

# FRAKTAL ANALİZİN YERYÜZÜ ARASINDAKİ TIRIMLARINDA KULLANILMASI

A. Uyar<sup>a,\*</sup>, D. Öztürk<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 55139 Atakum-Samsun - (azize.uyar, dozturk@omu.edu.tr)

**ANAHTAR KELİMELER:** Fraktal geometri, Fraktal analiz, Fraktal boyut, Yeryüzü, CBS

## 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 doğa ve yapay nesnelerin biçimleri ve ayrıca sistemlerin ve süreçlerin de incelenmesini mümkündür. Fraktal analiz ile doğadaki nesnelerin ve olayların karmaşık seviyeleri sayısal olarak analiz edilebilir. Bilim teknolojilerindeki gelişmeler ve Coğrafya Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyon sayesinde fraktal analizler bugün yeryüzü arası tırmalarında da oldukça etkin olarak kullanılabilir. Bu çalışmada yeryüzü arası tırmalarında fraktal analizin kullanımı konusuna odaklanılmış, fraktal geometri, fraktal analiz ve fraktal boyut kavramları teorik olarak ele alınarak fraktal analizlerin yeryüzü arası tırmalarında nasıl kullanılabilirliği detaylandırılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Klasik Öklid geometrisinde şekiller; nokta, doğru, daire, üçgen, çokgen, koni, silindir 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 nesnelere matematiksel şekillerle, daire, dörtgen, küre, sinüs dalgaları gibi düzgün geometrik şekillerle göstermek gerçekçi bir yaklaşımdır 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 dağ 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. Kırıklı veya parçalı anlamına gelen Latince "fractus" kelimesinden türetilen fraktal kavramı, matematik alanında çoklukla 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 nesne 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). Fraktaller genel olarak geometrik ve rastgele (geometrik olmayan-kompleks) fraktal olarak iki şekilde incelenmektedir. Geometrik fraktaller, geometrik ve kendine benzer özellik gösterirken rastgele fraktaller kendine birebir benzeme özelliği göstermeyen şekillerdir (Yılmaz, 2013; Falconer, 2014). Rastgele fraktallerin tüm ölçeklerinde rastgelelik vardır. Bu tip nesnelere daha çok

doğada görülür ve bu nedenle doğanın simülasyonunda rastgele fraktaller kullanılır (Yılmaz, 2013).

Ancak fraktallerin çeşitli algoritmalar yardımıyla bilgisayar ortamında üretilebilir olması yeryüzü arası tırmalarının 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 doğa bilimlerinde de oldukça büyük bir ilgi uyandırmıştır ve yeryüzü şekillerinin ve oluşumlarının Öklid geometrisi yerine fraktal yaklaşımla ele alınmasının çok daha yararlı olduğu görülmüştür. İrregular kazanmaya başlanmıştır (Hamilton vd., 1992; Tarboton, 1996; Zhou, 2004; Shaikh vd., 2010; Shaohui ve Zhongping, 2013; Karle ve Kolwankar, 2015).

Bir cismin bir bütünüyle aynı olan parçalardan oluşması veya parçasal düzensizliğin bütününe düzensizliği ile benzer olması olarak tanımlanan kendine benzerlik doğada birçok unsorda 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 örnekten genelleştirilebilir (Öncel ve Alptekin, 1995). Doğadaki birçok obje veya oluşumun fraktal özellik göstermesi nedeniyle, literatürde yeryüzü arası tırmalarında 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 arası tırmalarında etkin kullanımı ve Coğrafya Bilgi Sistemlerinin (CBS) analiz olanakları, fraktal analizlerin bu teknolojilerle 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

\* Sorumlu yazar.

boyutun hesaplanması ve fraktal analizin yeryüzü ara tırmalarında kullanımı hakkında temel teorik bilgilerin verilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. FRAKTAL GEOMETRİ, FRAKTAL ANALİZ VE FRAKTAL BOYUT

Genel olarak tüm nesnelere lineer ve düzgün geometride matematik ya da fiziksel olarak devamlıdır. Fakat doğanın her zaman doğru olmadığını göstermektedir. Doğal objelerin şekilleri pürüzlü ve düzgün devam etmeyen nesnelere sahiptir. Bu nedenle, Benoit B. Mandelbrot (1967) yeryüzü nesnelere düzensiz eğilimin modellenmesi için fraktal geometri kavramını ortaya koymuştur. Doğadaki birçok cisme 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 nesnelere biçimleri değil, sistemlerin ve süreçlerin de incelenmesini mümkündür. Dolayısıyla fraktal analiz ile doğadaki olayların karmaşık seviyeleri sayısal olarak analiz edilebilir (Andronache ve Ciobotaru, 2012). Fraktal özelliğe sahip bir nesnenin, sistemin veya sürecin temel özelliği ölçülebilir (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 nesnelere 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 kullanıldığında eğrilerin topolojik boyutu 1'dir. Düzlemleri bölmek için eğriler kullanıldığında düzlemlerin topolojik boyutu 2'dir. Uzayı bölmek için düzlemler kullanıldığında uzayın topolojik boyutu 3'tür (Ürey, 2006).

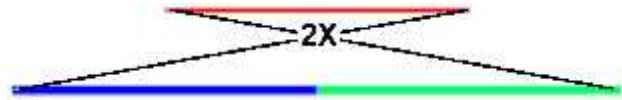
Fraktal boyut ise topolojik değil metrik bir kavramdır. Uzayda iki nokta arasındaki uzaklığın tanımlanabiliyor olması temelinden yola çıkarak ortaya konulmuştur (Ürey, 2006). Fraktal boyut Öklid geometrisindeki tam sayılar (0, 1, 2, 3-boyutlu) yerine 0 ve 3 arasında ondalıklı değerlerle ifade edilir. Bu aradaki değerler nesnelere şekilleri, gerek nesnelere gerekse incelenen olayların karmaşık düzeyleri hakkında önemli bakış açıları sunar (Gaul ve Hiltz, 2000).

Fraktal boyut bir nesne, sistem, süreç veya veri grubundaki karmaşık bir ölçüsüdür ve anlamı kullanılan veriye ve uygulanan yöntemlere göre değişmektedir, 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 e it parçaya bölünebilir (ekil 1). Benzer şekilde kare ve üçgen  $r = 1/\sqrt{N}$  oranında küçültülerek N e it parçaya ayrılırken (ekil 2), küp ise  $r = 1/\sqrt[3]{N}$  oranında küçültülerek N e it parçaya bölünür (ekil 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).

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

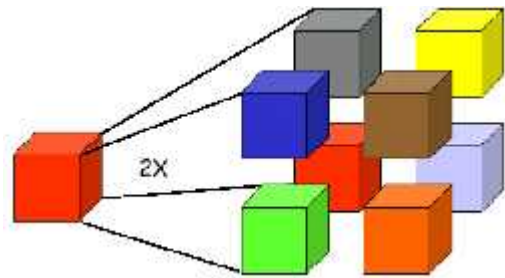
Burada D fraktal boyut, N benzer parça sayısı ve r küçültme katsayısıdır.



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

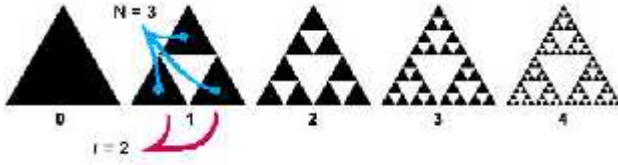


ekil 2. Kare ve üçgenin kendine benzer parçalara ayrılması (Ürey, 2006).



ekil 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 (ekil 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 eşkenar üçgenin kenar uzunlukları 1/2 olan kopya üçgen elde edilir. Bu işlem ardışık olarak sürdürülebilir (Edgar, 2002).



ekil 4. Sierpinski üçgeni (URL 1)

İlk adım sonucunda elde edilen ekil 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;

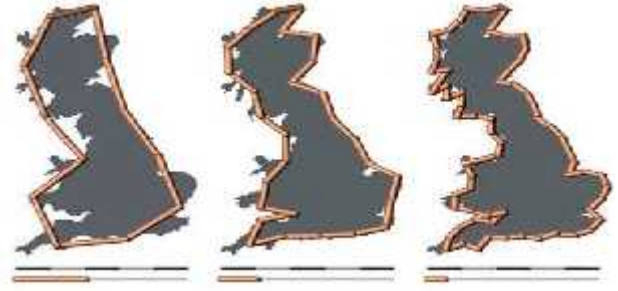
$$D = \frac{\log N}{\log(1/r)} = \frac{\log 9}{\log(1/4)} = 1.58 \text{ elde edilir.}$$

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

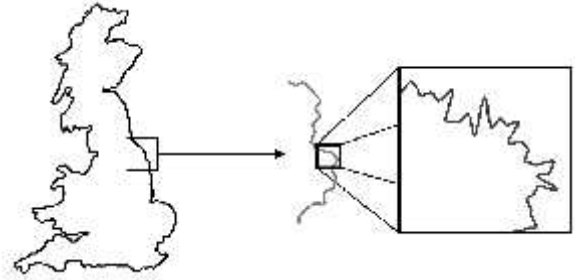
Fraktal boyut hesabında farklı yazılımlar farklı yöntemler kullanabilmektedir. Ancak kullanılan tüm yöntemlerin temel mantığı yukarıda anlatıldı gibi fraktalların farklı ölçeklerde ele alınsa bile boyutunun değişmediğidir (Edgar, 2002).

### 3. YERYÜZÜ ARA TIRMALARINDA FRAKTAL ANALİZ

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 başarısızlığını sorguladı ve doğal formların tanımlanmasında klasik geometriye ait kural ve formların yetkin olmadığını fark etmiştir. Benoit B. Mandelbrot bu çalışmada kıyı çizimlerinin uzunluğunun kullanılan harita ölçeğine göre değiştiğini yani kıyıya yakınlıkla uzunluğunun arttığını öne sürmüştür (benzer şekilde farklı ölçeklerdeki materyaller ile farklı ölçüler elde edilir (ekil 5)), ancak bu karın kıyılarda her düzeyde ölçekten bağımsız bir kendine benzerlik özelliği olduğunu göstermiştir (ekil 6). Böylece Britanya kıyılarının uzunluğunun ne kadar olduğu sorusundan yola çıkılarak yeryüzü nesnelерinin düzensiz eklinin modellenmesi için fraktal geometri kavramı ortaya konulmuştur (Altınuc vd. 2013; Haggard, 2006).



ekil 5. Farklı ölçeklerde materyaller ile kıyı uzunlukları ölçülmesi (URL 2)



ekil 6. Ölçekten bağımsız kendine benzerlik özelliği (URL 3)

Doğadaki pek çok yapı standart geometriden farklı olarak düzensiz ve parçalı bir görünüme sahiptir. Doğadaki bu nedenle oldukça farklı ve karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu nedenle doğadaki nesneleri görselleştirmek istendiğinde bilinen geometrik yöntemler yeterli olmamaktadır. Doğadaki nesnelere belli formleri olmadığından bilinen geometri algoritmaları ile tam olarak görselleştirilemezler (Deirmenci, 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 indirilmesi 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 çıkmıştır, bu düzensiz ve parçalı nesnelere matematiğin aratırma 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 yapı izlenebilir ve her ölçekte aynı yapıya sahiptir (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 oldu u 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 kollarına ayrılarak büyür. Bu kollar da zamanla farklı kollarına ayrılırlar. Bu tekrarlar kendine benzer kolların oluşmasını sağlar. Nehirlerin bu özelliği Nil Nehrine ait bir uydurda görüntüsü örneğinde görülmektedir (ekil 7) (Ediz, 2003).



ekil 7. Nehirlerin fraktal yapısı (URL 4).

Kıyıları olan turan sahil çizgileri de düzensiz bir yapıya sahiptir. Kıyı çizgileri ayrıntılı olarak incelendiğinde aslında genel yapıda var olan dokunun yapının detaylarında yineleniyor yani benzer dokunun süreklilik gösterdiği izlenir (Ediz, 2003). ekil 8'de Britanya'ya ait uydurda görüntüsünden kıyı çizgisi dikkatle incelendiğinde aslında birbirinden tamamen farklı şekillerin birleştiği anlaşıyor. Sahil çizgilerinin fraktal geometrisini tanımlayabildiğimiz doğal oluşumlara verilebilecek en güzel örneklerden birisi olduğu görülmektedir.



ekil 8. Kıyıların fraktal yapısı (URL 5).

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

Doğadaki birçok objede görülen fraktal yapı nedeniyle, fraktal degen hesaplanarak kantitatif olarak değerlendirilmeleri ve bulguların irdelenmesi önemli bir araştırma alanını oluşturmuştur. Bu çalışmalarda temel veri kaynakları uydurda görüntüsü, hava fotoğrafı veya yersel teknikler olup, analizler CBS destekli

olarak yürütülmektedir (Li vd., 2002; Paszto vd., 2011a; Yue vd., 2011; Knight, 2015).



ekil 9. Baraj gölünün fraktal yapısı (URL 6).

Çeşitli çalılar 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 çalılardan Shaohui ve Zhongping (2013) yerleşim bölgesi dışındaki nehirlerde fraktal boyutun daha büyük olabileceğini sonucuna ulaştıkları, 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 çıkarımlar yapılmakta ve fraktal boyuttaki değişimler çevresel koşullardan irdelenmektedir (Hamilton vd., 1992; Shaikh vd., 2010; Shaohui ve Zhongping, 2013; Karle ve Kolwankar, 2015).

Yeryüzü kullanımına ilişkin örnek ise arazi örtüsü/kullanımı sınıflarının fraktal boyutlarının hesabı ve kararlaştırılmasıyla yapılan çıkarımlardır (Paszto vd., 2011b).

Ayrıca fraktal analiz ile yerleşim alan kullanımı ve diğer arazi kullanım kararlarının irdelenmesi ve bu kapsamda önemli bakı açılarının sağlanması için çeşitli çalılar 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 yayılmanın analizinde de kullanılmaya başlanmıştır. Fraktal boyut ile saçaklanma (yayılma) arasındaki ilişkinin varlığından yola çıkılarak geçmekte tirilen 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 birisi 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, depremsellik, fay sistemleri gibi konularda fraktal boyut kavramı kullanılmaktadır (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 çalımlar harita temelinde gerçekte tirilmekte olup fraktal analizin haritacılık açısından bir di er önemli kullanım alanı ise kartografik genelle tirmedir (Dong vd., 2001; Skopeliti ve Tsoulos, 2001).

#### 4. SONUÇ VE ÖNER LER

Bu çalı mada yeryüzü ile ilgili çalı mlarda CBS ile entegre yürütülebilen fraktal analiz konusu ele alınmı , konunun teorik detayları incelenmi tir. Ayrıca fraktal analizin yeryüzü ara tırmalarında nasıl ve hangi konularda kullanılabilece i incelenerek fraktal analizin etkinli i ara tırılmı tir.

Çalı manın sonucunda fraktal analizin yeryüzü ile ilgili çalı mlarda, gerek yeryüzünün modellenmesinde gerekse yeryüzü ile ilgili morfolojik ara tırmalar ve süreç analizlerinde önemli bir araç olaca ı, analiz sonucunda elde edilecek kantitatif sonuçların problem çözmeye süreçlerine dahil edilebilecek ve de erlendirmelerde kullanılabilecek veri/unsur olu turabilece i sonucuna varılmı tir.

Özellikle son yıllarda CBS alanında ya anan hızlı geli melerin, fraktal analizin çe itli co rafi analiz ve çalı mlarda güçlü bir araç olarak kar ımıza çıkaca ı ve CBS ile fraktal analizin entegre edildi i çalı mların hızla yaygınla aca ı dü ünülmektedir.

#### 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, stanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

De irmenci F.B., 2009. *Fraktal Geometri ve Üretken Sistemlerle Mimari Tasarım*, Yüksek Lisans Tezi, stanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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* (çev. Hacısaliho lu H.H.), ISBN 975-591-965-1. Nobel yayın da ıtım.

Ediz Ö., 2003. *Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yakla ım*, Doktora Tezi, stanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eren E., 2009. *Yeni iktisatta ortak noktalar*, ktisadi Dü ünçe Giri imi, ktisatta Yeni Yakla ımlar Çalı mı, 17 Nisan 2009.

Falconer K., 2014. *Fractal Geometry: Mathematical Foundation and Application*, Joh 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 içinde, (Carling P. A., Petts G. E., Eds.), 145-163, Wiley, Chichester.

Karle N.N., Kolwankar K.M., 2015. *Characterization of the irregularity of a terrain using fractal dimension of lakes' boundaries*, Fractals, 23(2),1550002.

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

Koçak K., 2015. *Do anın geometrisi: Fraktal geometri*. [http://web.itu.edu.tr/~kkocak/fraktal\\_yazi.htm](http://web.itu.edu.tr/~kkocak/fraktal_yazi.htm) [Eri im 1 A ustos 2015].

Li F., 2012. *Investigation of Urban Sprawl on the Basis of Remote Sensing Data: A Case Study in Jiangning, Nanjing City, China*, Ph.D. 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.

Meadams M.A., 2007. *Fractal analysis and the urban morphology of a city in a developing country: A case study of Istanbul*, Marmara Co rafa Dergisi, 15, 149-172.

Öncel A.O., Alptekin Ö., 1995. *Fraktal da ılım ve sismolojideki uygulamaları*, Jeofizik, 9(10), 311-316.

Öztürk S., 2015. *Depremselli in fraktal boyutu ve beklenen güçlü depremlerin orta vadede bölgesel olarak tahmini üzerine bir modelleme: Do u 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, 2011, 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., Pokorny J., Richta K., Eds.), 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, 2013, 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 ., 2002. *Fraktal geometriden bir kesit*, zmir 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.

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. *Do anın Fraktal Geometrisi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yue W., Bailang Y., Wu J., 2011. *Application of ArcGIS in fractal analysis of rivers*, The 19th International Conference on GeoInformatics, Shanghai, China, 24-26 June 2011.

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.

URL 1:  
<http://fractalfoundation.org/OFC/OFC-10-3.html> (06 Nisan 2017 tarihinde eri ildi).

URL 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 tarihinde eri ildi).

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

URL 4:  
<http://paulbourke.net/fractals/googleearth/> (04 Nisan 2017 tarihinde eri ildi).

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

URL 6:  
[https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/3000/3796/landsat\\_ataturk\\_24aug02\\_57m.jpg](https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/3000/3796/landsat_ataturk_24aug02_57m.jpg) (04 Nisan 2017 tarihinde eri ildi).