FRAKTAL BOYUT VE LAKÜNARİTE İNDEKSİ İLE CORINE ARAZİ ÖRTÜSÜ/KULLANIMI SINIFLARININ MEKÂNSAL DEĞİŞİMLERİNİN ANALİZİ: ANKARA ÖRNEĞİ

Derya ÖZTÜRK¹, Fatmagül KILIÇ-GÜL²

¹Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 55139, Atakum, Samsun, dozturk@omu.edu.tr

²Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler, İstanbul, fkilic@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Ankara ilinin arazi kullanımı/örtüsündeki mekânsal değişimler fraktal analiz ile incelenmiştir. 1990, 2000 ve 2012 yıllarına ait CORINE ikinci düzey arazi kullanımı/örtüsü verileri kullanılmış, fraktal boyut ve lakünarite indeksi ile mekânsal desen ve değişimler irdelenmiştir. Fraktal analiz, kutu sayma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar yüzölçümü değişimlerinin yanında, fraktal boyut ve lakünarite indeksi ile parçalanma/kompaktlaşma ve heterojenite/homojenite derecesinin incelenmesinin kentleşme ve antropojenik etkilerin çevresel sonuçlarının izlenmesi ve değerlendirilmesi açısından oldukça yararlı bilgileri sunduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: fraktal boyut, lakünarite, kutu sayma yöntemi, CORINE

ABSTRACT

ANALYSIS OF SPATIAL CHANGES OF CORINE LAND USE/COVER CLASSES USING FRACTAL DIMENSION AND LACUNARITY INDEX - A CASE STUDY: ANKARA

In this study, the spatial changes in land use/cover of Ankara province were investigated by fractal analysis. CORINE-Second level land use/cover data for 1990, 2000, and 2012 were used, spatial patterns and changes were examined using fractal dimension and lacunarity index. Fractal analysis was performed using the box counting method. The results show that the analysis of fragmentation/compactness and heterogeneity/homogeneity by fractal size and lacunarity index, as well as areal changes, provides very useful information in terms of monitoring and evaluating the environmental consequences of urbanization and anthropogenic effects.

Keywords: fractal dimension, lacunarity, box-counting, CORINE

1. GİRİŞ

Son yıllarda coğrafi bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, fraktal geometrinin çeşitli mekânsal analiz ve çalışmalara entegre edilmesine olanak sağlamıştır (Paszto vd., 2011; Yue vd., 2011; Knight, 2015). Fraktal geometriye dayalı fraktal analiz, mekân-zaman fenomenlerini değerlendirmek için etkin bir araç olup, arazi kullanımı/örtüsünün mekânsal organizasyonu hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Pintilii vd., 2017). Fraktal analiz kapsamında hesaplanan fraktal boyut ve lakünarite indeksi, gerek tekil olarak gerekse birlikte değerlendirilebilen ölçütlerdir (Myint vd., 2006; Karperien ve Jelinek, 2016; Pintilii vd., 2017). Fraktal boyut, karmaşıklığın karakterizasyonu için kullanışlı bir parametredir (de Oliveira vd., 2014). Daha yüksek fraktal boyuta sahip nesneler daha karmaşıktır (Torrens ve Alberti, 2000). Fraktal boyut geometrik bir yapının ya da doğada bir nesnenin mekânsal olarak alanı nasıl doldurduğunu karmaşıklık (düzensizlik) ve parçalanma derecesiyle ölçer (Pintilii vd., 2017). Fraktal boyutun hesaplanmasında en çok kullanılan yöntem kutu sayma yöntemidir (Brown, 1995). Bu yöntem özellikle arazi kullanımı/örtüsü ve kentsel büyüme araştırmaları için görüntüler üzerinde gerçekleştirilen mekânsal analizlerde oldukça yaygın kullanılmaktadır (Shen, 2002; Kaya ve Bölen, 2011). Lakünarite ise, boşluk veya delik boyutlarının mekânsal dağılımı ile ilgili olup, temel olarak nesnelerdeki boşlukların geometrik düzenini ölçmek için geliştirilmiştir (Tian vd., 2007). Mekânsal analizler için lakünarite, görüntülerdeki boşluk boyutlarının dağılımlarını tanımlamak için kullanılan bir kavramdır (Lapidus ve van Frankenhuijsen, 2013). Düşük lakünarite homojen, yüksek lakünarite heterojen boşlukları ifade eder (Myint, 2007). Fraktal boyut parçalanma (saçaklanma, yayılma)/kompaktlaşma derecesini ölçerken, lakünarite mekânsal dağılımın homojen veya heterojen (dağınık) bir şekilde meydana gelip gelmediğini belirterek, ele alınan sınıfın heterojenite/homojenite derecesinin ölçülmesine imkan verir (Pintilii vd., 2017). Bu şekliyle lakünarite fraktal boyutun tamamlayıcısıdır ve genellikle kutu sayma yöntemiyle fraktal analiz gerçekleştirilirken hesaplanır (Karperien ve Jelinek, 2016). Fraktal boyut ve lakünarite bu özellikleri ile görüntüdeki yapıların mekânsal dağılımının karakterize edilmesinde etkin olarak kullanılabilir (Myint vd., 2006).

Arazi kullanımı/örtüsü sistemleri arasında oldukça karmaşık bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle antropojenik etkiler, çeşitli mekânsal ölçeklerde alan ve dağılım yönünden çok hızlı değişimlere neden olmaktadır (Tian vd., 2007). Bu

nedenle gerek kırsal gerekse kentsel planlama için arazi kullanımı/örtüsü durumunun ve değişimlerinin belirlenmesi karar alıcılar için önemli bir konudur (Schreinemachers ve Berger, 2006; McNeill vd, 2012). Arazi örtüsü/kullanımı paterninin ve değişimlerinin kantitatif olarak değerlendirilmesi kentleşmenin ve antropojenik etkilerin çevresel sonuçlarının izlenmesi ve değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir (Tian vd., 2007). Bu bağlamda, fraktal boyut ile şekillerin karmaşıklığı ve laküarite ile heterojenite analiz edilerek altta yatan coğrafi süreçler keşfedebilir, çeşitli coğrafi fenomenler yeni ve yenilikçi bir şekilde analiz edebilir (Paszto vd., 2011).

Bu çalışmada Türkiye'nin en hızlı büyüyen illerinden birisi olan Ankara ele alınmış, 1990, 2000 ve 2012 CORINE ikinci düzey arazi kullanımı/örtüsü verileri kullanılarak fraktal analiz ile mekânsal desen özelliklerinin zamansal değişimi araştırılmıştır. Bu amaçla kullanılan fraktal boyut ve laküarite indeksi ile parçalanma/kompaktlaşma ve heterojenite/homojenite derecesi incelenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI: ANKARA

Ankara ili (Şekil 1), doğu yönünde Kırşehir ve Kırıkkale, batı yönünde Eskişehir, kuzey yönünde Çankırı, kuzeybatı yönünde Bolu ve güney yönünde Konya ve Aksaray illeri ile çevrilmiştir. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 890 m'dir (Ankara, 2018). 1940 yılında 602.965 olan nüfus, 1990 yılında 3.236.626, 2000 yılında 4.007.860, 2012 yılında 4.965.542'ye ulaşmıştır. İlin 2017 yılı itibarıyla nüfusu 5.445.026'dır (Ankara Kalkınma Ajansı, 2017). İlin güney kesiminde İç Anadolu ikliminin belirgin özelliklerini taşıyan step iklimi, kuzey kesiminde ise Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı halleri görülebilir. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en soğuk ay ise Ocak ayıdır. Bölgeye düşen yağış miktarları kuzey ve güney kesimlerde farklılık gösterir (Ankara Valiliği, 2018). Yağış rejimi dalgalı bir eğilim göstermekte ve bazı dönemler çok az yağış almaktadır. Ankara Kalkınma Ajansı (2017) yağış rejimi nedeniyle Ankara'nın kuraklık tehlikesiyle karşı karşıya olduğunu, bu kapsamda ilde suyun verimli kullanımı, ormanların korunması ve yeni orman alanlarının eklenmesiyle kuraklığa karşı tedbirlerin desteklenmesinin gerekliliğini belirtmektedir (Ankara Kalkınma Ajansı, 2017). Ayrıca Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2017) yanlış arazi kullanımı, usulsüz faydalanma ve tarım arazisi açma neticesinde Ankara'nın erozyona en fazla maruz kalan illerimizden biri hâline geldiğini ifade etmektedir (Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2017).

Şekil 1. Çalışma Alanı: Ankara.

3. MATERYAL VE METOT

Ankara ili arazi kullanımı/örtüsü mekânsal desen özelliklerinin zamansal değişimlerini belirlemek için 1990, 2000 ve 2012 yıllarına ait CORINE verilerinin ikinci düzey arazi kullanımı/örtüsü durumu kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle arazi kullanımı/örtüsü sınıflarının zamansal değişimi Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) analizleriyle hem

alsal hem de mekânsal olarak irdelenmiştir. Arazi kullanımı/örtüsü sınıflarının mekânsal desenlerinin incelenmesinde fraktal analizden yararlanılmıştır. Fraktal boyut kutu sayma yöntemiyle, laküarite indeksi kayan kutular algoritmasıyla hesaplanmıştır.

Kutu sayma yönteminde fraktal boyutu hesaplamak için nesne farklı büyüklüklerde grid hücreleriyle (kutu) kaplanır ve ilgilenilen nesneye ait bir parçayı tamamen veya kısmen örten grid sayısı belirlenir. Farklı grid büyüklükleri ve buna bağlı olarak belirlenen dolu grid sayıları kullanılarak fraktal boyut hesaplanır. Kutu sayma yöntemine göre fraktal boyut hesabı Eşitlik 1’de verilmektedir (Morency ve Chapleau, 2003; Peitgen vd., 2004).

$$D_B = (\log N_2 - \log N_1) / (\log S_2 - \log S_1) \quad (1)$$

Burada D_B kutu sayma yöntemiyle elde edilen fraktal boyut, N kutu sayısı, S kutu boyutunu ifade etmektedir.

Kayan kutular algoritmasında $r \times r$ boyutlu kutu görüntünün sol üst köşesine yerleştirilir. Kutu içerisinde dolu piksellerin sayısı belirlenir. Kutu sistematik olarak bir sütun sağa taşınarak ve ardından bir alt satırdan devam edilerek kutunun her konumu için dolu piksellerin sayıları hesaplanır. Kutunun toplam konum sayısı $N(r)$, r boyutlu kutuda S adet dolu piksel bulunan kutu konumu sayısı $n(S,r)$ olmak üzere Eşitlik 2 kullanılarak $Q(S,r)$ değeri hesaplanır. $Q(S,r)$ ve S değerlerine göre Eşitlik 3 ve 4’te belirtildiği üzere 1. ve 2. istatistiksel momentler bulunur. Laküarite değeri (Λ) 1. ve 2. istatistiksel momentler kullanılarak Eşitlik 5’e göre hesaplanır (Allain ve Cloitre, 1991).

$$Q(S,r) = n(S,r) / N(r) \quad (2)$$

$$Z_1 = \sum Q(S,r) \quad (3)$$

$$Z_2 = \sum S^2 Q(S,r) \quad (4)$$

$$\Lambda(r) = Z_2 / Z_1^2 \quad (5)$$

Verilerin fraktal analize uygun forma getirilmesinde ve CBS analizlerinde ArcGIS 10.0 (Esri, Redlands, CA) yazılımı, fraktal analizlerde ImageJ yazılımı (National Institutes of Health, USA) ve bunun üzerinde çalışan FracLac plugini kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

1990-2012 periyoduna arazi kullanımı/örtüsündeki alsal değişimler incelendiğinde; hızlı kentsel büyümenin arazi kullanımı/örtüsü dinamikleri üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir (Tablo 1). Tablo 1 incelendiğinde 1990-2012 yılları arasında geçen 22 yıl süresince kentsel alanın önemli ölçüde genişlediği, tarım alanlarının ise tahrip edilerek parçalandığı tespit edilmiştir. 1990 yılında 39507 hektar olan kentsel doku (C11) sınıfı, 2000 yılında 48812 hektar ve 2012 yılında ise 50943 hektara ulaşmıştır. Sanayi, ticaret ve ulaşım alanları (C12) 1990 yılında 9507 hektar iken, 2000 yılında 16948 ve 2012 yılında 23330 hektar olmuştur. Maden ocağı, çöp boşaltım ve inşaat alanları (C13) alsal artışı fazla olan diğer bir sınıf olup, 1990 yılında 2657 hektar, 2000 yılında 4448 hektar ve 2012 yılında 11577 hektardır. Değişimler mekânsal olarak incelendiğinde yapay alanlardaki bu değişimlerin büyük ölçüde ekilebilir alanlar (C21), heterojen tarımsal alanlar (C24) ve otlak alanlarının (C23) dönüşümü ile gerçekleştiği görülmüştür.

Mekânsal desen ve değişimleri irdelemek için hesaplanan fraktal boyut ve laküarite indeksi değerleri Tablo 2’de yer almaktadır. 1990, 2000 ve 2012 yıllarının üçünde de en düşük fraktal boyut sürekli ürünler (C22) sınıfında görülmüştür. 1990 yılında 0,5356 olan fraktal boyut, 2000 yılında değişmemiş, ancak 2012 yılında 0,6289 değerine çıkmıştır. En yüksek fraktal boyut 1990 yılında 1,6698, 2000 yılında 1,6684 ve 2012 yılında 1,6802 değerleriyle ekilebilir alanlar (C21) sınıfındadır. En düşük laküarite 1990 yılında 0,4500 değeriyle kıyasal sulak alanlar (C42) sınıfında görülürken, 2000 ve 2012 yılları için sırasıyla 0,5258 ve 0,7040 değerleri ile sürekli ürünler (C22) sınıfındadır. En yüksek laküarite 1990 yılı için 3,6761, 2000 yılı için 4,0816 ve 2012 yılı için 4,7329 değerleriyle kentsel doku (C11) sınıfındadır. 1990-2012 periyodunda hem fraktal boyutun hem de laküaritenin arttığı sınıflar kentsel doku (C11), sanayi, ticaret ve ulaşım alanları (C12), maden ocağı, çöp boşaltım ve inşaat alanları (C13), sürekli ürünler (C22), ormanlar (C31) ve karasal sulak alanlardır (C41). Hem fraktal boyutun hem de laküaritenin aynı anda azaldığı sınıflar yapay bitkilendirilmiş alan (C14) ve otlak alanları (C23) sınıflarıdır. Fraktal boyut artarken laküaritenin azaldığı sınıflar ekilebilir alanlar (C21), çalı veya otsu bitkili alanlar (C32) ve karasal sulardır (C51). Fraktal boyut azalırken laküaritenin arttığı sınıflar heterojen tarımsal alanlar (C24), bitki örtüsü olmayan veya çok az bitkili alanlar (C33) ve kıyasal sulak alanlardır (C42). 1990-2012 periyodunda yapay alanlardaki

değişim ayrıntılı ele alındığında kentsel dokunun (C11) fraktal boyut değeri 1,3139'dan 1,3427'ye, lakünarite indeksi değeri 3,6761'den 4,7329'a çıkmıştır. Fraktal boyutta 0,0288, lakünarite indeksinde ise 1,0568 değerinde artış görülmüştür. Kentsel dokudaki alansal artışın fraktal boyut üzerinde kısmen etkili olduğu, dolayısıyla kentsel parçalılığın düşük bir miktar arttığı, ancak lakünarite değerindeki önemli değişimle heterojenitenin önemli derecede arttığı görülmüştür. Sanayi, ticaret ve ulaşım alanlarının (C12) fraktal boyutu 0,8736'dan 1,0910'a, lakünarite indeksi ise 2,8340'dan 3,5704'e yükselmiştir. Fraktal boyuttaki değişim daha parçalı ve karmaşık yapıya geçiş ifade ederken lakünaritedeki artış alansal genişlemenin heterojen bir şekilde gerçekleştiğini ortaya çıkarmıştır. Maden ocağı, çöp boşaltım ve inşaat alanları (C13) sınıfında ise fraktal boyut değerinin 0,6850'den 1,0016'ya, lakünarite değerinin 1,7790'dan 2,3688'e yükseldiği ve Sanayi, ticaret ve ulaşım alanları sınıfına benzer şekilde hem parçalılık hem de heterojenite artışının gerçekleştiği belirlenmiştir. Hızlı kentleşme-endüstriyelleşme ve piyasa güdümlü arazi gelişimi, yapay alanların artışı gerçekleşirken tarım arazilerinin önemli ölçüde kaybına neden olmuştur. Her ne kadar yerleşim planları yapılıyor olsa da düşük fiyatlı konut gereksinimi kentsel saçaklanmaya neden olarak düzensiz, heterojen ve karmaşık bir yapı ortaya çıkarmıştır.

Çizelge1. Ankara ili CORINE 2. düzey arazi kullanımı/örtüsü sınıflarının alansal dağılımı.

Sınıf kodu	Sınıf adı	Alan (ha)		
		1990	2000	2012
C11	Kentsel Doku	39507	48812	50943
C12	Sanayi, Ticaret ve Ulaşım Alanları	9507	16948	23330
C13	Maden Ocağı, Çöp Boşaltım ve İnşaat Alanları	2657	4448	11577
C14	Yapay Bitkilendirilmiş Alan	3129	3605	2862
C21	Ekilebilir Alanlar	989033	976022	1062328
C22	Sürekli Ürünler	486	486	2051
C23	Otlak Alanları	76821	75465	54328
C24	Heterojen Tarımsal Alanlar	427851	426171	311101
C31	Ormanlar	125320	124998	128403
C32	Çalı Veya Otsu Bitkili Alanlar	458834	455714	506923
C33	Bitki Örtüsü Olmayan veya Çok Az Bitkili Alanlar	329155	330145	294064
C41	Karasal Sulak ve Islak Alanlar	6958	6594	7084
C42	Kıyısal Sulak ve Islak Alanlar	1180	2677	15784
C51	Karasal Sular	56788	55141	56448

Çizelge 2. Fraktal boyut ve lakünarite indeksinin zamansal değişimi.

Sınıf kodu	Sınıf adı	1990		2000		2012	
		Fraktal boyut	Lakünarite indeksi	Fraktal boyut	Lakünarite indeksi	Fraktal boyut	Lakünarite indeksi
C11	Kentsel Doku	1,3139	3,6761	1,3272	4,0816	1,3427	4,7329
C12	Sanayi, Ticaret ve Ulaşım Alanları	0,8736	2,8340	1,0398	3,1065	1,0910	3,5704
C13	Maden Ocağı, Çöp Boşaltım ve İnşaat Alanları	0,6850	1,7790	0,8195	1,8703	1,0016	2,3688
C14	Yapay Bitkilendirilmiş Alan	0,8354	2,5671	0,8574	2,2074	0,7938	2,3053
C21	Ekilebilir Alanlar	1,6698	0,7417	1,6684	0,7360	1,6802	0,7415
C22	Sürekli Ürünler	0,5356	0,5258	0,5356	0,5258	0,6289	0,7040
C23	Otlak Alanları	1,3925	1,0433	1,3894	1,0484	1,3813	0,9176
C24	Heterojen Tarımsal Alanlar	1,6388	0,7221	1,6385	0,7211	1,6154	0,8363
C31	Ormanlar	1,3427	1,4147	1,3446	1,4132	1,3603	1,4262
C32	Çalı Veya Otsu Bitkili Alanlar	1,5876	1,0317	1,5861	1,0475	1,6062	0,9647
C33	Bitki Örtüsü Olmayan veya Çok Az Bitkili Alanlar	1,5975	0,6484	1,5979	0,6496	1,5715	0,7775
C41	Karasal Sulak ve Islak Alanlar	0,7310	1,9441	0,7293	1,8283	0,7990	2,8930
C42	Kıyısal Sulak ve Islak Alanlar	1,5181	0,4500	1,2825	0,6234	1,3726	1,0808
C51	Karasal Sular	1,0239	3,5968	1,0609	3,9043	1,0649	3,5026

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonuçları, arazi kullanımı/örtüsündeki alansal değişimlerin yanı sıra mekânsal desenin fraktal analiz ile incelenmesinin antropojenik faaliyetlerin baskısı altında kalan alanların anlaşılmasında ve mekânsal dinamiklerdeki

eğilimlerin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Burada, fraktal boyut ve lakünaritenin tekil olarak ve aynı zamanda bir arada kullanılmasının, sürdürülebilir kalkınma için etkili arazi yönetim stratejilerin geliştirilmesinde ve fonksiyonel planların hazırlanmasında yararlı olabileceği görülmektedir. Çalışma bulguları mekânsal dinamikler için bir envanter oluşturmuş, klasik yöntemlerle elde edilen mekânsal değişim analizlerine yeni ve tamamlayıcı bilgiler sağlamıştır. Analizde kullanılan CORINE verileri Avrupa düzeyinde elde edilebilen veriler olduğu için, fraktal analizle bölgesel karşılaştırmaların yapılmasına olanak sağlayabilir. Ancak, arazi sınıflandırmasında genelleştirilmiş alanlar, şekillerin fraktal analizinde doğruluğu düşürmektedir. CORINE sınıflandırmasının Landsat verilerinden elde edilmesi, 100 m piksel boyutlu veri olarak sunumu ve en küçük haritalama biriminin 25 hektar olmasının, veri kalitesi üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu unutulmamalıdır. Bununla birlikte karasal sular (C51) sınıfı, kullanılan görüntü çözünürlüğü ve CORINE sınıflandırma metodolojisi nedeniyle dar çizgisel su detaylarını (nehirler, kanallar vb.) kapsamamaktadır. Dolayısıyla karasal suların (C51) fraktal değerleri yorumlanırken bu husus dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Allain, C., Cloitre, M.,** 1991, Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets, *Physics Review A*, 44(6), 3552-3558.
- Ankara Kalkınma Ajansı,** 2017, İstatistiklerle Ankara 2017, 239 s.
- Ankara Valiliği,** 2018, <http://www.ankara.gov.tr> [Erişim Temmuz 2018]
- Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü,** 2017, *Ankara İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu, Ankara*, 260 s.
- Brown, S.R.,** 1995, Measuring the dimension of self-affine fractals: Example of rough surfaces, Chapter 4. In *Fractals in the Earth Sciences*, C.C. Barton, P.R. La Pointe (Eds.), Plenum Press, New York.
- de Oliveira, M.A.B., Brandi, A.C., dos Santos, C.A., Botelho, P.H.H., Cortez, J.L.L., de Godoy, M.F., Braile, D.M.,** 2014, Comparison of fractal dimension and Shannon entropy in myocytes from rats treated with histidine-tryptophan-glutamate and histidine-tryptophan cetoglutamate, *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*, 29(2),156-62.
- Karperien, A.L., Jelinek H.F.,** 2016, Box-Counting Fractal Analysis: A Primer for Clinician. In: *The Fractal Geometry of the Brain*, A. Di Ieva (Ed.), Springer, New York.
- Kaya, H.S., Bölen, F.,** 2011, Kentsel dokudaki değişimin fraktal geometri yöntemiyle incelenmesi, *İTÜ Dergisi/A Mimarlık*, 10(1), 39-50.
- Knight, J.L.,** 2015, GIS Based Compactness Measurement Using Fractal Analysis. <http://www.spatial.maine.edu/~onsrud/ucgis/testpr oc/knight/knight.html> [Erişim 1 Ağustos 2015]
- Lapidus, M.L., van Frankenhuijsen, M.,** 2013, Fractal Geometry, Complex Dimensions and Zeta Functions: Geometry and Spectra of Fractal Strings, Chapter 11, Springer, New York.
- McNeill, D., Nesheim, I., Brouwer, F.,** 2012, Land Use Policies for Sustainable Development: Exploring Integrated Assessment Approaches, Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Morency, C., Chapleau, R.,** 2003, Fractal geometry for the characterisation of urban-related states: Greater Montreal Case, *Harmonic and Fractal Image Analysis-HarFA e-journal*, 30-34.
- Myint, S.W., Mesev, V., Lam, N.,** 2006, Urban Textural Analysis from Remote Sensor Data: Lacunarity Measurements Based on the Differential Box Counting Method, *Geographical Analysis*, 38, 371-390.
- Myint, S.W.,** 2007, Urban Mapping with Geospatial Algorithm. In: *Urban Remote Sensing* (Eds. Weng Q., Quattrochi D.A.), Chapter 6, CRC Press, Boca Raton.
- Paszto, V., Marek, L., Tucek, P.,** 2011, Fractal Dimension Calculation for CORINE Land-Cover Evaluation in GIS - A Case Study. Dateso 2011, V. Snasel, J. Pokorny, K. Richta (Eds.), pp. 196-205.
- Peitgen, H.-O., Jürgens, H., Saupe, D.,** 2004, Chaos and Fractals: New Frontiers of Science, Chapter 4, Springer-Verlag, New York.

Pintilii, R.-D., Andronache, I., Diaconu, D.C., Dobrea, R.C., Zelenakova, M., Fensholt, R., Peptenatu, D., Draghici, C.-C., Ciobotaru, A.-M., 2017, Using Fractal Analysis in Modeling the Dynamics of Forest Areas and Economic Impact Assessment: Maramures, County, Romania, as a Case Study, *Forests*, 8(1), 1-14.

Schreinemachers, P., Berger, T. 2006, Land use decisions in developing countries and their representation in multi-agent systems, *Journal of Land Use Science*, 1(1), 29-44.

Shen, G., 2002, Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas, *International Journal of Geographical Information Science*, 16(5), 419-437.

Tian, G., Yang, Z., Xie, Y., 2007, Detecting spatiotemporal dynamic landscape patterns using remote sensing and the lacunarity index: a case study of Haikou City, China, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34, 556-569.

Torrens, P.M., Alberti, M., 2000, Measuring sprawl. CASA Working Papers 27. Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), London.

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.