

Fraktal Analizin Yeryüzü Araştırmalarında Kullanılması

Azize Uyar¹, Derya Öztürk¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun.

e-posta: azize.uyar@omu.edu.tr, dozturk@omu.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2017 ; Kabul Tarihi: 03.08.2017

Özet

Klasik Öklid geometrisi karmaşık şekillerin modellenmesinde ve açıklanmasında yetersiz kalmaktadır. Fraktal geometri, düzensiz ve kompleks durumların matematiksel olarak ifade edilmesine olanak tanır. Fraktal geometri esasları temelinde gerçekleştirilen fraktal analiz ile doğal ve yapay nesnelerin biçimleri ve ayrıca sistemlerin ve süreçlerin de incelenmesi mümkündür. Fraktal analiz ile doğadaki nesnelerin ve olayların karmaşıklık seviyeleri sayısal olarak analiz edilebilir. Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyon sayesinde fraktal analiz bugün yeryüzü araştırmalarında da oldukça etkin olarak kullanılabilir. Bu çalışmada yeryüzü araştırmalarında fraktal analiz kullanımı konusuna odaklanılmış, fraktal geometri, fraktal analiz ve fraktal boyut kavramları teorik olarak ele alınarak fraktal analizin yeryüzü araştırmalarında nasıl kullanılabileceği detaylandırılmıştır.

Anahtar kelimeler

Fraktal geometri,
Fraktal analiz, Fraktal
boyut, Yeryüzü, CBS.

The Use of Fractal Analysis in the Earth Researches

Abstract

The classical Euclidean geometry is insufficient to model and explain complex shapes. Fractal geometry allows for mathematical expression of irregular and complex states. It is possible to examine the shapes of natural and artificial objects as well as the systems and processes by fractal analysis based on fractal geometry principles. Complexity levels of objects and events in nature can be analyzed quantitatively by using fractal analysis. Through the developments in information technologies and integration with Geographical Information Systems (GIS), fractal analysis can be used effectively in earth researches today. In this study, we focus on the use of fractal analysis in earth researches, and explain how fractal analysis can be used in earth researches by considering the theoretical concepts of fractal geometry, fractal analysis and fractal dimension.

Keywords

Fractal geometry,
Fractal analysis, Fractal
dimension, Earth, GIS.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Klasik Öklid geometrisinde şekiller; nokta, doğru, daire, üçgen, çokgen, koni, silindirik vb. şekillerden ibarettir. Bu şekiller gerçeğin güçlü bir soyutlamasıdır ancak doğada var olan karmaşık yapıyı anlamak ve modelleyebilmek için yetersiz kalmaktadır (Koçak, 2015). Çünkü doğadaki nesneleri matematiksel eğrilerle, daire, dörtgen, küre, sinüs dalgaları gibi düzgün geometrik şekillerle göstermek gerçekçi bir yaklaşım sunmamaktadır (Ufuktepe ve Aslan, 2002). Örneğin formülize edilemeyen dağ, akarsu, kıyı, ağaç vb. şekillerin gerçeğe yakın modellenmesi Öklid geometrisi ile mümkün olmamaktadır (Yılmaz,

2013). Esasen yeryüzü nesnelere yakından incelendiğinde Öklid geometrisine hiç benzemediği görülmektedir. Örneğin tam küre şeklinde bir buluta veya tam koni şeklinde bir dağa yeryüzünde rastlanamaz (Koçak, 2015). Bu nedenle yeryüzü nesnelere modellenmesinde ve görselleştirilmesinde farklı yaklaşımlara ve yeni yöntemlere gereksinim duyulmuştur (Ufuktepe ve Aslan, 2002; Koçak, 2015).

Benoit B. Mandelbrot (1967) yeryüzü nesnelere düzensiz şeklinin modellenmesi için Fraktal geometri kavramını ortaya koymuştur. Kırılmış veya parçalanmış anlamına gelen Latince "fractus" kelimesinden türetilen fraktal kavramı, matematik

alanında çoğunlukla kendine benzeme veya tekrar etme özelliği gösteren karmaşık geometrik şekillerin ortak adıdır (Falconer, 2014). Fraktal geometri kendi kendini tekrar ederek sonsuza kadar küçülen veya büyüyen şekilleri, kendine benzer bir nesnede nesneyi oluşturan parçaları inceler. Düzensiz şekilli ayrıntılar ya da desenler giderek küçülen ölçeklerde (kendini oluşturan alt bölümlerde) yinelenir ve tamamen soyut nesnelere bu olay sonsuza kadar sürebilir (Yılmaz, 2013). Başka bir ifadeyle her parça bir üst parçanın ve hatta cismin bütününe benzerdir (Falconer, 2014). Fraktallar genel olarak geometrik ve rastgele (geometrik olmayan-kompleks) fraktal olarak iki şekilde incelenmektedir. Geometrik fraktallar, geometrik ve kendine benzer özellik gösterirken rastgele fraktallar kendine birebir benzeme özelliği göstermeyen şekillerdir (Yılmaz, 2013; Falconer, 2014). Rastgele fraktalların tüm ölçeklerinde rastgelelik vardır. Bu tip nesnelere daha çok doğada görülür ve bu nedenle doğanın simülasyonunda rastgele fraktallar kullanılır (Yılmaz, 2013).

Ancak fraktalların çeşitli algoritmalar yardımıyla bilgisayar ortamında üretilebilir olması yeryüzü araştırmalarının yanı sıra birçok farklı alanda da kullanımına olanak tanımaktadır (Stevens, 1990).

Biyoloji, tıp, ekonomi, finans, astronomi vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılan fraktal geometri (Eren, 2009) günümüzde doğal bilimlerde de oldukça büyük bir ilgi uyandırmış ve yeryüzü şekillerinin ve oluşumlarının Öklid geometrisi yerine fraktal yaklaşımla ele alınmasının çok daha yararlı olduğu görüşü ağırlık kazanmaya başlamıştır (Hamilton vd., 1992; Tarboton, 1996; Zhou, 2004; Shaikh vd., 2010; Shaohui ve Zhongping, 2013; Karle ve Kolwankar, 2015).

Bir cismin bir bütünle aynı olan parçalardan oluşması veya parçasal düzensizliğin bütününe düzensizliği ile benzer olması olarak tanımlanan kendine benzerlik doğada birçok unsurda karşımıza çıkmaktadır. Örneğin kıyı çizgisi ele alındığında, kıyı çizgisi kıyının herhangi bir parçasında tıpkı bütününe olduğu gibi girintili ve çıkıntılıdır. Benzer

şekilde, doğada fraktal olarak ifade edilebilen yapılar, nehirlerin ve ağaçların dallanma özellikleri, faylar, topoğrafya, bulutlar vb. çok sayıda örnekle genişletilebilir (Öncel ve Alptekin, 1995). Doğadaki birçok obje veya oluşumun fraktal özellik göstermesi nedeniyle, literatürde yeryüzü araştırmalarında fraktal analizin kullanıldığı çalışmalar giderek artmaktadır (Hamilton vd., 1992; Tarboton, 1996; Zhou, 2004; Mcadams, 2007; Shaikh vd., 2010; Shen vd., 2011; Terzi ve Kaya, 2011; Li, 2012; Shaohui ve Zhongping, 2013; Karle ve Kolwankar, 2015). Özellikle uzaktan algılama tekniklerinin yeryüzü araştırmalarında etkin kullanımı ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) analiz olanakları, fraktal analizlerin bu teknolojiler ile entegre yürütülmesine olanak sağlamaktadır (Li vd., 2002; Paszto vd., 2011a; Yue vd., 2011; Knight, 2015).

Bu çalışmada yeryüzü ile ilgili çalışmalarda ve CBS ile entegrasyonunda giderek artan bir ilgi ve öneme sahip olan fraktal geometri ve genel özellikleri, fraktal analiz, fraktal boyutun hesaplanması ve fraktal analizin yeryüzü araştırmalarında kullanımı hakkında temel teorik bilgilerin verilmesi amaçlanmaktadır.

2. Fraktal Geometri, Fraktal Analiz ve Fraktal Boyut

Genel olarak tüm nesnelere lineer ve düzgün geometride matematik ya da fiziksel olarak devamlıdır. Fakat doğa bunun her zaman doğru olmadığını göstermektedir. Doğal objelerin şekilleri pürüzlü ve düzgün devam etmeyen nesnelere benzerdir. Bu nedenle, Benoit B. Mandelbrot (1967) yeryüzü nesnelere benzer düzensiz şeklinin modellenmesi için fraktal geometri kavramını ortaya koymuştur. Doğadaki birçok cisim bakıldığında bu cisimlerin Öklid geometrisi ile ifade edilmesinin mümkün olmayacağı görülür. Fraktal geometri yeryüzü şekillerinin modellenmesinde Öklid geometrisine göre daha etkilidir (Charkaluk vd., 1998; Ufuktepe ve Aslan, 2002; Falconer, 2014).

Fraktal geometri doğadaki karmaşık nesnelere

tanımlamak, modeller geliştirmek ve analiz etmek için kullanılan bir yaklaşımdır (Ediz, 2003). Fraktal geometri, fraktal analiz olarak adlandırılan yeni ölçüm yöntemlerinin gündeme gelmesini sağlamıştır (Yılmaz, 2013). Fraktal analiz ile sadece nesnelerin biçimleri değil, sistemlerin ve süreçlerin de incelenmesini mümkündür. Dolayısıyla fraktal analiz ile doğadaki olayların karmaşıklık seviyeleri sayısal olarak analiz edilebilir (Andronache ve Ciobotaru, 2012). Fraktal özelliğe sahip bir nesnenin, sistemin veya sürecin temel özelliği ölçüleceği değişmemesi yani kendine benzerliğidir (Öncel ve Alptekin, 1995).

2.1. Fraktal Boyut

Boyut şekillere ve örüntülere dayanan ölçme yöntemidir ve cisimlerin en, boy, yükseklik gibi temel özelliklerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Fraktal özellik, fraktal boyut (D) ile ifade edilir (Öncel ve Alptekin, 1995).

Burada fraktal boyuta geçmeden önce topolojik boyuttan söz etmek gerekir. Bir geometrik nesnenin topolojik boyutu o geometrik nesneyi parçalara ayırmak için kullanılan diğer geometrik nesnelerin topolojik boyutundan bir fazladır. Uzayı bölmek için yüzeyler, yüzeyleri bölmek için eğriler, eğrileri bölmek için noktalar kullanılır. Noktalar ise parçalanamaz. Bu nedenle noktaların topolojik boyutu 0'dır. Eğrileri bölmek için noktalar kullanıldığı için eğrilerin topolojik boyutu 1'dir. Düzlemleri bölmek için eğriler kullanıldığı için düzlemlerin topolojik boyutu 2'dir. Uzayı bölmek için düzlemler kullanıldığı için uzayın topolojik boyutu 3'tür (Ürey, 2006).

Fraktal boyut ise topolojik değil metrik bir kavramdır. Uzayda iki nokta arasındaki uzaklığın tanımlanabiliyor olması temelinden yola çıkarak ortaya konulmuştur (Ürey, 2006). Fraktal boyut Öklid geometrisindeki tam sayılar (0, 1, 2, 3-boyutlu) yerine 0 ve 3 arasında ondalıklı değerlerle ifade edilir. Bu ara değerler nesnelerin şekilleri, gerek nesnelerin gerekse incelenen olayların karmaşıklık düzeyleri hakkında önemli bakış açıları

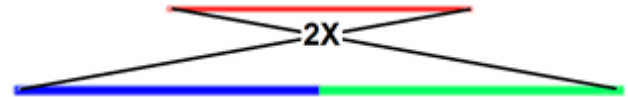
sunar (Gaul ve Hiltz, 2000).

Fraktal boyut bir nesne, sistem, süreç veya veri grubundaki karmaşıklığın bir ölçüsüdür ve anlamı kullanılan veriye ve uygulanan yöntemle göre değişmekte, buna göre yorumlanmaktadır (Öncel ve Alptekin, 1995).

Fraktal boyutu hesaplamak için farklı yöntemler bulunmaktadır. Nesne ve kendine benzerlik arasındaki ilişkiye göre fraktal boyutun tanımını yapabilmek için 1-boyutlu doğru parçası, 2-boyutlu kare ve üçgen, 3-boyutlu küp örneklerini ele alalım. Doğru parçası $r = 1/N$ oranında küçültülerek N eşit parçaya bölünebilir (Şekil 1). Benzer şekilde kare ve üçgen $r = 1/\sqrt{N}$ oranında küçültülerek N eşit parçaya ayrılırken (Şekil 2), küp ise $r = 1/\sqrt[3]{N}$ oranında küçültülerek N eşit parçaya bölünür (Şekil 3). Buna bağlı olarak genel bir ifadeyle D fraktal boyutlu bir nesnenin $r = 1/\sqrt[D]{N}$ oranında küçültülerek N adet parçaya ayrıldığını söyleyebiliriz. Buradan $N = \frac{1}{r^D}$ olarak çekilerek D fraktal boyutu Denklem 1'de gösterildiği şekilde ifade edilebilir (Ürey, 2006).

$$D = \frac{\log N}{\log(1/r)}$$

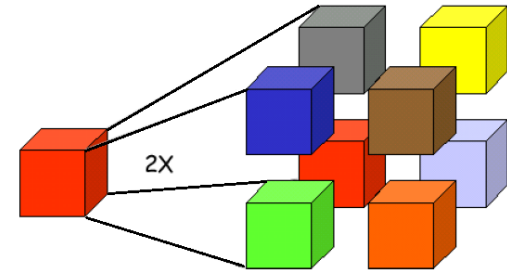
Burada D fraktal boyut, N benzer parça sayısı ve r küçültme katsayısıdır.



Şekil 1. Doğru parçasının kendine benzer parçalara ayrılması (Ürey, 2006).

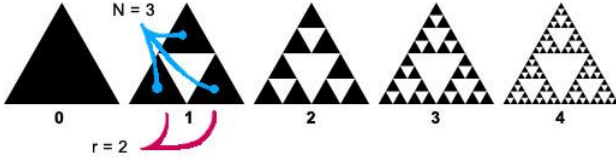


Şekil 2. Kare ve üçgenin kendine benzer parçalara ayrılması (Ürey, 2006).



Şekil 3. Küpün kendine benzer parçalara ayrılması (Ürey, 2006).

Fraktalların ve fraktal boyutun daha iyi anlaşılabilmesi için Vaclav Sierpinski'nin kendi adıyla anılan Sierpinski üçgenini ele alalım (Şekil 4). Kenar uzunlukları 1 birim olan eşkenar üçgenin kenar orta noktaları birleştirilerek 4 tane eşkenar üçgen elde edilir ve ortadaki çıkartılır, elde edilen şekilde 3 tane kenar uzunlukları 1/2 olan kopya üçgen elde edilir. Bu işlem ardışık olarak sürdürülebilir (Edgar, 2002).



Şekil 4. Sierpinski üçgeni (Int Kyn. 1).

İlk işlem sonucunda elde edilen şekil ele alınırsa kenar uzunluğu 1/2 olan 3 üçgen için;

$$D = \frac{\log N}{\log(1/r)} = \frac{\log 3}{\log(1/2)} = 1.58 \text{ olur.}$$

Fraktal boyut hesabını kenar uzunluğu 1/4 olan 9 kopya üçgene göre yaparsak;

$$D = \frac{\log N}{\log(1/r)} = \frac{\log 9}{\log(1/4)} = 1.58 \text{ elde edilir.}$$

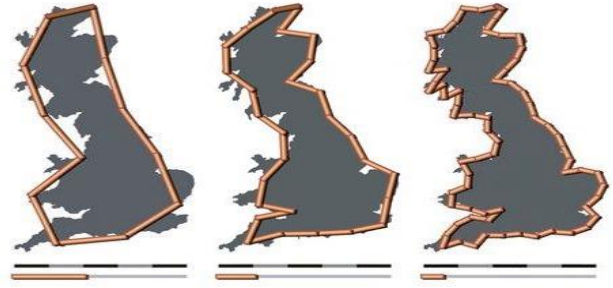
Böylece sonsuza kadar birbirinin kopyası olan şeklin basit bir biçimde fraktal boyutu hesaplanabilir. Burada bir nesnenin büyütülmesi ve ya küçültülmesi ile fraktal boyutun değişmediği görülmektedir (Edgar, 2002).

Fraktal boyut hesabında farklı yazılımlar farklı yöntemler kullanabilmektedir. Ancak kullanılan tüm yöntemlerin temel mantığı yukarıda anlatıldığı gibi fraktalların farklı ölçeklerde ele alınsa bile boyutunun değişmeyeceğidir (Edgar, 2002).

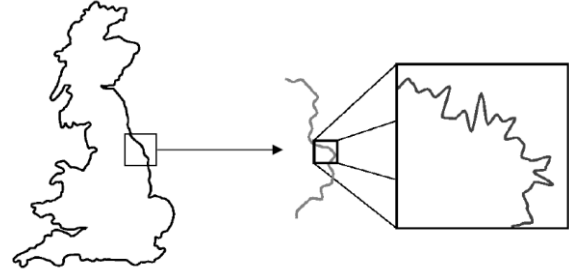
3. Yeryüzü Araştırmalarında Fraktal Analiz

Fraktal kavramının çıkış noktası yeryüzü olmuştur. Benoit B. Mandelbrot 1967 yılında yayımladığı "How long is the coast of Great Britain?" başlıklı makalesinde Öklid geometrisinin doğadaki şekilleri ifade etmekteki başarısını sorgulamış ve doğal formların tanımlanmasında klasik geometriye ait

kural ve formların yetkin olmadığını fark etmiştir. Benoit B. Mandelbrot bu çalışmada kıyı şeritlerinin uzunluğunun kullanılan harita ölçeğine göre değiştiğini yani kıyıya yaklaştıkça uzunluğunun arttığını öne sürmüştü (benzer şekilde farklı ölçeklerdeki materyaller ile farklı ölçüler elde edilir (Şekil 5)), ancak buna karşın kıyılarda her düzeyde ölçekten bağımsız bir kendine benzerlik özelliği olduğunu göstermiştir (Şekil 6). Böylece Britanya kıyılarının uzunluğunun ne kadar olduğu sorusundan yola çıkılarak yeryüzü nesnelere düzensiz şeklinin modellenmesi için fraktal geometri kavramı ortaya konulmuştur (Altınuc vd. 2013; Haggard, 2006).



Şekil 5. Farklı ölçeklerde materyaller ile kıyı uzunlukları ölçülmesi (Int Kyn. 2).



Şekil 6. Ölçekten bağımsız kendine benzerlik özelliği (Int Kyn. 3).

Doğadaki pek çok yapı standart geometriden farklı olarak düzensiz ve parçalı bir görünüme sahiptir. Doğa bu nedenle oldukça farklı ve karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu nedenle doğadaki nesnelere görselleştirmek istendiğinde bilinen geometrik yöntemler yeterli olmamaktadır. Başka bir deyişle doğadaki nesnelere şekilleri belli formülleri olmadığından bilinen geometri algoritmaları ile tam olarak görselleştirilemezler (Değirmenci, 2009). Bilindiği üzere harita yapımında yaygın olarak Öklid geometrisi kullanılmaktadır. Fakat Öklid geometrisi yeryüzündeki nesnelere nokta, doğru, daire, üçgen,

çokgen, koni, silindir vb. şekillerle ifade etmektedir. Aslında yeryüzü şekilleri Öklid geometrisinde gösterildiği gibi nokta veya çizgilerden daha karmaşıktır. Bu nedenle yeryüzünün görselleştirilmesi yani haritaya işlenmesi için Öklid geometrisi yeterli gelmemektedir (Koçak, 2015). Doğadaki nesnelere Öklid geometrisi açısından biçimsiz, morfolojik açıdan kendine özgü bir şekli olmayan nesnelere ifade eder. Bu sebeplerle yeryüzü görselleştirilmesinde yeni bir yöntem olan fraktal geometri kavramı ortaya çıkmış, bu düzensiz ve parçalı nesnelere matematiğin araştırma alanına girmiştir (Edgar, 2002).

Fraktallar, tüm ölçeklerde kendi içinde tekrar eden dokular ve örüntüler sergileyen klasik geometrik kurgulardan tamamen farklı yeni bir yaklaşımdır. Fraktal kurgularda tüm ölçeklerde kendine benzer bir strüktür izlenebildiği gibi, her ölçekte aynı strüktür ya da örüntüden oluşmak zorunda da değildir (Ediz, 2003).

Fraktal geometri Öklid Geometrisi ile tanımlanamayan biçimleri geometrik ve matematiksel olarak tanımlayabilir. Örneğin gökyüzündeki bulutlar mevcut geometrik kuramlar ile açıklanamazlar. Ancak fraktal geometri ile bulutlar geometrik açıdan izah edilebilir (Ediz, 2003).

Nehirler de bulutlarda olduğu gibi düzensiz geometrik bir yapıya sahiptir. Bu yapı birbirine benzer biçimde sonsuz sayıda geometrik parçadan oluşur. Her bir parça, bütünde var olan düzeni kendi ölçeğinde tekrar eder ya da başka bir ifadeyle benzer yapıyı sürdürür. Bilindiği üzere bir nehir, kaynağından doğduktan sonra kollara ayrılarak büyür. Bu kollar da zamanla farklı kollara ayrılırlar. Bu tekrarlar kendine benzer kolların oluşmasını sağlar. Nehirlerin bu özelliği Nil Nehrine ait bir uydu görüntüsü örneğinde görülmektedir (Şekil 7) (Ediz, 2003).



Şekil 7. Nehirlerin fraktal yapısı (Int Kyn. 4).

Kıyıları oluşturan sahil şeritleri de düzensiz bir yapıya sahiptir. Kıyı çizgileri ayrıntılı olarak incelendiğinde aslında genel yapıda var olan dokunun yapının detaylarında yinelendiği yani benzer dokunun süreklilik gösterdiği izlenir (Ediz, 2003). Şekil 8'de Britanya'ya ait uydu görüntüsünden kıyı çizgisi dikkatle incelendiğinde aslında birbirinden tamamen farklı şekillerin birleşmesinden oluşan sahil şeritlerinin fraktal geometrinin tanımlayabildiği doğal oluşumlara verilebilecek en güzel örneklerden birisi olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Kıyıların fraktal yapısı (Int Kyn. 5).

Deniz kıyılarında görülen fraktal yapıya hem doğal göllerde hem de baraj vb. uygulamalar ile oluşturulan yapay su toplama alanlarında da rastlanır. Şekil 9'da Atatürk Barajına ait uydu görüntüsünden bir baraj gölünün kıyılarının fraktal yapısı görülmektedir.

Doğadaki birçok objede görülen fraktal yapı nedeniyle, fraktal değerin hesaplanarak kantitatif değerlendirmeler ve bulguların irdelenmesi önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Bu

çalışmalarda temel veri kaynakları uydu görüntüsü, hava fotoğrafı veya yersel teknikler olup, analizler CBS destekli olarak yürütülmektedir (Li vd., 2002; Paszto vd., 2011a; Yue vd., 2011; Knight, 2015).



Şekil 9. Baraj gölünün fraktal yapısı (Int Kyn. 6).

Çeşitli çalışmalar nehir kıyılarının fraktal boyutu ile çeşitli çevresel özellikler arasındaki ilişkileri açıklamaktadır (Hamilton vd., 1992; Tarboton 1996; Zhou, 2004; Shen vd., 2011; Shaohui ve Zhongping, 2013). Örneğin bu çalışmalardan Shaohui ve Zhongping (2013) yerleşim bölgesi dışındaki nehirlerde fraktal boyutun daha büyük olabileceği sonucuna ulaşırken, Shen ve ark. (2011) nehir fraktal boyutuyla tektonik gelişim arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Lagün ve göllere ilişkin araştırmalarda ise fraktal boyut ile gölü çevreleyen yüzeyin kompleksliği hakkında çıkarsamalar yapılmakta ve fraktal boyuttaki değişimler çevresel koşullar açısından irdelenmektedir (Hamilton vd., 1992; Shaikh vd., 2010; Shaohui ve Zhongping, 2013; Karle ve Kolwankar, 2015).

Yeryüzü kullanımına başka bir örnek ise arazi örtüsü/kullanımı sınıflarının fraktal boyutlarının hesabı ve karşılaştırmasıyla yapılan çıkarsamalardır (Paszto vd., 2011b).

Ayrıca fraktal analiz ile yeşil alan kullanımı ve diğer arazi kullanım kararlarının irdelendiği ve bu kapsamda önemli bakış açılarının sağlandığı çeşitli çalışmalar da mevcuttur (Walker ve Kenkel, 1998; Paszto vd., 2011b).

Bunlarla birlikte son yıllarda fraktal analiz doğal bir yeryüzü formu olmayan ancak arazi kullanımı kararlarıyla şekillenen kentsel dokunun ve kentsel

yayılanın analizinde de kullanılmaya başlanmıştır. Fraktal boyut ile saçaklanma (yayıma) arasındaki ilişkinin varlığından yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmalarda kentsel büyüme analiz edilerek planlama kararlarının etkin bir biçimde yürütülmesi için çeşitli saptamalar yapılmaktadır (Mcadams, 2007; Terzi ve Kaya, 2011; Li, 2012).

Fraktal geometri ve analizinin kullanıldığı alanlardan bir diğeri de deprem bilimidir. Jeofizikte depremlerin zamansal ve konumsal dağılımları gibi birçok olgu, kaotik davranış gösterir bu nedenle fraktal analiz yardımı ile incelenebilir. Birçok araştırmada kaya-kırık deneyleri, deprensellik, fay sistemleri gibi konularda fraktal boyut kavramı kullanılmıştır (Öncel ve Alptekin, 1995; Wyss vd., 2004; Ram ve Roy, 2005; Ceylan, 2008; Öztürk, 2015).

Buna ilaveten iklimsel, hidrolojik ve jeomorfolojik parametreler de fraktal analiz ile irdelenebilmektedir (Zhou, 2004; Andronache ve Ciobotaru, 2012).

Tüm bu çalışmalar harita temelinde gerçekleştirilmekte olup fraktal analizin haritacılık açısından bir diğer önemli kullanım alanı ise kartografik genelleştirmedir (Dong vd., 2001; Skopeliti ve Tsoulos, 2001).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yeryüzü ile ilgili çalışmalarda CBS ile entegre yürütülebilen fraktal analiz konusu ele alınmış, konunun teorik detayları incelenmiştir. Ayrıca fraktal analizin yeryüzü araştırmalarında nasıl ve hangi konularda kullanılabileceği incelenerek fraktal analizin etkinliği araştırılmıştır.

Çalışmanın sonucunda fraktal analizin yeryüzü ile ilgili çalışmalarda, gerek yeryüzünün modellenmesinde gerekse yeryüzü ile ilgili morfolojik araştırmalar ve süreç analizlerinde önemli bir araç olacağı, analiz sonucunda elde edilecek kantitatif sonuçların problem çözme süreçlerine dahil edilebilecek ve

değerlendirmelerde kullanılacak veri/unsur oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

Özellikle son yıllarda CBS alanında yaşanan hızlı gelişmelerin, fraktal analizin çeşitli coğrafi analiz ve çalışmalarda güçlü bir araç olarak karşımıza çıkacağı ve CBS ile fraktal analizin entegre edildiği çalışmaların hızla yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

Altinuc S.O., Keceli A.S., Sezer E.A., 2013. Semi-automated shoreline extraction in satellite imagery and usage of fractals as performance evaluator, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, **6(2)**, 102-106.

Andronache I., Ciobotaru A.-M., 2012. Fractal analysis of certain climatic, hydrologic and geomorphologic parameters within the Balta Mica of Braila natural park (Romania), *Journal of Wetlands Biodiversity*, **2**, 81-94.

Ceylan S., 2008. Marmara Depremlerinin Kaotik Özellikleri ve Fraktal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 90.

Charkaluk E., Bigerelle M., Iost A., 1998. Fractals and fracture, *Engineering Fracture Mechanics*, **61(1)**, 119-139.

Değirmenci F.B., 2009. Fraktal Geometri ve Üretken Sistemlerle Mimari Tasarım. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 86.

Dong J., Xiaohuan Y., Naibin W., Honghui L., 2001. From 1 dimension to N dimensions-fractal in automated cartographic generalization, *Journal of Geographical Sciences*, **11(1)**, 86-90.

Edgar G.A., 2006. Ölçü, Topoloji ve Fraktal Geometri. Prof. Dr. H. Hilmi Hacısalihoğlu (çeviri editörü), Nobel yayın dağıtım, ISBN 975-591-965-1.

Ediz Ö., 2003. Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 185.

Eren E., 2009. Yeni iktisatta ortak noktalar, İktisadi

Düşünce Girişimi, *İktisatta Yeni Yaklaşımlar Çalıştayı*, 17 Nisan, İstanbul.

Falconer K., 2014. *Fractal Geometry: Mathematical Foundation and Application*, John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Gaul K.K., Hiltz J., 2000. *Landscapes and Communities on the Pacific Rim: Cultural Perspectives from Asia to the Pacific Northwest*, East Gate Book, New York.

Haggard K., 2006. *Fractal Architecture: Design for Sustainability*, Son Lous Sustainability Group, California.

Hamilton S.K., Melack J.M., Goodchild M.F., Lewis W.M., 1992. Estimation of the fractal dimension of terrain from lake size distributions, *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives'in İçinde*, Carling P. A., Petts G. E. (editörler), Wiley, Chichester, 145-163.

Karle N.N., Kolwankar K.M., 2015. Characterization of the irregularity of a terrain using fractal dimension of lakes' boundaries, *Fractals*, **23(2)**.

Knight J.L., 2015. GIS Based Compactness Measurement Using Fractal Analysis. <http://www.spatial.maine.edu/~onsrud/ucgis/testproc/knight/knight.html> [Erişim 1 Ağustos 2015].

Koçak K., 2015. Doğanın geometrisi: Fraktal geometri. http://web.itu.edu.tr/~kkocak/fraktal_yazi.htm [Erişim 1 Ağustos 2015].

Li F., 2012. Investigation of Urban Sprawl on the Basis of Remote Sensing Data: A Case Study in Jiangning, Nanjing City China, PhD Thesis, Dissertation, University of Stuttgart, Germany.

Li J., Wang X.-Y., Guo Q.-S., 2002. Research on fractal characteristics of urban traffic network structure based on GIS, *Chinese Geographical Science*, **12(4)**, 346-349.

Mandelbrot B.B., 1967. How long is the coast of Great Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, **156**, 636-638.

McAdams M.A., 2007. Fractal analysis and the urban

- morphology of a city in a developing country: A case study of Istanbul, *Marmara Coğrafya Dergisi*, **15**, 149-172.
- Öncel A.O., Alptekin Ö., 1995. Fraktal dağılım ve sismolojideki uygulamaları, *Jeofizik*, **9(10)**, 311-316.
- Öztürk S., 2015. Depremselliğin fraktal boyutu ve beklenen güçlü depremlerin orta vadede bölgesel olarak tahmini üzerine bir modelleme: Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye, *GÜFBED/GUSTIJ*, **5(1)**, 1-23.
- Paszto V., Marek L., Tucek P., Janoska Z., 2011a. Perspectives of fractal geometry in GIS analyses, *GIS Ostrava 2011*, January 24-26, Ostrava.
- Paszto V., Marek L., Tucek P., 2011b. Fractal dimension calculation for CORINE land-cover evaluation in GIS – A case study, 11th Annual International Workshop on Databases, Texts, Specifications, and Objects (Dateso 2011)'in içinde, Snasel V., Pokorný J., Richta K. (editörler), 196-205.
- Ram A., Roy P.N.S., 2005. Fractal dimensions of blocks using a box counting technique for the 2001 Bhuj earthquake, Gujarat, India, *Pure and Applied Geophysics*, **162**, 531-548.
- Shaikh Y.H., Phathan J.M., Maqdoom F., Khan A.R., Behere S.H., 2010. Application of fractal geometry to lakes, *Archives of Physics Research*, **1(2)**, 147-170.
- Shaohui Y., Zhongping Z., 2013. Spatial-temporal changes of urban wetlands shape and driving force analysis using fractal dimension in Wuhan City, China, International Conference on Remote Sensing, *Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013)*, July 26-28, Nanjing, China.
- Shen X.H., Zou L.J., Zhang G.F., Sua N., Wu W.Y., Yang S.F., 2011. Fractal characteristics of the main channel of Yellow River and its relation to regional tectonic evolution, *Geomorphology*, **127**, 64-70, doi:10.1016/j.geomorph.2010.12.007.
- Skopeliti A., Tsoulos L., 2001. A methodology for the assessment of generalization quality, Fourth Workshop on Progress in Automated Map Generalization.
- Stevens R.T., 1990. Advanced Fractal Programming in C, M&T Books.
- Tarboton D.G., 1996. Fractal river networks, Horton's laws and Tokunaga cyclicity, *Journal of Hydrology*, **187**, 105-117.
- Terzi F., Kaya H.S., 2011. Dynamic spatial analysis of urban sprawl through fractal geometry: the case of Istanbul, *Environment and Planning B: Planning and Design*, **38**, 175-190, doi:10.1068/b35096.
- Ufuktepe Ü., Aslan İ., 2002. Fraktal geometriden bir kesit, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü *Matematik Dünyası Dergisi*, **11**, 14-20.
- Ürey H., 2006. Fraktal Geometri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 84.
- Walker D.J., Kenkel N.C., 1998. Fractal analysis of spatio-temporal dynamics in boreal forest landscapes, *Abstracta Botanica*, **22**, 13-28.
- Wyss M., Schorlemmer D., Wiemer S., 2004. Mapping asperities by minima of local recurrence time: San Jacinto- Elsinore fault zones, *Journal of Geophysical Research*, **105(B4)**, 7829-7844.
- Yılmaz D., 2013. Doğanın Fraktal Geometrisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 69.
- Yue W., Bailang Y., Wu J., 2011. Application of ArcGIS in fractal analysis of rivers, The 19th International Conference on GeoInformatics, 24-26 June, Shanghai, China.
- Zhou X., 2004. Fractal and Multifractal Analysis of Runoff Time Series and Stream Networks in Agricultural Watersheds, PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.

İnternet kaynakları

1-<http://fractalfoundation.org/OFC/OFC-10-3.html>, (06 Nisan 2017).

2-<https://computationallegalstudies.com/2010/10/18/how-long-is-the-coastline-of-the-law-additional-thoughts-on-the-fractal-nature-of-legal->

[systems/](#), (06 Nisan 2017).

3-<http://www.aiecon.org/staff/shc/course/annga/RR/main/How%20Long%20is%20the%20Coast%20of%20Great%20Britain.htm>, (06 Nisan 2017).

4-<http://paulbourke.net/fractals/googleearth/>, (04 Nisan 2017).

5-<https://www.science4all.org/article/from-britains-coast-to-julia-set-an-introduction-to-fractals/>, (04 Nisan 2017).

6-https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/3000/3796/landsat_ataturk_24aug02_57m.jpg, (04 Nisan 2017).