Northern Region of Tehran, JSEE, 13 (3), 139-147.

[٥] Mehrnia, R., Khaleghi, R. 2014. Determination of Seismic Lineaments by EGM2008 Data and Gravitational Facies in North of Qazvin, Iran, JSEE, 16 (3), 147-156.

[٦] Turcotte, D.L. & Gabrielov, A., 2005. An inverse cascade model for self-organized complexity And natural hazards, Geophysical Journal International, 163, 433 -442.

[٧] Werner, M.J. 2011. Earthquake Forecasting based on Data Assimilation: Sequential Monte Carlo Methods, Nonlinear Process in Geophysics, 18, 49-79.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com