

ФРАКТАЛНИ СВОЙСТВА НА СРЕДИЗЕМНОМОРСКИЯ СЕИЗМОТЕКТОНСКИ МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ

Б. Рангелов

БАН
ул. “Акад. Г. Бончев” бл.3
София 1113, България

С. Димитрова

БАН
ул. “Акад. Г. Бончев” бл.3
София 1113, България

Др. Господинов

БАН
ул. “Акад. Г. Бончев” бл.3
София 1113, България

Г. Ламикина

ТИГ-DVO, РАН
ул. “Радио” 7
Владивосток 69068, Русия

РЕЗЮМЕ

Оценката на сеизмичната опасност изисква създаването и използването на сеизмотектонски модели, покриващи целия изследван регион. За изследване на фракталните свойства на установения вече сеизмотектонски модел включващ Европа и целия Средиземноморски басейн е използвана публикувана от многоброен колектив Карта на сеизмотектонския модел - Jimenez, M. et al., (2001) В резултат на изследването са установени фракталните размерности и коефициенти за едно и двумернослучаите. Подобни изследвания намират приложение в оценката на сеизмичната опасност и физическата обосновка на използваните сеизмотектонски модели.

ВЪВЕДЕНИЕ

Настоящото изследване са отнася до определяне на фракталните свойства и дименсиите на сеизмогенните зони разположени в района на Средиземно море. Той е разделен на няколко сеизмотектонски провинции в съответствие със съответната им фрагментация и специфичните сеизмогенни свойства на земната кора за тези райони. Средиземноморският сеизмотектонски модел (ССМ) е представен от M.Jimenez et al. (2001). Доколкото отделените зони са носители на съответните сеизмогенни свойства на средата и очакваните от тях сеизмични въздействия върху сградите и съоръженията, то изследването дава възможност за идентификация и сравнения между отделените провинции характеризиращи се вероятно със своя специфична сеизмична опасност.

Класически пример за фрактал е дефиниран от Манделброт (1982). Ако дължината P на даден обект се свърже с дължината на измерителната единица с която се определя тази дължина то:

$$P \sim l^{1-D} \quad (1)$$

Тогава P се нарича фрактал, а D се означава като фрактална дименсия. Това определение е дадено от Бено Манделброт в началото на 60-те години на 20 век. Неговата идея поддържа становището, че повечето обекти нямат гладки чисто геометрични форми, а имат различно ниво на геометрична фрагментация, която се изразява с неравности с различен мащаб – от много малки до много големи. Поради тази причина значението на измерителната единица нараства неимоверно, доколкото измерването на дължината, площта или обема на неравни геометрични тела, става силно зависимо от избора на най-малката измерителна единица, като промените в измеряемия параметър достигат стотици и хиляди пъти.

Този факт е установен за първи път при определянето на дължината на бреговата линия на Западна Англия, което е породило и идеята за дефиниране на понятието фрактал от Манделброт (1967).

В геологията и в геофизичната практика се приема, че означаването на различните “фрактали” като физически, реални обекти се свързва най-често с фрагментацията. Това показва, че всеки обект с измерими размери има различна дължина, повърхност или обем, което зависи от скалата на измерващата единица и степента на неравност (негладкост) на обекта. Колкото по-малка е измерителната единица толкова по-голям е общият сбор за линейния размер на обекта и обратното. Същото важи и за площни обекти и за обемни.

Друга дефиниция за “фрактал” се дава от връзката между поредния номер на измерване със всяка от измерителните единици и размера на обекта. Ако номерът на поредното измерване с избраната линейна единица е по-голям от n то той може да се зададе с

$$N \sim r^{-D} \quad (2)$$

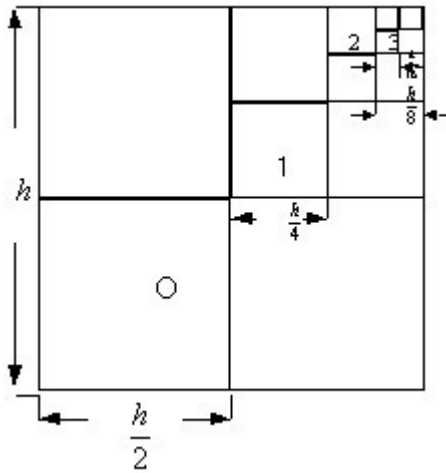
като фракталът се определя еднозначно с D като негова характерна фрактална размерност.

Прилагайки това общо правило за елементите на разломяването и разломната фрагментация някои автори използват тази идея за пресмятане на формални модели за фрагментация на земната кора (цитират се чужди автори), които са индикативни за степента на раздробеност (деструкция) на най-горните земни пластове.

От физическа гледна точка тези модели са приемливи в по-голяма част от разглежданите случаи Rangelov and Dimitrova (2002).

МЕТОДОЛОГИЯ

Теоретичният подход за 1, 2 и 3 – мерните случаи е развит от Turcotte (1986) който се спира на изучаването на най-малката мерна единица и зависимостите които следват от прилагането на измерванията при линейни, площни и обемни обекти – фиг.1.



Фигура 1. Кратност при измерване с два пъти по-малка измерителна единица за квадрат със страна h (елемент 0), h/2 (елемент 1) и т.н.

Ако l е измерителната единица, а с m се означава получаваната стойност за N при всеки цикъл на измерване n. То тогава според Turcotte (1986) общата сума на дължините N на ниво m е:

$$N_m = (1 - p_c) \left(1 + \frac{n}{m} p_c + \left[\frac{n}{m} p_c \right]^2 \dots \left[\frac{n}{m} p_c \right]^m \right) \quad (3)$$

където p_c е вероятността за измерване на всяка дължина за всеки цикъл на измерване.

Използвайки формула 1 и 2 на Turcotte(1986) се достига до формулата:

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = 2^D \quad (4)$$

която е валидна за едномерния случай.

За двумерния случай е използвана формулата:

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = (2^2)^D \quad (5)$$

Прилагането на формулите 2 и 3 за означените на неотектонската карта линии на деструкция на земната кора в България Т. Tzankov et al. (1998) даде възможност да се получат приемливи резултати чрез използването на горе описания модел. Това ни даде основания за прилагане на предлагания подход и при изследването на елементите от сеизмотектонския модел на Средиземно море. Наличието на множество еднотипни геометрични обекти каквито се явяват отделните зони на сеизмична опасност в

различните провинции на Средиземноморието, е подходящо за прилагане на аналогичен подход при определянето на фракталните свойства на изследвания сеизмотектонски модел.

СРЕДИЗЕМНОМОРСКИ СЕИЗМОТЕКТОНСКИ МОДЕЛ (ССМ) И НЕГОВИТЕ ФРАКТАЛНИ СВОЙСТВА

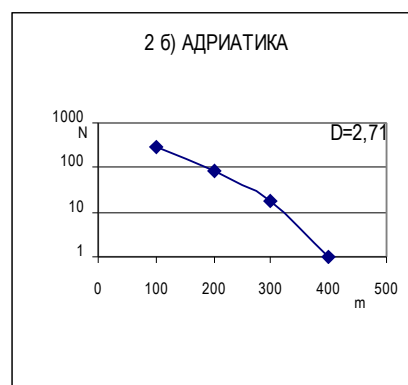
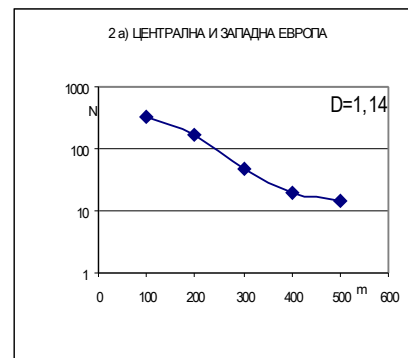
За изследване на фракталните свойства на предложения от M.Jimenez et al. (2001) сеизмотектонски модел за района на Средиземно море са използвани данните от картата (Seismicity Source Regions for the Mediterranean Region). Мащабът на картата е 1:28 000 000.

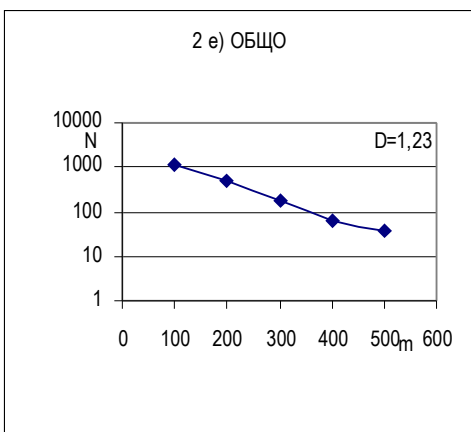
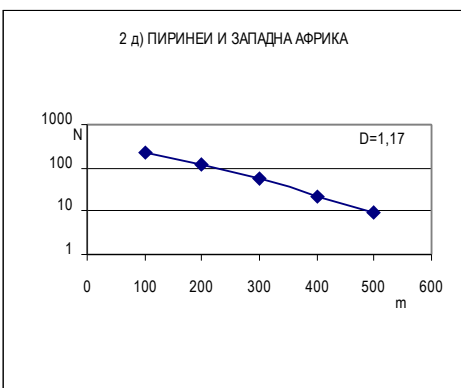
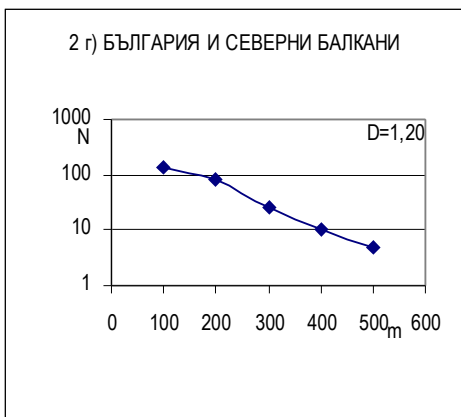
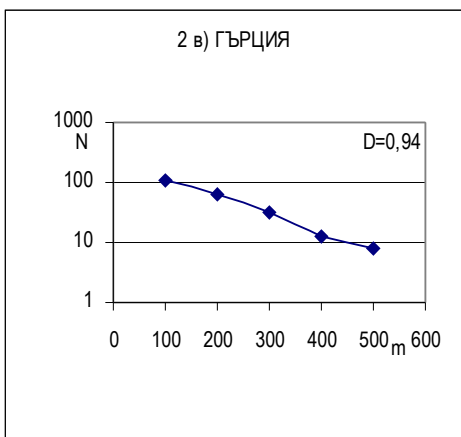
Пресметнат е броят и размерът на всички линии ограничаващи всяка една от построените площни елементи на модела. Грешката при определяне на точните размери не е по-голяма от 5%. Авторите на картата са разделили района на няколко сеизмотектонски провинции (приели сме техните означения):

- Адриатика (AD)
- Централна и Западна Европа(CWE)
- Пиринеи и Западна Африка(PWA)
- Гърция (GR)
- България и Северни Балкани (BG NB)
- Общо

Разгледани са последователно всички провинции по отделно. Накрая са извършени обобщения за целия Средиземноморски район.

Дължините на измерените ограничителни линии за всяка сеизмотектонска единица са в рамките на 100 - 500 км. (рядко по-големи, но техният брой е пренебрежимо малък). За да бъдат пресметнати фракталните размерности на всяка една зона са построени кумулативни графики. Резултатите са представени на фиг. 2(а-е).





Фигура 2(а-е). Кумулативни графики за ССМ с определените фрактални дименсии (линейни елементи) за отделните провинции и общо.

За същия район са определени и фракталните размерности на площите за отделните сеизмотектонски

елементи. Пресметнати са всички площи и са построени графиките на зависимостите – брой елементи – площ, за всяка една област фиг. 3(а-е).

За тази цел е използвана картата Unified seismogenic source model изработена от M.Jimenez et al. (2001) която е с мащаб 1:30 000 000. Стойностите на измерените площи варират от 500 до 2500 км².

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ

Получените данни за различните провинции са представени в таблица 1.

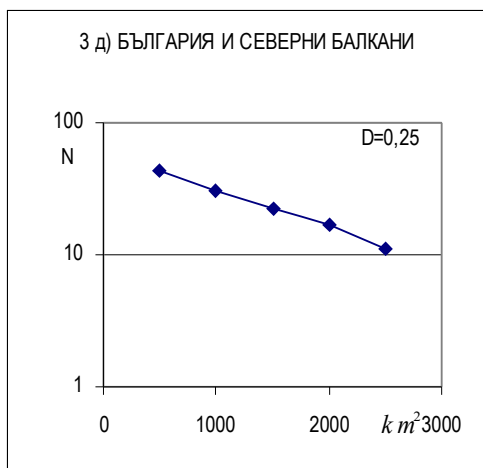
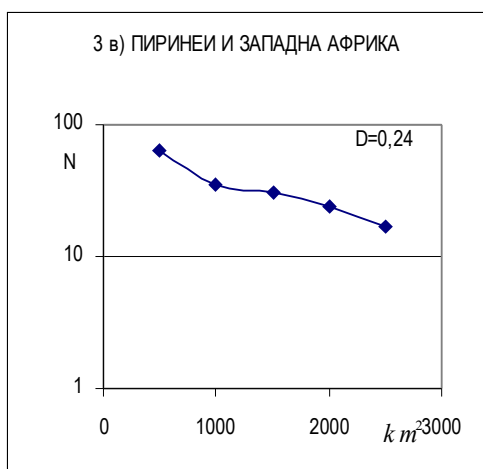
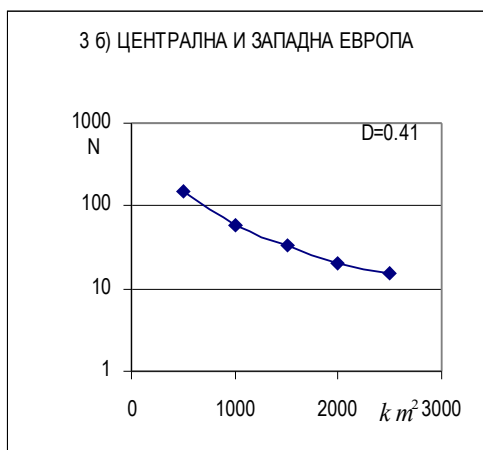
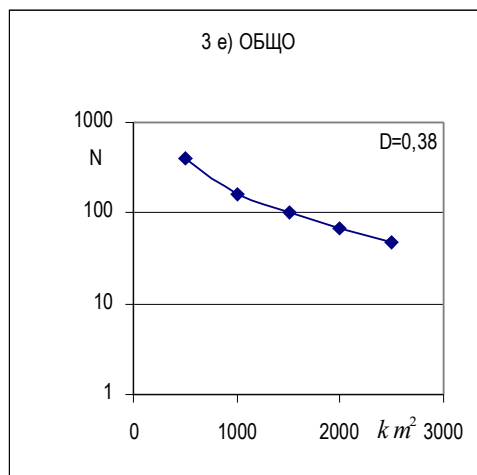
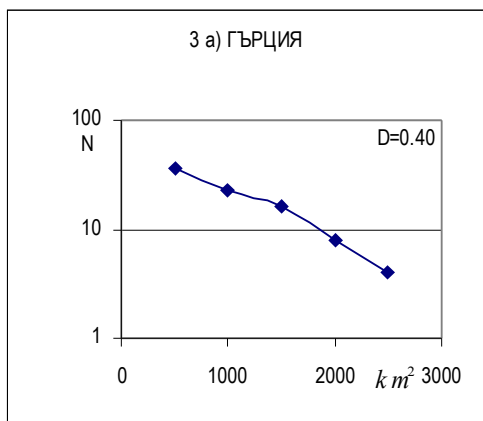
Таблица 1. Стойности на фракталните дименсии за линейните (L) и площни (S) елементи на ССМ

- Зона “Адриатика” се отличава съществено от стойностите в другите зони, както по отношение на линейните си елементи, така и по площнит.е. и по двата изследвани параметъра, като степента на нелинейност (респ. стойността на D) е най-голяма. От гледна точка на сеизмогенния си потенциал тази зона се характеризира с масови силни земетречения (M=5-7), където много силните земетресения (M>7.0) са рядкост.

- Всички останали зони по очертани линейни граници са подобни по отношение на своето нелинейно поведение, като стойностите варират между 1.1 и 1.25. Изключение прави Гърция със стойност под 1.0 (0.94).

- По отношение на площните си характеристики, различията са по-малки с изключение отново на Адриатика. Тук се забелязва и групиране по стойности на “Централна и Западна Европа” и “Гърция” (0.41-0.40). Независимо че по отношение на сеизмичната си активност, тези провинции се различават съществено, то по отношение на разделението в ССМ, те попадат в подобни съотношения на площите застрашени сеизмично.

- Другите подобни групи по линейности на площите са – “България и Балкани” и “Пиринеи и Зап.Африка” (респ. 0.25-0.24). Тезипроvincии едва ли толкова си приличат по геодинамични особености, но по разпределение на сеизмичноопасните си зони, очевидно формално са подобни. Така или иначе общите застрашени площи имат подобни размери.



Фигура 3(а-е). Кумулативни графики за ССМ с определените фрактални дименсии (площни елементи) за отделните провинции и общо

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати показват, че прилагането на подобен подход има място при сравнителния анализ за поведението на сеизмогенните елементи във всяка от разглежданите сеизмотектонски провинции. Наличието на ясно изразени нелинейни свойства в поведението на сеизмичната опасност за отделните площни източници, отново показва, че елементарни, прости зависимости в тази чувствителна област на познанието и практическото приложение за целите на оценка на сеизмичната опасност не съществуват. Прилагането на по-точни и изтънчени методи за математически анализ при това, очевидно се явява задължителен елемент за избягване на обобщения основани се само на аналогии, каквато е често използваната практика досега.

Получените резултати могат да имат приложение и при изработването на “местни” норми и кодове за противоземетръсно строителство, като подобните условия на сеизмична опасност в различни страни, могат да се използват при прилагането и/или адаптирането на вече разработени и използвани в практиката подобни регламентационни документи.

Благодарности

Разработката е подкрепена от двустранното сътрудничество на ГФИ-БАН с ТИГ, ДВО-РАН и Лабораторията по сеизмология на Солунския университет

ЛИТЕРАТУРА

- Hirata, T. 1989. Fractal dimension of fault system in Japan: Fractal structure in Rock geometry at various scales: - *Journal of Pure and Appl. Geophysics*, 131, 157.
- Jimenez, M., Giardini, D., Grunthal, G., SEASAME Working Group. 2001. Unified seismic hazard modeling throughout the Mediterranean region. - *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, 1-2, 3-18.

- King, G. 1983. The accommodation of large strains in the upper lithosphere of the Earth and other solids by self-similar fault system: - *Pure and Appl. Geophysics*, 121, 761-815,
- Korvin, G. 1992. *Fractal models in the Earth*. Sciences, Elsevier, New York.
- Mandelbrot, B. 1982. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- Rangelov, B., Dimitrova, S. 2002. Fractal model of the recent surface earth crust fragmentation in Bulgaria. – *Compt.Rend. de l'Acad. Sci*, 55, 3, 25-28.
- Tzankov, T., Burchfiel, C., Royden, L. 1998. *Neotectonic (Quaternary) Map of Bulgaria*. Grafika, Sofia.
- Turcotte, D., 1986. Fractals and Fragmentation. – *J. Geophys. Res.*, 91, B2, 1921-1926.
- Turcotte, D. 1986. A fractal model of crustal deformation, - *Tectonophysics*, 132, 361-369.

Препоръчана за публикуване от
катедра "Приложна геофизика", ГПФ

FRACTAL PROPERTIES OF THE MEDITERRANEAN SEISMOTECTONIC MODEL FOR SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

B. Rangelov

BAS
Acad. G. Bonchev str. Bl. 3
Sofia 1113, Bulgaria

S. Dimitrova

BAS
Acad. G. Bonchev str. Bl. 3
Sofia 1113, Bulgaria

D. Gospodinov

BAS
Acad. G. Bonchev str. Bl. 3
Sofia 1113, Bulgaria

G. Lamykina

PIG – FEB, RAS
Radio str. 7
Vladivostok 690068, Russia

ABSTRACT

The seismic hazard assessment of the big regions (such as Mediterranean) needs a regional seismotectonic model, which reflects the main seismogenic properties of the different seismogenic zones. Several models have been created during the last several years. A common work combining all available information about the hazard's model covered the whole Europe and Mediterranean region produced the general map - Jimenez, M. et al., (2001). This map is the target of this study. We studied the compiled map of the model. The seismic zones fragmentation in space is investigated. The fractal dimensions and the fractal coefficients are established. This work is important for the seismic hazard assessment and its properties in the different regions.

INTRODUCTION

The present study focuses on the estimation of the fractal properties and coefficients of the seismogenic zones in the Mediterranean region. The area is divided into several seismotectonic provinces in accordance with the corresponding fragmentation and the specific seismogenic properties of the earth crust for the separate zones. The Mediterranean seismotectonic model (MSM) is presented in M. Jimenez et al. (2001). The separate zones could be characterized by their specific seismogenic properties, which could lead to different seismic impact on buildings and constructions. In that way this analysis gives the possibility for zone identification and comparison between different provinces each of them being most probably characterized by specific seismic hazard.

The classical example of a fractal object is defined by Mandelbrot (1982). If the length of an object P is related to the measuring unit length by the formula

$$P \sim l^{1-D} \quad (1)$$

then P is a fractal and D is defined as the fractal dimension. Beno Mandelbrot gave this definition in the early 60-s of the 20-th century. His ideas support the view, that simple geometric forms can not describe many objects in nature. He considered that they have different levels of geometric fragmentation. It is expressed in irregularities of different scale – from very small to the quite big ones. This makes the measuring unit is extremely important, because measuring of the length, the surface or the volume of the irregular geometric bodies is strongly dependent on the smallest measuring unit in a way that the parameter value changes may vary hundred to thousand orders. This fact was first determined when measuring the coastal line length of West England and the results gave Mandelbrot (1982) the idea to define the concept of a fractal.

In geology and geophysics it is accepted that definition of the different 'fractals' as real physical objects is most often connected to fragmentation. This reveals that each measurable object has a length, surface or volume, which depends on the measuring unit and the object form irregularity. The smaller the measuring unit is, the bigger the common sum for the linear

dimension of the object is and vice versa. The same is valid for 2D and 3D objects.

Another definition of a fractal can be made by the relation between the serial number of measuring to each of the measuring units and the object dimensions. If the number of the concrete measurement with a chosen linear unit is bigger than r , then it may be presented by:

$$N \sim r^{-D} \quad (2)$$

and the fractal is completely determined by D as its characteristic fractal dimension. Applying this definition for the elements of faulting and faults fragmentation, some authors use this idea to depict formal models of the earth crust fragmentation established by Turcotte (1986), which indicate the level of fracturing of the upper earth layers.

From a physical point of view these models are acceptable in most cases considered for example by Rangelov and Dimitrova (2002).

METHODOLOGY

Turcotte (1986) developed the theoretical approach for the linear case and for the 2D and 3D cases. He focuses his attention on the relations between the smallest measuring unit and object's size in analyzing linear, 2D and 3D objects (fig. 1).

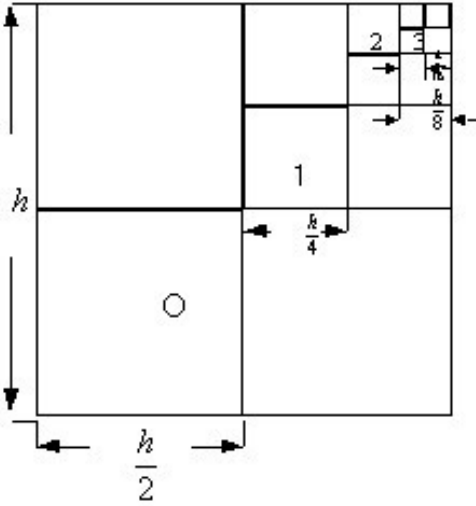


Figure 1. Simple fragmentation measuring of a quadrate with side length h (0), $h/2$ (1), etc.

If l is the measuring unit and with m we denote the obtained value for N at each measuring cycle, then the common sum of the lengths N at level m according to Turcotte is (1986)

$$N_m = (1 - p_c) \left(1 + \frac{n}{m} p_c + \left[\frac{n}{m} p_c \right]^2 \dots \left[\frac{n}{m} p_c \right]^m \right) \quad (3)$$

where p_c denotes the probability for measuring each length for the corresponding cycle of measurements.

Using formulae 1 and 2 by Turcotte we obtain the formula

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = 2^D \quad (4)$$

which is valuable for the linear elements and

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = (2^2)^D \quad (5)$$

which is valuable for the surface case.

Applying formulae 2 and 3 for the mapped earth crust destruction lines in Bulgaria by T. Tzankov et al. (1998), led to obtaining reasonable results by using the above model. This motivated us to verify this approach in analyzing the elements of the Mediterranean seismotectonic model. The existence of different geometrical objects of similar type like the different seismic hazard zones in various Mediterranean areas, makes it suitable to use such an approach when determining the fractal features of the considered seismotectonic model.

MEDITERRANEAN SEISMOTECTONIC MODEL (MSM) AND ITS FRACTAL PROPERTIES

To study the fractal features of the Mediterranean seismotectonic model offered by M. Jimenez et al. (2001), we

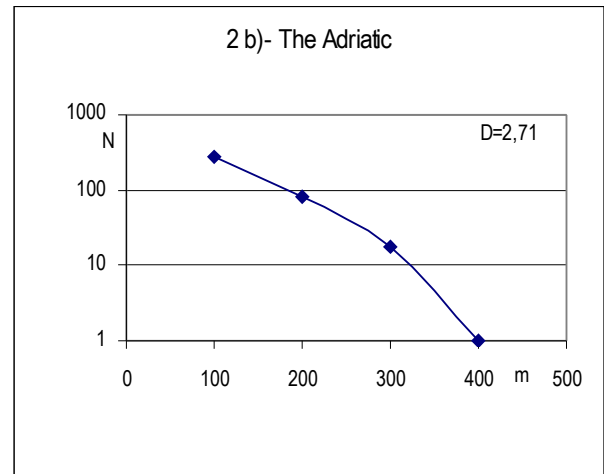
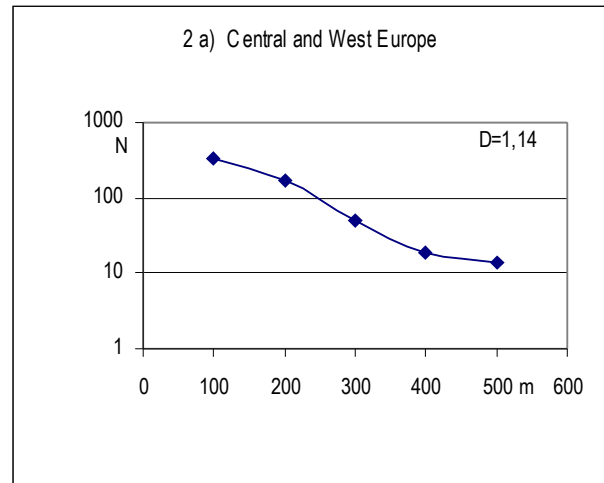
have used data from the map (Seismicity Source Regions for the Mediterranean Region). The map scale is 1:28 000 000. We have determined the number and the size of all lines delineating each of the surface elements of the model. The error in determining the size is less than 5%. The authors of the map have divided the region into several seismotectonic provinces (we follow their denoting):

- The Adriatic (AD)
- Central and West Europe (CWE)
- The Pyrenees and West Africa (PWA)
- Greece (GR)
- Bulgaria and the Northern Balkans (BG NB)

Each province was considered separately at first. Finally some general studies have been made for the whole Mediterranean region.

The lengths of the delineating lines for each seismotectonic zone vary between 100-500 km (they are very rarely bigger but the number of such cases is small enough). Cumulative plots have been developed in order to calculate the fractal dimension of each zone.

The results are presented on fig.2(a-f)



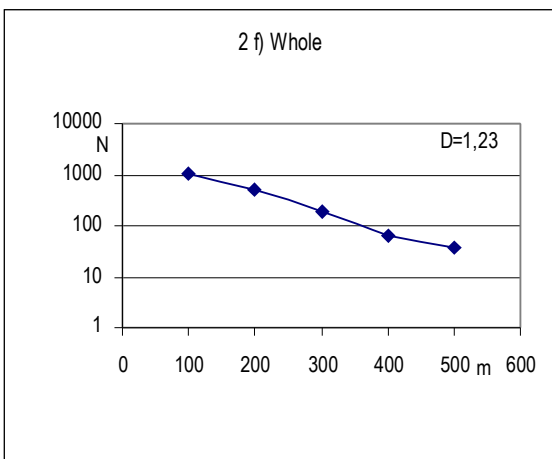
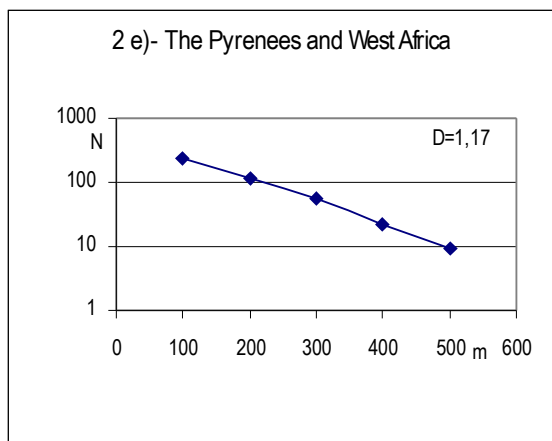
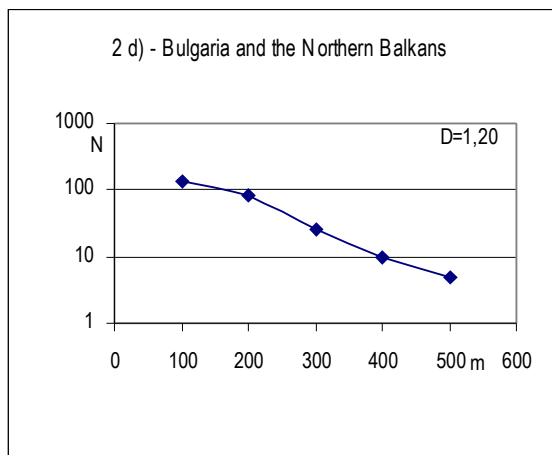
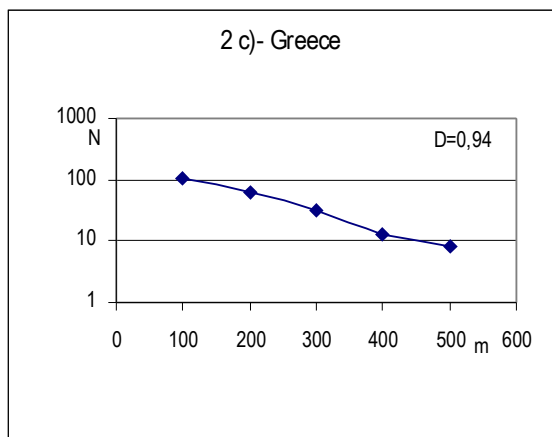


Figure 2 (a-f). Cumulative graphs for the MSM with the established fractal dimensions (linear elements) for the different zones (a-e) and in general (f).

We have also determined the surface fractal dimensions of the separate seismotectonic elements for the same region. All surface areas have been determined and we have plotted the relations - number - area for each zone. For this purpose we have used the map M.Jimenez et al. (2001), which is in a scale 1:30 000 000. The measured surface areas vary from 500 to 2500 km².

ANALYSIS AND SYNTHESIS

The obtained results for the different provinces reveal (table 1):

Table 1. Fractal dimensions for the linear (l) and surface (S) elements of the MSM

1. The dimension values for the 'Adriatic' zone differ substantially from the other zones values. This concerns both the linear elements and the 2D elements, and it is reflected in both studied parameters at the level of non-linearity (the D-value respectively) being the biggest.

2. All remaining zones are similar according to their non-linear behavior (considering the linear boundaries). The dimension values vary from 1.1 to 1.25 with Greece making an exception with a dimension under 1.0 (0.94)

3. Regarding the 2D fractal features, the differences are smaller with the exception of the Adriatic zone again. Some grouping can be identified of different zones according to their fractal dimension values - 'Greece' and 'Central and West Europe' (0.41-0.40). These zones are quite different by their seismic activity and seismicity patterns, but they are similar concerning their seismically hazardous areas from "fractal" point of view.

4. Other similar zones (by their linear fractal dimensions) are 'The Pyrenees and West Africa' and 'Bulgaria and the Northern Balkans' (0.25-0.24). These provinces have not similar geodynamic features but they are formally similar for sure according to the distribution of their seismically dangerous areas. In one way or another, the hazardous areas have similar sizes.

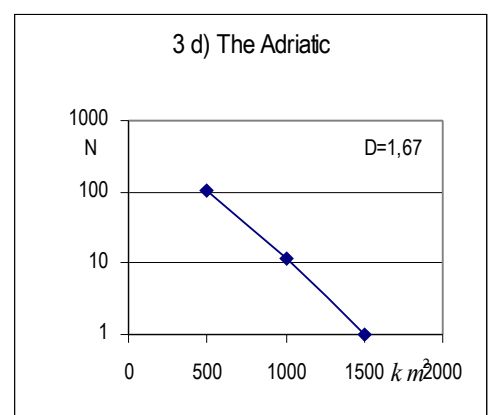
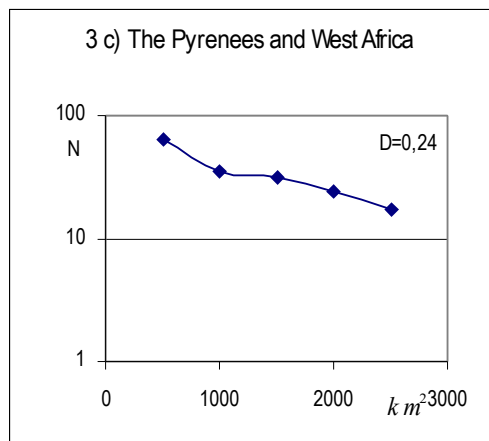
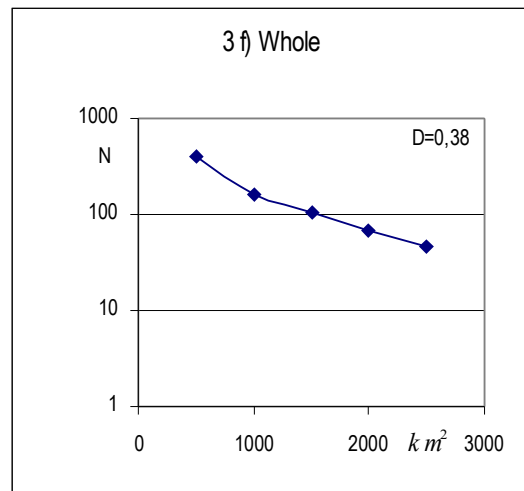
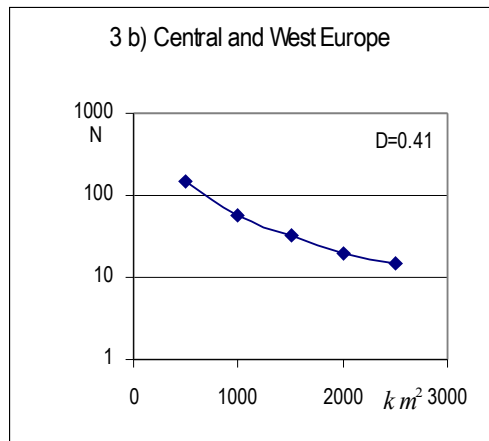
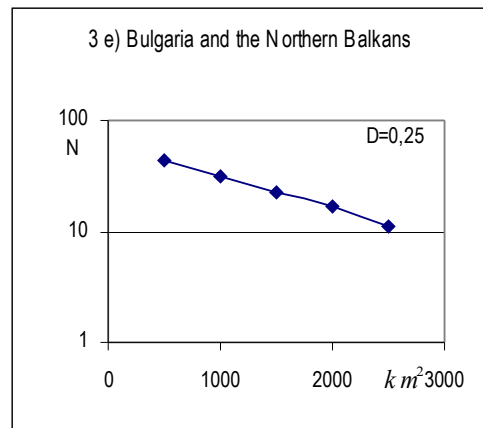
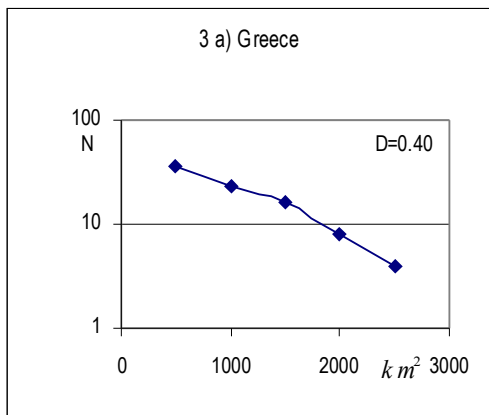


Figure 3 (a-f). Cumulative graphs for the MSM with the established fractal dimensions (surface elements) for the different zones (a-e) and in general (f).

CONCLUSIONS

The obtained results reveal that the applied approach can be useful in comparing the behavior of the seismogenic elements of the different seismotectonic provinces. The existence of clearly defined non-linear features of the seismic hazard areas' distribution shows similarity or non-similarity. Simple elementary relations can not describe this important sensitive part of human knowledge about the practical assessment of the seismic hazard. It becomes evident that more punctual and refined methods of the mathematical analysis are obligatory in order to avoid generalizations made only on analogs, which was done in many cases up to now.

The obtained results can serve as a base for developing of 'local' requirements and codes, regarding seismic safety in construction and on the general. The similar seismic hazard features in the different countries can be used for applying and/or adapting of already developed and used in practice regulation documents.

Acknowledgements

This study was supported by the two-sided cooperation between GPI-BAS and TIG, DVO-RAN and the Laboratory on seismology of the Thessaloniki University.

REFERENCES

- Hirata, T., 1989. Fractal dimension of fault system in Japan: Fractal structure in Rock geometry at various scales: - *Journal of Pure and Appl. Geophysics*, 131, 157.
- Jimenez, M., Giardini, D., Grunthal, G., SEASAME Working Group, 2001. Unified seismic hazard modeling throughout the Mediterranean region. - *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, v.42, n 1-2, 3-18.
- King, G., 1983. The accommodation of large strains in the upper lithosphere of the Earth and other solids by self-similar fault system: - *Pure and Appl. Geophysics*, 121,761-815,
- Korvin, G., 1992. Fractal models in the Earth - Sciences, Elsevier, New York.
- Mandelbrot, B., 1982. The Fractal Geometry of Nature. - W. H. Freeman & Co., San Francisco,
- Rangelov, B., Dimitrova, S., 2002. Fractal model of the recent surface earth crust fragmentation in Bulgaria. - *Compt. Rend. de l'Acad. Sci.* v.55 №3, 25-28.
- Tzankov T., Burchfiel C., Royden L., 1998. Neotectonic (Quaternary) map of Bulgaria, *Grafika, Sofia*.
- Turcotte, D., 1986. Fractals and Fragmentation. - *J.Geophys.Res.*, v.91, No B2, 1921-1926.
- Turcotte, D., 1986. A fractal model of crustal deformation, - *Tectonophysics*, 132, 361-369.

*Recommended for publication by Department
of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting*