Available online at: www.geo-dynamica.com

ISSN 2345 - 4997

Vol. (2), No. 01, SN: 04, (Special Issue on Saravan Earthquake) April 2014
4th Article- P. 1 to 8

GRIB
Geodynamics Research International Bulletin

The Study on Great Earthquake Predictability by Using to Fibo-Fractal Analysis (Seismic Events in NW of Saravan)

Reza Mehrnia

Department of Geology, Payam Noor University (PNU), Qazvin, Iran.

r_mehrniya@pnu.ac.ir

Article History:	Received: Mar 29, 2014	Reviewed: Apr 08, 2014
Revised1: Apr 11, 2014	Accepted: Apr 13, 2014	Published: Apr 14, 2014

ABSTRACT

Using fractal equations within an integrative algorithm of Fibonacci sequences is a new approach toward spatial prediction of great earthquakes with emphasized investigations on earthquake catalogue in north east of Saravan (1929-2013) and potentials by this research. Analytical results indicate growing up of self-similarities due to a magnitude geostatistical interpolation. Therefore, the fractal dimension of magnitude-area power law function is in coincidence with Golden Ratio influences (1.618). It means that the focal mechanism of Saravan great earthquake (M: 7.7, 16 April 2013) had close relation with pre-seismic parameters including co-appearances of self-similarities, variation of fractal dimensions and relative stability of Fibonacci ratios that are introduced to facilities of current research technique for great earthquakes prediction.

Keywords: Earthquake Prediction, Fibonacci, Fractal, Saravan.

بررسی توانایی پیش‌بینی زلزله‌های بزرگ با استفاده از روش تحلیل فیبوفرکتالی (رویدادهای لرزه‌ای شمال باختری سراوان)

سید رضا مهرنیا

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، قزوین (m_khalaj@pnu.ac.ir)

تاریخچه انتشار مقاله	**تاریخ دریافت:** ۱۳۹۳/۱/۰۹	**تاریخ داوری:** ۱۳۹۳/۱/۱۹
تاریخ اصلاحات۱: ۱۳۹۳/۱/۲۲	**تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۳/۱/۲۴	**تاریخ انتشار:** ۱۳۹۳/۱/۲۵

چکیده

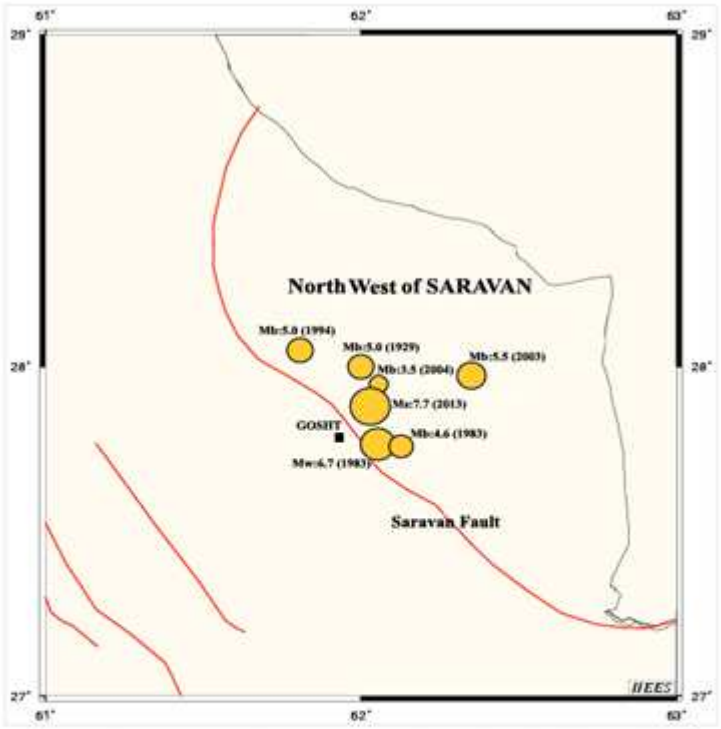
استفاده از معادلات فرکتال و تلفیق نتایج آن با الگوریتم سری فیبوناچی، رهیافت جدیدی برای پیش‌بینی مکان زمین لرزه‌های بزرگ است که در ذیل این تحقیق و با تأکید بر کاتالوگ زلزله‌های تاریخی شمال باختری سراوان (بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۲۹ م) ، امکان شناسایی مناطق مستعد لرزه‌ای را فراهم می‌نماید. نتایج تحلیل های به عمل آمده مؤید افزایش مؤلفه‌های متناظر در خلال درون‌یابی تغییرات بزرگا به روش‌های زمین آماری بوده و بُعد فرکتالی حاصل از تابع لگاریتمی بزرگا-مساحت با برد تصاعدی منجر به نسبت طلایی ۱/۶۱۸ مطابقت دارد. بدین ترتیب زلزله بیست و هفتم فروردین ماه ۱۳۹۲ سراوان (M:7.7) از دیدگاه همیافتی کمیت‌های متناظر، تغییرات بُعد فرکتال و پایش نسبی سری فیبوناچی بررسی گردیده و در ادامه برخی از توانمندهای روش تحقیق به منظور بررسی احتمال پیش‌بینی رویدادهای آتی معرفی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی زلزله، سراوان، فرکتال، فیبوناچی.

 All rights reserved for GRIB

۱. مقدمه

کانون زمین‌لرزه ۱۳۹۲/۰۱/۲۷ سراوان با بزرگای ۷/۷ در عمق ۷۰ کیلومتری و در فاصله ۱۲ کیلومتری شهر گشت از توابع سیستان و بلوچستان قرار دارد. ارتعاشات لرزه‌ای این رویداد بر اساس گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۲)، در بخش‌های وسیعی از بلوک شرقی ایران و منطقه فرورانش مکران- پوسته عربی ثبت گردیده است. در شکل (۱) رومرکز زلزله‌های تاریخی سراوان به همراه جدول کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها در بازه زمانی ۱۹۲۹ تا ۲۰۱۳ میلادی (با بزرگای بیش از ۲/۵) مشخص شده‌اند.



Date(yyyy/mm/dd)	Time(UTC)	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Reference
1929/03/26	14:00:10.0	28	62		mb:5	ISS
1983/04/18	10:58:52.0	27.77	62.05	64	Mw:6.7	EHB
1983/04/18	17:39:14.0	27.76	62.13	58	mb:4.6	ISC
1994/09/08	13:33:37.0	28.05	61.81	60	mb:5	EHB
2003/01/14	14:13:58.0	27.97	62.34	55	mb:5.5	EHB
2004/03/01	09:06:01.0	27.95	62.06	33	mb:3.5	ISC
2013/04/16	10:44:18.2	27.88	62.03	70	Ms:7.7	IIEES

شکل ۱. رومرکز رویدادهای لرزه‌ای شمال باختری سراوان بر اساس کاتالوگ زلزله‌های شرق ایران (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۲)

چنانچه ملاحظه می‌گردد، اغلب زلزله‌های این منطقه فاقد پیش‌لرزه بوده و برای رویداد فروردین ماه ۱۳۹۲ نیز پیش‌لرزه مشخصی ثبت نگردیده است. کانون زلزله اخیر سراوان در عمق ۷۰ کیلومتری قرار گرفته که از نظر ژئودینامیکی با سازوکار جابه‌جایی خرده قاره‌ها (در ایران مرکزی) و کنش‌های حرکتی منسوب به صفحه شرقی فلات ایران در ارتباط است (آقانباتی، ۱۳۸۳). عمق و بزرگای کانون اصلی زلزله ، موجبات باز احیایی حرکات پوسته را فراهم نمود که در پی آن شاهد فعالیت‌های پس‌لرزه‌ای متعدد با پیدایش مراکز لرزه‌ای نیمه عمیق (۳۰ تا ۵۰ کیلومتر) هستیم (Yamini Fard and Hatzfeld, 2008).

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. رابطه توابع فرکتال با سری تصاعدی فیبوناچی

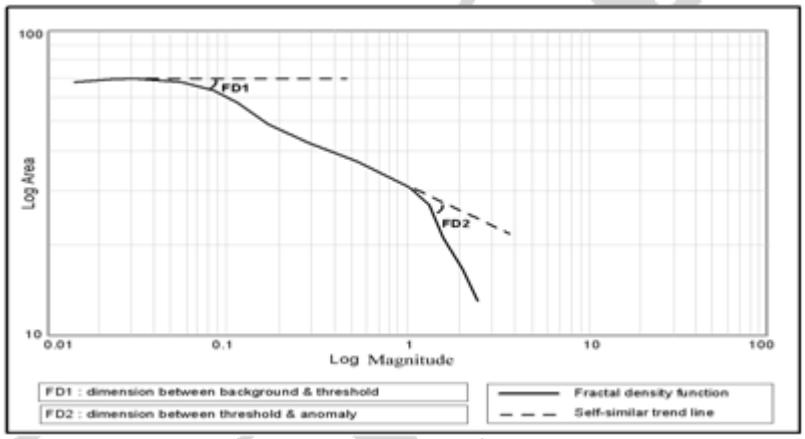
توابع فرکتال برگرفته از روابط نسبی- نمایی بین دو متغیر ناحیه‌ای با برد تصادفی پیوسته هستند که در مختصات

لگاریتمی بصورت تابع خط درجه اول بیان می‌گردند (مندلبروت، ۲۰۰۵). بر اساس تحقیقات به عمل آمده (تورکت، ۲۰۰۷) ، تغییرات پر بندی بزرگا در مقابل سطح توزیع بزرگا از نوع روابط نمایی بوده و معادله فرکتالی آن به صورت زیر بیان می گردد.

$$log\ Area\ (M \geq m) = b\ log\ (M \geq m) \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، منظور از $log\ Area\ (M \geq m)$، سطح محصور به دست آمده از تغییرات بزرگا (به روش کریگینگ) است. ضریب β بیانگر بعد فرکتال[1] و جمله $(M \geq m)$ معرف تغییرات پربندی بزرگا می‌باشد.

چنانچه ملاحظه می‌گردد رابطه نمایی بزرگا- مساحت پس از درج مختصات لگاریتمی به تابع خط با ضرایب متفاوت تبدیل می‌شود (مندلبروت، ۲۰۰۵). شکل (۲) نمونه‌ای از توابع چند فرکتالی را بر حسب تغییرات بُعد آنها (ضرایب β_2 و β_1) نشان داده است. در این تابع، مؤلفه‌های متناظر به‌صورت نقاط هم استقامت (کمینه تغییرات β) و در قالب جوامع فرکتال منظور شده‌اند. لذا امکان تفکیک بی‌هنجاری‌ها (تغییرات بزرگا) بر حسب الگوی توزیع مؤلفه‌های متناظر (تغییر محسوس در ضریب خط فرکتال) فراهم می‌گردد که در مقایسه با روش‌های کلاسیک (محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی)، از قدرت تفکیک بیشتری برای دستیابی به مؤلفه‌های مستقل از مقیاس برخوردار است.



شکل ۲. شکل کلی توابع چند فرکتالی حاصل از تغییرات ضریب خط معادله بزرگا- مساحت در مقیاس لگاریتمی (رابطه ۱)

بر اساس پیشنهاد مارک وآرونسون (۱۹۸۴) و ذیل بررسی‌های به عمل آمده توسط مهرنیا و همکاران (۱۳۹۱)، افق رویداد کمیت‌های متناظر از توزیع سطح براونی (بُعد فرکتال بزرگتر از ۲) تبعیت می‌نماید (Mark and Aronson 1984). توزیع براونی در اغلب پدیده‌های علوم زمین مشاهده گردیده و نمودی از حاکمیت فرآیندهای غیرخطی (نااقلیدسی) در حاشیه محیط‌های آشوبناک است. در رابطه (۱)، مکان هندسی توزیع براونی با افزایش خواص خود تشابهی (کمیت بزرگا) در ناحیه اثر رو مرکز زلزله‌های تاریخی متناسب است. بنابراین با درون‌یابی تغییرات بزرگا و تعیین سطح محصور آنها در محیط GIS، کمیت‌های لازم برای دستیابی به تابع چگالی فرکتال افراز می‌گردند. در سطح توزیع براونی، شاهد افزایش روند خودساماندهی مؤلفه‌های متناظر هستیم؛ بنابراین فرایند تکوین پدیده‌های علوم زمین (مانند شکل‌گیری کانون زمین‌لرزه‌ها) دارای خط منظر معینی است که از آن به عنوان افق رویداد پدیده نام برده می‌شود. نقاط اکسترمم این منظر با استفاده از تغییرات بُعد فرکتال (بزرگتر از۲ ،کوچکتر از۳) تعیین می‌گردد. برای مقادیر کوچکتر از ۲ و بزرگتر از ۳، به ترتیب با الگوی توزیع خطی و شرایط آشوبناک هر پدیده مواجه می‌شویم که از دیدگاه نظری فاقد معیاری‌های لازم برای دستیابی و حل معادلات فرکتال هستند (Mandelbrot 2005). سری فیبوناچی، دارای توابع نامتناهی از مجموعه

 All rights reserved for GRIB

اعداد حقیقی است که بصورت تصاعدی و با استفاده از رابطه زیر برای کمیت دلخواه X با مرتبه توزیع n محاسبه می‌گردد.

$$Fibonacci\ Sequence = X_{n+1} + X_n \qquad (۲)$$

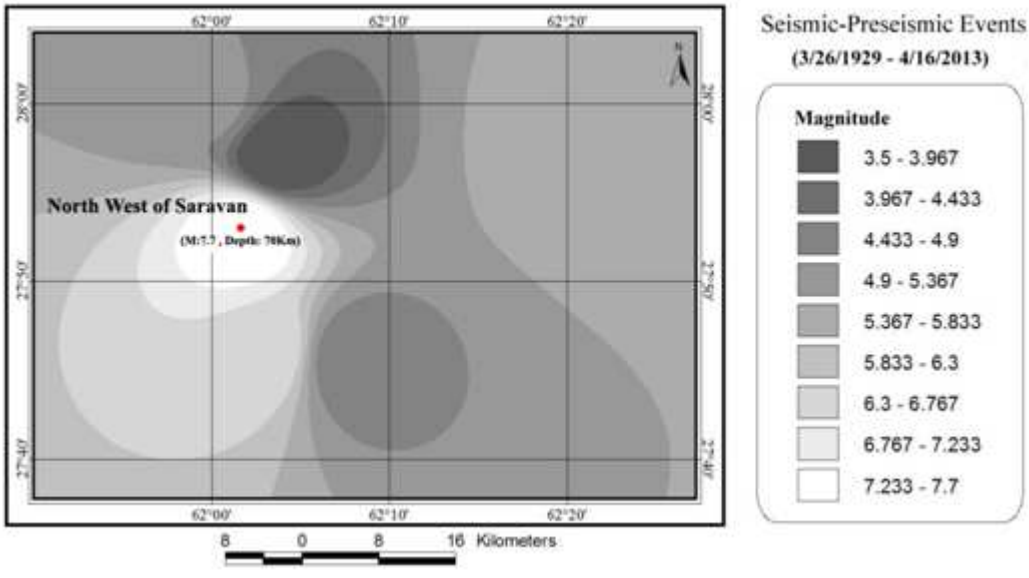
به جز گام‌های نخست این سری تصاعدی (توالی‌های اول تا چهارم)، در سایر سری‌های متوالی رابطه نسبت طلایی[1] برقرار است.

$$For\ n > ۴ : Golden\ Ratio = \frac{X_{n+1}}{X_n} = ۱/۶۱۸ \qquad (۳)$$

بنابراین در سری نامتناهی فیبوناچی (رابطه ۲)، خارج قسمت دو کمیت متوالی X_{n+1} و X_n به شرط $n>4$ مقدار ثابتی است که تقریباً معادل ۱/۶۱۸ بوده و "نسبت طلایی فیبوناچی" نامیده می‌شود (گابریل، ۲۰۱۰، کلانسی، ۲۰۱۱). این توالی رمز پیدایش بسیاری از پدیده‌های علوم زمین است که از آن جمله می‌توان به فرآیند تفریق ماگما، تجمع کانی‌ها، توزیع آبراهه‌ها، پیدایش گسل‌ها و تشکیل کانون‌های لرزه‌ای اشاره نمود. طبق یک قاعده کلی، ظهور کمیت‌های متناظر و تداوم توزیع آنها در واحد سطح براونی با دستیابی به عدد ۱/۶۱۸ و تثبیت آن در حاشیه محیط‌های آشوبناک (قلمرو توابع فرکتال) متناسب است (کلانسی، ۲۰۱۱). در عمل با به کارگیری روش فیبوناچی (رابطه ۳) و تلفیق آن با نتایج فرکتال (رابطه ۱) ، پراکنش غیرخطی بزرگا ارزیابی گردیده و سازوکار شکل‌گیری مؤلفه‌های خود سامانده به منظور تعیین سطح توزیع براونی وبررسی احتمال رویدادهای آتی مطالعه می‌شود.

۳. بحث و نتایج

فرآیند تلفیق مکانی اطلاعات لرزه‌ای سراوان با استنتاج از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های این منطقه (شکل ۱) و پیش داوری مبتنی بر پایگاه داده‌های مکانی به عمل آمده است. در گام نخست، مقادیر بزرگا (بر حسب Mw) با استفاده از امکانات نرم افزار Arc-GIS درون‌یابی گردیده و نقشه پربندی مورد نظر به منظور ایجاد پیوستگی در متغیرهای ناحیه‌ای و شناسایی توزیع سطحی زلزله‌ها مطابق شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳. نقشه پربندی حاصل از درون‌یابی تغییرات بزرگا به روش کریجینگ (منبع: کاتالوگ زلزله های شمال باختری سراوان)

نقشه پربندی شکل (۳)، دارای اطلاعات پایه جهت دستیابی به آماره‌های توپولوژیکی مورد نیاز است. این مؤلفه‌ها شامل مقادیر اکسترمم، میانگین و دامنه تغییرات بزرگا می‌باشد که به همراه سطح محصور متناسب با گرادیان‌های لرزه‌ای توسط سامانه تحلیلگر مکانی محاسبه شده‌اند تا امکان دستیابی به کمیت‌های معادله بزرگا- مساحت (رابطه ۱) فراهم شود. در جدول (۱)، اطلاعات لرزه‌ای ناحیه مورد مطالعه با اولویت بررسی زلزله ۲۷ فروردین ۱۳۹۲ خورشیدی درج گردیده است. بر اساس مندرجات این جدول، حدود جوامع زمینه‌ای (بزرگای ۵/۲ و بالاتر) ، آستانه ای (بزرگای ۵/۲ تا ۶/۴) و بی

هنجاری (بزرگای ۶/۴ و بالاتر) بر حسب تغییرات سطح تراکمی رویدادها[1] تفکیک شده اند.

جدول۱. کمیت های مرتبط با تابع فرکتالی بزرگا- مساحت بر اساس گرادیان های لرزه ای شکل۲ (کاتالوگ زلزله های سراوان)

Classes	Area	Cum-Area	Magnitude	Log Cum-Area	Log Magnitude	FD	Seismic Population
1	0.0042	0.2903	3.5861	-0.537152964	0.554622396	1.32	Background
2	0.0028	0.2861	3.8512	-0.543482142	0.585596073		
3	0.0033	0.2833	4.088	-0.547753425	0.611510887		
4	0.0045	0.28	4.3238	-0.552841969	0.635865597		
5	0.0109	0.2755	4.5829	-0.559878397	0.661140381		
6	0.0178	0.2646	4.788	-0.57741016	0.680154142		
7	0.0398	0.2468	5.0221	-0.607654845	0.700885356		
8	0.0455	0.207	5.2561	-0.684029655	0.720663619	2.06	Threshold
9	0.0766	0.1615	5.4644	-0.791827473	0.737542483		
10	0.0062	0.0849	5.7161	-1.07109231	0.757099818		
11	0.007	0.0787	5.9557	-1.104025268	0.774932813		
12	0.0238	0.0717	6.1963	-1.144480844	0.792132436		
13	0.0179	0.0479	6.4078	-1.319664487	0.806708948	1.69	Anomaly
14	0.0158	0.03	6.6465	-1.522878745	0.822593009		
15	0.0041	0.0142	6.8715	-1.847711656	0.837051551		
16	0.0028	0.0101	7.1131	-1.995678626	0.852058914		
17	0.0026	0.0073	7.3512	-2.13667714	0.866358239		
18	0.0047	0.0047	7.6162	-2.327902142	0.88173834		

با توجه به تغییرات بعد فرکتال، جوامع زمینه و بی‌هنجاری دارای مؤلفه‌های متناظر با توزیع خطی بوده و جامعه آستانه با بیشینه بُعد فرکتال ۲/۰۶، از توزیع سطحی با ویژگی براونی برخوردار است. زلزله اخیر سراوان متعلق به جامعه بی‌هنجاری است اما در مقایسه با تغییرات حدود آستانه‌ای، از مؤلفه‌های متناظر کمتری برخوردار است.

مرحله تلفیق فیبوفرکتالی شامل ادغام نتایج توزیع فرکتال (تابع بزرگا – مساحت) با سری اعداد فیبوناچی است که برای دستیابی به این مهم از دو کمیت بزرگا و سطح تراکمی متناسب با تغییرات بزرگا برای حل رابطه (۲) و تقریب نسبت ۱/۶۱۸ استفاده شده است.

جدول (۲) نتایج محاسبات فیبوناچی را با در نظر گرفتن خواص خودسازماندهی مؤلفه‌های بزرگا و مساحت نشان داده است. با محاسبه نسبت طلایی مقادیر بزرگا و مساحت امکان بررسی و استنتاج توزیع پذیری غیرخطی کمیت‌ها و توانایی پیش‌بینی آنها در خلال رویدادهای پس‌لرزه‌ای فراهم می‌گردد.

جدول۱. تلفیق سری فیبوناچی با کمیت های فرکتالی مستخرج از جدول(۲) برای تحلیل مکانی زلزله های سراوان (۲۰۱۳-۱۹۲۹)

 All rights reserved for GRIB

No	Area	Cum-Area	Mag.	Fibo - Fractal Analysis				Integrative Results			
				Golden Ratio Calculations		Fractal Considerations		Nonlinearity		Predictability	
				GR-Mag.	GR-Area	Population	Similarities	Mag.	Area	Mag.	Area
1	0.0042	0.2903	3.5861	1.646924319	1.985532208	Background	Linear	Low	Low	Low	Low
2	0.0028	0.2861	3.8512	1.634487329	1.990213212						
3	0.0033	0.2833	4.088	1.630681018	1.988351571						
4	0.0045	0.28	4.3238	1.632924141	1.983928571						
5	0.0109	0.2755	4.5829	1.617753322	1.960435572						
6	0.0178	0.2646	4.788	1.621893066	1.932728647						
7	0.0398	0.2468	5.0221	1.619594054	1.838735818			High		Moderate	
8	0.0455	0.207	5.2561	1.612630144	1.780193237	Threshold	Brownian				
9	0.0766	0.1615	5.4644	1.619061782	1.525696594						
10	0.0062	0.0849	5.7161	1.614916691	1.926972909					Low	
11	0.007	0.0787	5.9557	1.613398274	1.911054638			Low			
12	0.0238	0.0717	6.1963	1.607133273	1.668061367						
13	0.0179	0.0479	6.4078	1.610251475	1.626304802	Anomaly	Linear		High		Moderate
14	0.0158	0.03	6.6465	1.606852404	1.473333333						
15	0.0041	0.0142	6.8715	1.608159718	1.711267606						
16	0.0028	0.0101	7.1131	1.60647345	1.722772277				Low		Low
17	0.0026	0.0073	7.3512	1.609048536	1.643835616						
18	0.0047	0.0047	7.6162	Not Valid	Not Valid						

اکنون چنان‌چه در واحد توزیع داده‌های لرزه‌ای، روند شکل‌گیری کانون‌های سطحی موجب افزایش بعد فرکتال شود، شرایط ایجاد مؤلفه‌های خودسامانده تسریع می‌گردد.

لذا احتمال دستیابی به سری طبیعی فیبوناچی که در آن نسبت ۱/۶۱۸ به ازاء برخی از مقادیر به دست آمده از معادله بزرگا- مساحت در رابطه (۲) صدق می‌نماید؛ افزایش خواهد یافت.

لذا سنجش معیار خودساماندهی زلزله‌ها رهیافت جدیدی است که در ذیل اهداف این تحقیق، شرایط لازم را برای ارزیابی توانایی پیش‌بینی زلزله‌های بزرگ فراهم می‌نماید که در صورت مطابقت نتایج فرکتال با سری اعداد فیبوناچی، احتمال دستیابی به الگوی توزیع دونات (مبتنی بر منطق شبکه‌های عصبی) افزایش می یابد.

۴. نتیجه‌گیری

طبق مندرجات جداول (۱) و (۲)، رویدادهای لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه از توزیع غیرخطی با مؤلفه‌های خودسامانده برخوردارند که اغلب آنها فاقد پیش‌لرزه‌های معین بوده و با کمبود یا نبود فعالیت‌های پس‌لرزه‌ای شناسایی می‌گردند.

این تحقیق، رومرکز زلزله‌های تاریخی مرتبط با گسل سراوان را در فاصله ۳۰ کیلومتر از کانون زمین‌لرزه فروردین ۱۳۹۲ بررسی نموده و با استفاده از رابطه (۱)، تابع تغییرات بزرگا بر حسب تغییر سطح محصور تراکمی محاسبه شده است. توزیع داده‌های لرزه‌ای بیانگر رفتار غیرخطی آنها در غالب کمیت‌های مستقل از مقیاس است که به دلیل تعدد نقاط هم استقامت و تغییرات بعد فرکتال، به شکل جوامع زمینه، آستانه و بی هنجاری مشاهده می گردند.

مطابق جدول (۱)، نقطه عطف رویدادهای لرزه ای شمال باختری سراوان با وقوع زمین لرزه ۱۹۹۴ میلادی (بزرگای ۵)

و۲۰۰۴ میلادی (بزرگای ۶/۴ در ارتباط می‌باشد. افزایش بعد فرکتالی آستانه، موجب توسعه مقادیر بزرگا (در سطح براونی) گردیده و خواص خودساماندهی زلزله‌ها (بین بزرگای ۵/۲ تا ۶/۴) را افزایش داده است.

علی‌رغم آنکه زلزله سال ۱۹۸۳ میلادی مقدم بر رویدادهای ۱۹۹۴ و ۲۰۰۴ میلادی است؛ اما از دیدگاه هندسه فرکتالی، این زلزله در حوالی نقطه عطف تابع چگالی قرار داشته (بزرگای ۶/۴) و مقارن با فرآیند خودساماندهی بزرگا در محدوده بی‌هنجاری است. لذا احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ در پی رویداد ۱۹۸۳ میلادی افزایش یافته و الگوی خودساماندهی زلزله ها را در خلال رویدادهای ۱۹۹۴ و ۲۰۰۴ میلادی بهبود بخشیده است. در جدول (۱)، توزیع نقاط هم استقامت از نوع تناوبی بوده و بعد فرکتالی آستانه افزایش یافته است (۲/۰۶).

بررسی نااریبی محاسبات فرکتال نیازمند بهره‌گیری از رهیافت دیگری است که با استفاده از روش‌های تحلیل عددی، امکان شناسایی الگوهای تکرارپذیر را در مطابقت با فرآیند خودسامندهی رویدادهای لرزه‌ای فراهم نماید. بدین ترتیب از الگوریتم تصاعدی فیبوناچی برای بررسی صحت و سقم نتایج فرکتال استفاده گردیده که رهیافت عملی آن مبتنی بر مقایسه تغییرات بعد فرکتال با مقادیر به دست آمده از رابطه (۳) و بازنگری در نقاط عطف تابع بر اساس تقریب نسبت ۱/۶۱۸ می‌باشد.

در جدول (۱)، نقاط عطف تغییرات بزرگا به ترتیب با مقادیر ۵/۲۵ و ۶/۴۰ متمایز شده‌اند. این نقاط بر حسب تغییرات بعد فرکتال و بر اساس الگوی تفکیک جوامع بی هنجاری شناسایی می گردند. این بدان معناست که مقادیر زمینه‌ای، آستانه‌ای و بی‌هنجاری زلزله‌های سراوان تابع تغییرات ضریب خط معادله لگاریتمی در رابطه (۱) می‌باشد.

در جدول (۲)، پایان تغییرات زمینه‌ای با تقریب نااریبی از نسبت طلایی بزرگا (۱/۶۱۹) متناسب است که این فرآیند با پیدایش کانون‌های لرزه‌ای ۱۹۹۴و ۲۰۰۳ میلادی (بزرگای ۵) در ارتباط بوده و موجب افزایش خواص خودساماندهی جامعه آستانه شده است. به همین ترتیب، با پایان تغییرات آستانه‌ای احتمال شکل‌گیری کانون‌های لرزه‌ای بزرگ فراهم می‌گردد که نمونه بارز آن در رویدادهای لرزه ای سال های ۱۹۸۳ (بزرگای ۶/۷) و ۲۰۱۳ میلادی (بزرگای ۷/۷) تجربه شده است.

وقوع زمین‌لرزه ۱۹۸۳ میلادی موجب تقریب سطح توزیع گرادیان‌های لرزه‌ای در سری تصاعدی فیبوناچی (نسبت ۱/۶۲۶) گردیده که این قاعده برای کانون زمین‌لرزه‌های متوسط (تغییرات بزرگای ۵/۵-۵/۰) صدق نمی کند. لذا در کاتالوگ زلزله‌های تاریخی سراوان، دو الگوی متمایز برای شکل‌گیری کمیت‌های متناظر مشاهده می‌گردد.

الگوی اول مختص مقادیر آستانه‌ای است که در آن با افزایش نسبی بعد فرکتال (جدول ۱) و دستیابی به نسبت طلایی بزرگا (جدول۲) مواجه هستیم. الگوی دوم منسوب به کانون زمین لرزه‌های بزرگ است (بزرگتر از ۶) که غالباً با کاهش خواص خودتشابهی داده‌ها (جدول ۲) و ضعف توزیع غیرخطی آنها (جدول ۲) همراه است. در این الگو، تقریب نسبت ۱/۶۱۸ در ارتباط با سطوح تراکمی حاصل از گرادیان های لرزه ای بوده (جدول۲) و از نقطه نظر فیبوفرکتالی، تنها مؤلفه قابل استناد برای توجیه رویدادهای سال ۱۹۸۳ و ۲۰۱۳ میلادی است.

مطابق روش ارائه شده در این تحقیق، احتمال ضعیفی برای پیش‌بینی زلزله‌های بزرگ سراوان متصور است؛ که از مهمترین عوامل آن می‌توان به بروز رفتارهای آشوبناک (بی‌نظمی نسبت طلایی بزرگا، جدول ۲) و کمبود مؤلفه‌های متناظر در سطح توزیع بزرگا (کاهش بعد فرکتال ، جدول۱) اشاره نمود. لذا از دیدگاه فیبوفرکتالی، استفاده از روش شبکه‌های عصبی برای دستیابی به سازوکار شکل‌گیری دونات سراوان توجیه‌پذیر نیست.

زلزله ۲۷ فروردین ۱۳۹۲ خورشیدی یک رویداد غیر منتظره با خصوصیات منطبق بر محیط‌های آشوبناک است که در مقایسه با زلزله‌های تاریخی این منطقه، موجب کاهش تغییرات بعد فرکتال و فقدان الگوی مترتب بر کمیت‌های خودسامانده است. بنابراین به دلیل ناسازگاری تخمین به عمل آمده از نسبت‌های طلایی با مقادیر مورد انتظار در سری فیبوناچی، شاخص بی‌نظمی سطوح لرزه‌ای افزایش یافته و از قابلیت

 All rights reserved for GRIB

پیش‌بینی رویدادهای بزرگ (جدول ۲) کم شده است. درون‌یابی عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها و تلفیق نتایج آن با آماره‌های فیبو فرکتالی، یک راه‌کار پیشنهادی برای تعیین شعاع اثر رویدادهای لرزه‌ای سراوان به روش غیر خطی است. در این روش، مندرجات کاتالوگ زلزله‌ها را با نقشه پربندی حاصل از تغییرات عمق مقایسه نموده و رابطه تغییرات بعد فرکتال با سری تصاعدی حاصل از نسبت‌های عمقی استنتاج می‌گردد.

همچنین به منظور تکمیل فرآیند تلفیق داده‌ها، مقایسه الگوی فیبو فرکتالی سراوان با سایر مناطق لرزه‌خیز (در جنوب و جنوب غربی ایران) توصیه می‌گردد. بدین ترتیب، نتایج متعددی از مطالعات موردی به عمل آمده در مناطق مجاور گسل سراوان (شکل ۱) به دست می‌آید که در توسعه روش تحقیق و رفع نواقص آن در خلال بررسی‌های میدانی مؤثر خواهد بود.

منابع

اسلامی، آ.، تقابنی م.، اشعری، ع.ر. (۱۳۹۲) *گزارش مقدماتی زمین لرزه بیست وهفتم فروردین ۱۳۹۲ شمال باختری سراوان*، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.

آقانباتی ع. (۱۳۸۳) *زمین‌شناسی ایران*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مهرنیا، ر.، ابراهیم‌زاده اردستانی، و.، تیموریان مطلق، ا. (۱۳۹۱) استفاده از روش فرکتال برای تعیین چگالی لوح سنگی منطقه چارک، *مجله انجمن ژئوفیزیک ایران*، (۱)۷.

Clancy, T. (2011) *The Fibonacci Numbers*, [Online] http://www.whitman.edu/mathematics/SeniorProjectArchive/2008/clancy.pdf.

Gabriel, M. (2010) *The Fibonacci Numbers, the Golden Ratio & the Physical Universe*, [Online] http://wellaware1.com/docs/ear/fibonaccipdf.pdf

Mandelbrot, B., 2005, the Fractal Geometry of Nature. *21th Printing*, W.H. Freeman and Company.

Mark, D. and Aronson, P., (1984) Scale-dependent fractal dimension of topographic surfaces: An Empirical investigation, with application in geomorphology and computer mapping. *Mathematical Geology*, 16 (7),

Turcotte, D., (2007) Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. 3rd edition, *Cambridge University*, London.

Yamini Fard, F. and Hatzfeld, D. (2008) Seismic structure beneath zagros-makran transition zone (iran) from teleseismic study: seismological evidence for under thrusting and buckling of the arabian plate beneath central iran, *Journal of Seismology and Earthquake Engineering (JSEE)*, 2 (15).

All rights reserved for GRIB