

# Kentsel dokudaki değişimin fraktal geometri yöntemiyle incelenmesi

**H. Serdar KAYA\***, **Fulin BÖLEN**

*İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Programı, 34437, Beyoğlu, İstanbul*

## Özet

*Kentsel doku zaman içinde değişen koşullara göre değişen dinamik bir yapıya sahiptir. Her yerleşmenin bu değişim süreciyle oluşan kendine özgü morfolojisi ve doku karakteri olması, dokunun biçimsel özelliklerinden bağımsız olan birtakım ilkelerin sistemin işleyiş ve düzeninde etkili olduğunu göstermektedir. Değişim sürecinde doku karakterine yabancı müdahaleler dokunun kendine özgü karakterini bozar. Bu tür, geleneksel yöntemlerle ölçülmesi zor olan doku karakterinin ve dokuya müdahale etkilerinin incelenmesi, mekânsal organizasyonun işleyişini anlamaya katkıda bulunurken, biçim yerine dokunun mekânsal organizasyonunu değerlendirme yaklaşımı ile farklı dokulara sahip yerleşmelerin karşılaştırılmasına da olanak tanımaktadır. Dokunun zaman içindeki dinamik yapısını ve mekânsal ilişki özelliklerini analiz etmek için kaos teorisi ve fraktal geometriden yararlanmak mümkündür. Kaos teorisi dokunun zaman içindeki sürekliliği ve başlangıç koşullarının dokunun evrimi üzerindeki etkisini değerlendirmeye yardımcı olurken fraktal geometri ise dokunun mekânsal organizasyon açısından değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Beyazıt Meydanı ve çevresini kapsayan 1km<sup>2</sup>'lik alan üzerinde yapılan fraktal analiz sonuçları bunu desteklemektedir. Dokunun gelişimi incelendiğinde zaman içindeki değişim sürecinde devamlılık gösteren özelliklerin olduğu görülmektedir. Dokuda belirgin değişim olan dönemlerde fraktal boyutun da önemli ölçüde farklılaşması, doku özellikleri ile fraktal boyut arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Diğer yandan, İstanbul'da seçilmiş olan örneklem alanının fraktal boyut değerlerinin dünyadaki diğer örneklerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum birçok farklı kültürün etkisi ve zengin doğal çevrenin etkisi ile evrimleşen dokunun daha yüksek bir karmaşıklık düzeyine sahip olduğunu göstermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Fraktal geometri, mekânsal dönüşüm, kentsel doku, Beyazıt meydanı.*

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: H. Serdar KAYA. [hserdarkaya@itu.edu.tr](mailto:hserdarkaya@itu.edu.tr); Tel: (0212) 293 13 00 dahili: 2811.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Programında tamamlanmış olan "Kentsel dokunun dinamik yapısının analizine yönelik sayısal yöntem önerisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 22.03.2010 tarihinde dergiye ulaşmış, 14.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Kaya, H. S., Bölen, F., (2011) 'Kentsel dokudaki değişimin fraktal geometri yöntemiyle incelenmesi', İTÜ Dergisi/A Mimarlık, 10: 1, 39-50" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Analyzing changes of urban pattern through fractal geometry

### Extended abstract

There are mainly two concepts that appear with the development process of urban settlements. One of them is change and the other is sustainability or continuity. Unchanged and changed properties are strictly related to the development process itself and they differ in planned and self-generated systems. The present paper is intended to contribute to understanding the principles, which lead to the spatial evolution of cities through time. Beyazit square covering a 1km x 1km area, with its surroundings was selected for this study as it is one of the historical cores of Istanbul and has a unique character with its built environment and rich urban activities. Analyzing the changes in spatial structure in time shows the effects of the natural environment and the formerly built up environment as an initial condition. Although the general structure, which is shaped mainly by the dominance of historical environment, is unchanged, in the adaptation process for the changing social, economic and several other factors, many changes have occurred. This complicated process is examined by using the methods defined by chaos theory such as analyzing the changes in fractal dimensions in different time periods to explain the changing complexity level of spatial structure.

The two key features of fractal dimension concept are generator and initiator. These features can be translated into urban pattern concept as the generation process or transformation rules and existing environment as an initial condition. Planning and self-organization represent two different processes leading to the transformation of the urban pattern. First of them is a top-down process, which has an ability to make changes on the whole urban pattern in a short time period, while second one reflects a bottom-up process, where changes are made by individual decisions and they take longer to change the spatial pattern. Moreover, these two processes generally occur in different scales: Self-organization is closely related to buildings and plots while planning is generally more comprehensive and affects building blocks, transportation routes and the whole urban pattern. Because of these, the urban pattern can be classified into three main components: buildings, building blocks and roads. Fractal dimension in different time periods for each element is calculated separately.

Although urban pattern is a fractal object, there is a big difference between computer generated theoretical fractals and urban pattern: Generally theoretical fractals are purely self-similar which is not applicable for real urban patterns. Added to this, urban pattern is a highly complex structure, the fractal dimension changes in different scales and different sub regions. Fractal generation in computer environment starts with the simple initiator object and generation rule, however, in urban realm, generally, the existing patterns are very heterogeneous and there are many interacted factors that affect the evolution process as a generation rule which result in various fractal dimensions. This feature is called as "multifractality". There are several methods to calculate fractal dimension such as: Hausdorff dimension, Self similarity dimension, Box counting dimension, Divider or ruler dimension, Lyapunov dimension, Information dimension, Dilation dimension. Box counting method is the most preferred to other methods in physical science. Box counting method is relatively easy to calculate and suitable to measure spatial elements of urban pattern. Because of these advantages, box counting method was selected to calculate the fractal dimension of urban pattern.

The preliminary measurement results show that the fractal dimension of the Beyazit sample is over 1.7 that is higher than the values of 1.4-1.6 measured in modern settlement patterns. These results are considered to be a reflection of the complexity of the spatial structure of the study area. Detailed measurements of urban pattern revealed the multifractality of Beyazit sample. Beyazit has different fractal dimensions in different scales. The more diversity of spatial elements and heterogeneous structure of urban pattern bring together the increase in the range of fractal dimension values. On the other hand, fractal dimension values are generally over 1,7 and very close to each other with the exception of the year of 1819, which demonstrates very different pattern. Similar fractal dimensions of different time periods reflect the continuity of spatial character especially after 1900s. On the other hand, the changes in fractal dimension values are the result of spatial changes such as widened roads or changing building blocks and buildings demonstrating the relationship between fractal dimension and spatial configuration.

**Keywords:** Fractal geometry, spatial transformation, Urban pattern, Beyazit Square.

## **Giriş**

Kentlerin fiziksel değişimi, basit geometrik formlardan oldukça karmaşık olanlara kadar çok farklı dokuların oluşumuna neden olan mikro ve makro ölçeklerdeki dinamik yapısı ile birçok araştırmaya konu olmuştur. Fiziksel değişimin önemli göstergelerinden biri olan doku özelliklerinin incelenmesi ise yirminci yüzyılın başına uzanmaktadır. Doku, bütünsel olarak mekânsal organizasyon sistemi şeklinde (Lynch, 1960; Wingo, 1969), sokaklar, meydanlar gibi alt bileşenlerine odaklanılarak (Çelik vd., 1994; Moughtin, 2003) veya belirli bir mekânın fiziksel özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi şeklinde ele alınabilmektedir.

Fiziksel özelliklerin analizinde matematiksel yöntemlerin uygulanması mekânın daha iyi (sağlıklı, estetik, vs.) olabilmesi için kullanılacak standartların, oransal özelliklerin aranması süreci önemli bir aşamadır. Bu süreçte, mimari de geniş bir araştırma alanı olan altın oran, fibonacci serisini oluşturan rakamlar dizisi veya mistik anlamı olan birtakım sayıların mekân ölçülendirilmesinde kullanıldığı görülmektedir (Şener, 1984). Özellikle 1960'lardan sonra matematik ve fizik alanlarındaki gelişmeler ve bilgisayar kullanımı biçimsel analizlerin geliştirilmesini sağlarken aynı zamanda farklı disiplinler arasındaki etkileşim artmış ve daha karmaşık analiz yöntemleri denenmeye başlamıştır.

Mimari ve kentsel mekân oluşumunda tekrar eden birtakım geometrik birimler ve oransal özelliklerden yararlanılarak analiz ve tasarım yapan çalışmalar, mekânsal yapıyı sosyo-kültürel özelliklerin yansıttığı biçimsel bir dil olarak ele almaktadır. Dilde olduğu gibi mekânsal yapıda da birtakım kurallar ve düzenleme ilkelerinin olduğu düşünülerek bu özellikler biçimsel yapı üzerinde analiz edilmektedir. 1970'lerde Stiny ve Gips tarafından tekrar eden geometrik biçimler, açılar ve yan yana geliş kuralları incelenerek oluşturulan biçim gramerleri bunun temelini oluşturmaktadır (Stiny, 1976; Stiny, 1980; Stiny ve Gips, 1971; Stiny ve Mitchell, 1980). Biçimsel özelliklerin kullanıcı üzerindeki etkisi, mekânın algılanması ise diğer bir araştırma konusudur. Kullanıcının zihninde oluşan kent imgesi ve bellek haritaları, kullanıcı

cının mekân içindeki hareketi ile değişen algı süreci, mekân-zaman ve mekân-hareket kavramları ile fiziksel değişimin dinamik sürecini inceleyen çalışmalar bu araştırmalara örnek olarak gösterilebilir (Bacon, 1975, Cullen, 1961, Cullen, 1971, Giritlioęlu, 1991, Ünlü, 1998).

Kullanıcının mekândaki davranışını inceleyen yöntemlerden bir diğeri de mekânsal dizin modelidir. Kentsel mekândaki açık alanları noktalar ve akslardan oluşan bir sistem olarak değerlendirip topolojik ilişkileri inceleyen bu model, kentteki fonksiyonların dağılımı, açık alan kullanımları, kentteki suç oranlarının dağılımı gibi birçok konu ile de ilişkilendirilmektedir (Fisher-Gewirtzman ve Wagner, 2003; Hillier vd., 1976; Jiang, 1999; Jiang ve Claramunt, 1999; Jiang ve Claramunt, 2002; Turner vd., 2001).

Doku incelenirken dokuyu oluşturan elemanlar olan binalar ve açık alanlar arasındaki doluluk boşluk ilişkisi, bina tipolojileri ve yan yana geliş kuralları, yapı adalarının özellikleri, yolların tek tek veya birlikte ele alındığı görülmektedir. Binalar, yapı adaları ve yollardan oluşan dokular, bir dilin gramerinde olduğu gibi, birtakım kurallara uygun olarak bir araya gelmektedir. Dokuyu bir dil olarak ele alan çalışmalar içinde Alexander (1966)'in kullanıcı ile mekân etkileşimini oldukça kapsamlı bir şekilde incelediği çalışmasında 'pattern language' olarak adlandırdığı doku dili yaklaşımı büyük öneme sahiptir. Bu çalışmalarda kentsel yaşam ve bireysel ihtiyaçlarla ilgili mekânsal çözümler sistematik biçimde ve detaylı bir şekilde incelenmektedir (C. Alexander, 1964; Christopher Alexander, 1966; C. Alexander, 1979; C. Alexander, 1987; C. Alexander, 2002; Christopher Alexander, 2003; C. Alexander, 2003; C. Alexander, 2004; C. Alexander vd., 1977). Dokuyu oluşturan elemanlar arasındaki ilişkiye odaklanan bu çalışma diğer disiplinleri de etkilemiş, matematik ve fizik teorileri ile kentsel doku analizine yönelik çalışmaların gelişmesine katkıda bulunmuştur (Salingaros, 1995; Salingaros, 1997; Salingaros, 1999; Salingaros, 2000a; Salingaros, 2000b). Diğer disiplinlerle etkileşimin artmış olması ileri matematiksel yöntemlerin yoğun olarak kentsel sistemler ve alt sistemler üzerinde çalışılmasını da beraberinde getirmiştir.

Geleneksel yaklaşımlarda mevcut karmaşık sistemler son derece basitleştirilmektedir. Geleneksel yaklaşımlar sistemleri statik ve kapalı sistemler olarak ele almaktadır. Başlangıçta çok yararlı olsa da zamanla sistemleri basitleştirerek belirgin özelliklerini inceleme veya parçalarına ayırarak inceleme sırasında bütüne ait bazı ilişkilerin gözden kaçırıldığı ve sistemin, tek tek parçaların toplamından daha fazla bir şey olduğu görüşü gelişmiştir. Özellikle 1960'lardan sonra Bertalanffy'nin çalışmaları bu gelişmede büyük öneme sahiptir (Bertalanffy, 1968). Diğer bir husus ise süreçle ilgilidir: geleneksel yaklaşımlar kentsel sistemlerin dinamik yapısını belirli sayıda faktörün bir denge noktasına ulaşması şeklinde basitleştirmektedir (Bertalanffy, 1968; Pumain, 2000; White ve Engelen, 1993; White ve Engelen, 1994). Karmaşık sistemlerde ise dinamik bir denge veya düzensiz, karmaşık ve kaotik bir düzen olabilir. Sistemin her zaman bir denge noktasında sabitlenmesi söz konusu değildir. Kaotik sistemlerde büyüme, değişim ve çöküş süreçleri eşzamanlı olarak görülmektedir. Kendi kendine organizasyonu (self organization) da içeren bu sistemler daha karmaşık dokular üretmektedir. Kendi kendine organizasyon veya aşağıdan yukarıya doğru tasarım yaklaşımı ile kentsel gelişimi modelleyen hücresel özdeşleme yönteminde olduğu gibi, hücrelerden oluşan bir sanal sistemde, hücrelerin sahip olabileceği kısıtlı sayıda durum olasılığı (canlı ve ölü gibi) ve hücreler arasında basit birkaç etkileşim kuralı olması durumunda dahi oldukça karmaşık sonuçlar elde edilebilmektedir (Batty, 1997; Batty, 1998; Batty, 2005; Batty, 2008; Packard ve Wolfram, 1985; White ve Engelen, 2000). Oluşan bu karmaşık doku klasik geometri yaklaşımı yerine fraktal geometri olarak tanımlanan bir kavramla incelenmektedir. Klasik Öklid geometrisi ile eğriler, yüzeyler ve hacimler ölçülmektedir. Basit geometriler için anlamlı ve tanımlayıcı olan bu ölçüler çok karmaşık nesnelere yeterli düzeyde ifade edememektedir. Fraktal geometride bu ölçüler yerine karmaşıklık düzeyinin ölçülmesi olarak ifade edilecek bir yöntemle uzunluk, yüzey veya hacmin, ölçme birimi küçüldükçe nasıl değiştiği incelenmektedir (Peitgen vd., 2004).

Fraktal geometriye sahip nesnelere kentsel doku ile de ilişkili olan iki temel özelliği bulunmaktadır: İlk olarak, kentsel dokuyu oluşturan elemanlar fraktal boyutludurlar ve karmaşıklık dereceleri minimalist yaklaşımla üretilen net geometrilere sahip prizmatik objelere göre daha fazladır.

İkinci özellikleri ise oluşum süreçleri ile ilgilidir. Fraktal nesnelere alt ölçekten üst ölçeğe doğru aynı ilkenin tekrarı ile gelişirler. Benzer geometri veya gelişim modeli farklı ölçeklerde tekrar eder. "Kendine benzerlik" olarak adlandırılan, aynı geometrik yapının farklı ölçeklerde tekrarını kentsel dokuda görmek pek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle kendine benzerlik özelliği, farklı ölçeklerde benzer formların varlığından ziyade mekânsal organizasyon ve karmaşıklık düzeyi açısından süreklilik olarak değerlendirilmelidir. Fraktal boyut, bina elemanı düzeyinden kent bütününe doğru devamlılık gösteren bir özelliktir ve mekânsal organizasyon farklılaştıkça fraktal boyut değerinin değiştiği görülmektedir. Farklı ölçeklerde benzer fraktal boyut değerleri elde edilmesi, mekânsal organizasyondaki sürekliliğin ve doku bütünlüğünün varlığı olarak değerlendirilmektedir (Bovill, 1996; Kaya ve Bölen, 2006). Örneğin, Amasya kent dokusu, silüeti ve kent merkezi yakınındaki topografya ile ilişkisi incelenirken farklı düzeylerde benzer fraktal boyutlar elde edilmiş, bu durum hem doku karakterindeki süreklilik hem de dokunun doğal çevre ile uyumu olarak değerlendirilmiştir (Bovill, 1996). İstanbul'daki geleneksel doku ile 1990'larda gelişen iki örneğin karşılaştırıldığı çalışmada da kentsel dokunun fraktal boyutlu olduğu ve geleneksel dokunun modern toplu konut alanlarından daha karmaşık ve yüksek fraktal boyut değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Kaya ve Bölen, 2006). İki farklı doku karakteri arasındaki bu farkın kentsel yaşam zenginliğine katkı açısından geleneksel yerleşme dokusunun önemini vurgulamaktadır. Bina ölçeğinde fraktal boyut analizi ve tasarıma yardımcı araç olarak sanal form üreten modeller de önemli bir yere sahiptir. Bu kapsamda İstanbul ve Mardindeki tarihi yapıların fraktal boyutları incelenerek üretilen formlar fraktal boyut yönteminin mekânsal formlar

üretmede olumlu katkıları olabileceğinin göstergesidir (Çağdaş vd., 2006; Ediz ve Çağdaş, 2005; Ediz ve Çağdaş, 2006)

Dünya kentleri üzerinde yapılan çalışmalarda kentsel dokuların fraktal boyutları büyük çoğunlukla 1,4-1,8 değerleri arasında değişmektedir (Batty ve Longley, 1994; Batty ve Xie, 1996; Benguigui, 1995; Frankhauser, 1998b; Thomas vd., 2008). Türkiye'deki yerleşmelerden bazılarının geleneksel dokuları üzerinde yapılan analizde benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Batty ve Longley, 1994; Bovill, 1996; Kaya ve Bölen, 2006; McAdams, 2008; Thomas vd., 2008). Bununla birlikte, kentsel dokuda farklı ölçeklerde aynı fraktal kuralın geçerli olmasının beklenmemesi, hatta sabit bir ölçekte bile fraktal davranışın incelenen nesneye göre farklılaşabileceği vurgulanmaktadır (Thomas vd., 2008). Kent dokusu farklı ölçeklerde ve farklı alt bölgelerde değişen fraktal boyutlara sahiptir. Bu tür yapılar "çoklu fraktal" olarak adlandırılmaktadır. Çoklu fraktaller bilgisayarla üretilen basit tekil fraktaller yerine kent gibi karmaşık fraktallerin değerlendirilmesinde önemli bir araçtır ve özellikle büyüme olgusunun açıklanmasında önemli rol üstlenmektedirler (Barabasi vd., 1992; Cheng, 1999).

Bu çalışmada fraktal analiz yöntemi ile Beyazıt Meydanı ve çevresindeki dokunun zaman içerisindeki dinamik yapısı incelenerek, evrim sürecinde dokuda nasıl bir değişim olduğunun matematiksel yöntemlerle değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## Yöntem

Fraktal boyut, özünde, kutu sayısı, kutu boyutu ve fraktal boyut arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir (1).

$$K = A \cdot \varepsilon^{-D_f} \quad (1)$$

Burada K: Kutu sayısı,

$\varepsilon$ : Grid boyutu (veya ölçek)

$D_f$ : Fraktal boyut değerleridir.

Temel amaç bu ölçekleme ilişkisinin hesaplanması olsa da fraktal boyutun hesaplanması ile ilgili birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Ha-

usdorff, kendine benzerlik (self similarity dimension), kutu sayma (box counting) boyutları, topolojik boyut, fraktal boyut, öklityen boyut, pergel boyutu (divider veya ruler dimension), tek yönlü boyut, Lyapunov boyutu, bilgi boyutu (information dimension), genleşme boyutu (dilation dimension), mekânsal korelasyon boyutu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Frankhauser, 1998a; Frankhauser, 1998b; Peitgen vd., 2004). Bu yöntemler içinde kendine benzerlik boyutu, pergel boyutu ve kutu sayma boyutu Mandelbrot'un fraktal boyutunun özelleşmiş halleridir ve bu üç yöntem arasında kutu sayma yöntemi en çok kullanılan yöntemdir (Peitgen vd., 2004). Örnek alanının fraktal boyutu da kutu sayma metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde kentsel doku farklı boyutlardaki gridlerle çakıştırılmakta ve farklı grid boyutlarında dokunun ölçülen elemanı (binalar, yapı adaları veya yollar) ile çakışan grid sayısı ile kutu boyutunun logaritmaları arasındaki oran kullanılmaktadır (2).

$$D_B = (\log K_{S_2} - \log K_{S_1}) / (\log(1/S_2) - \log(1/S_1)) \quad (2)$$

Burada  $D_B$ , Kutu sayma boyutu,

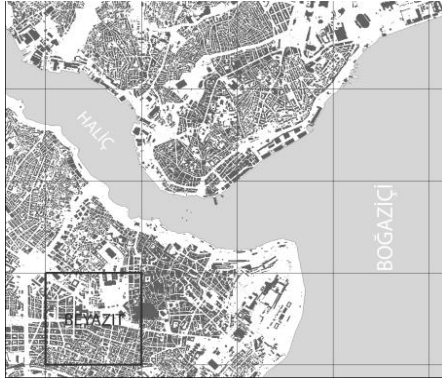
K; Kutu sayısı,

S; Kutunun kenar uzunluğunu ifade etmektedir.

Kutu sayma boyutunun bir dezavantajı, grid konumunun, şekille çakıştırılan gridlerin sayısını ve dolayısıyla fraktal boyutu etkileme olasılığıdır. Bu sorunu çözmek için grid konumları değiştirilerek çok sayıda hesap yapmak suretiyle fraktal boyutun nasıl değiştiği izlenebilir. Bu nedenle örnek alanında kutu sayma boyutu, HarFA ve FracLac adlı iki farklı program kullanılarak hesaplanmıştır. İki ayrı program ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak aynı sonuçlara ulaşıp ulaşılmadığı test edilmiştir. İki ayrı program kullanılması, güvenilirliğin artırılması yanında birbirinden farklı özellikleri olan iki programla verilerin daha kapsamlı olarak analiz edilip değerlendirilmesini de sağlamıştır. Ayrıca MsExcel programında fraktal boyut farklı kutu boyutları için hesaplanarak grafik üzerinde incelenmiştir. Böylece aynı veri üç farklı biçimde test edilmektedir. HarFa programı ile farklı kutu sayma boyutlarında fraktal boyutun nasıl değiştiğini gösteren serpm diyagramı ve fraktal boyutların frekanslarına bağlı olarak his-

togramlar hazırlanabilmektedir. HarFa programı ile fraktal boyutlar çok sayıda kutu boyutu için hesaplanmakta, Fractal programıyla ise hem farklı kutu boyutları hem de farklı grid konumları için hesap yapılabilmektedir.

Beyazıt Meydanı ve çevresini kapsayan 1km<sup>2</sup> alan örneklem alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Belirlenen alanda doku, temel bileşenleri olarak binalar, yapı adaları ve yollar olmak üzere üç gruba ayrılarak her birindeki değişim, fraktal boyut hesaplamak suretiyle incelenmiştir.



Şekil 1. Örneklem alanının konumu

1km<sup>2</sup> alan, analizler yapılırken 5000x5000 piksel boyutlarında resim formatına dönüştürülmüştür. Binalarla ilgili veriler kısıtlı olduğundan zaman içerisindeki değişim incelenirken binalarla ilgili karşılaştırma 1987-1995 ve 2007 yılları için yapılmıştır. Yapı adaları ve yollar incelenirken ise 1819,1913, 1987, 1995 ve 2007 yılları arasındaki değişim incelenmiştir. Doku, farklı özelliklere sahip alt bölgelere sahip heterojen bir yapıda olduğu için alan genelindeki fraktal boyutlar incelendikten sonra daha detaylı değerlendirme yapabilmek için alan 100mx100m boyutlarındaki gridlere ayrılarak bu birimlerdeki fraktal boyutlar hesaplanmıştır.

### Analiz sonuçları

Dokuyu oluşturan binalar, yapı adaları ve yolların zaman içindeki değişimi ile fraktal boyut değerleri arasında bir ilişki olduğu görülmektedir.

### Fraktal boyut: binalar

Binaların fraktal boyut değerlerinin 1.8'in üzerinde olduğu görülmüştür. Bu değer üç dönemde

de kütle organizasyonunun karmaşık yapıda olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Üç dönemde binaların fraktal boyutunda çok büyük bir değişim olmamıştır. Mekânsal organizasyona da baktığında, Tarihi Yarımada'da yer alan önemli bir bölge olması ve çevresinde önemli anıtsal mimari örneklerinin yoğun olması gibi nedenlerden dolayı dokunun korunmasının fraktal boyutlarda da sürekliliğe yol açtığı söylenebilir.

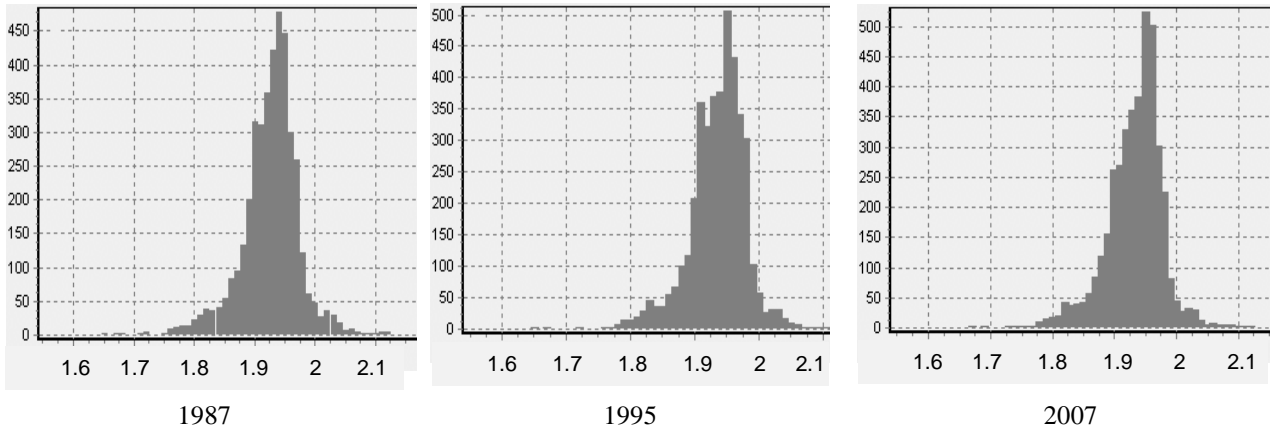


1987 Fb: 1.81      1995 Fb: 1.82      2007 Fb: 1.82

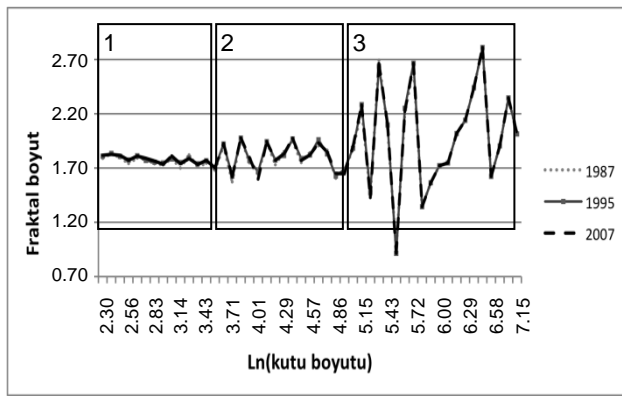
Şekil 2. Binaların zaman içindeki değişimi

Fraktal boyutlardaki küçük değişimlerin yanı sıra HarFa programı ile hazırlanan frekans histogramları, değer dağılımının nasıl olduğunu görebilmek adına yararlıdır. Bu grafiklerde maksimum olan değer fraktal boyut değeri olarak verilmiş olup değişen fraktal boyut değerleriyle ilgili daha detaylı analizler olduğu için bu grafiklerde, dağılımda değer aralığının geniş veya dar olması, tepe noktasının sivriliği gibi genel değerlendirmeler kullanılmaktadır. Şekil 3'de görüldüğü gibi, fraktal boyut değerlerinin farklı kutu boyutları ile hesaplanması sonucu elde edilen grafikte tek bir değer olmaması ve 1,8 olarak belirlenen değere doğru artan bir frekansa sahip değerlerden oluşması dokunun çoklu fraktal yapısından kaynaklanmaktadır. Kent dokusu farklı ölçeklerde farklı gereksinimlerin karşılandığı bir sistemler bütünü olduğu için analizler sonucunda değişken fraktal değerlerin ortaya çıkması beklenen bir durumdur.

Farklı yılların fraktal boyut değerlerinin kutu boyutlarına göre değişim grafikleri üst üste çakıştırıldığında, ihmal edilebilecek farkların dışında aynı eğriyi izledikleri görülmektedir (Şekil 4). Kutu boyutları çok büyüdüğünde fraktal boyut değerlerinin salınımı artmaktadır.



Şekil 3. Bina fraktal boyutlarının değişimi

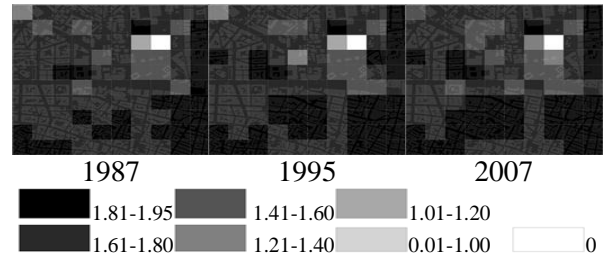


Şekil 4. Üç dönemde kutu boyutlarına göre binaların fraktal boyut değişimi

Şekil 4'de üç farklı salınım bölgesi görülmektedir. Salınımın en az olduğu bölge ln(kutu boyutu)'nun yaklaşık 3.5 olduğu 35 piksel değerinden küçük olan bölgedir. Bu değer 7m'ye eşittir. Daha sonra salınımın kısmen arttığı kutu boyutu logaritmasının yaklaşık 5 (kutu boyutu 150 piksel = 30m) değerine kadar olan kısım bulunmaktadır. Üçüncü bölge ise kutu boyutunun ve salınımın daha büyük olduğu kısımdır. Kutu boyutlarına göre fraktal boyutların salınımı değerlendirilirken ölçülen nesnenin en küçük birimi de önemlidir. Minimum bina cephesi yasal olarak 6m'den küçük olamamaktadır. Tarihi bölgede olmaktan kaynaklanan birtakım istisnalar olabilse de genel olarak dokudaki binalardaki hareketliliğin metrelerle ifade edilebileceği görülmektedir. Bu nedenle kutu boyutu dokudaki hareketlilik düzeyinden uzaklaşacak şekilde arttıkça salınım artmaktadır. Beyazıt örneğinde binaların oluşturduğu dokudaki hareketliliğin 5m-30m boyutlarında daha baskın olduğu

ve bu aralıktaki değişimin daha düzenli olduğu söylenebilir. Dokuyu daha küçük gridlere ayırarak inceleyince fraktal boyutun doku içinde de büyük çeşitlilik gösterdiği dikkat çekmektedir.

Beyazıt Meydanı gibi açık alanlarda fraktal boyut düşük iken dokunun yoğun olduğu alanlarda fraktal boyut artmaktadır (Şekil 5).

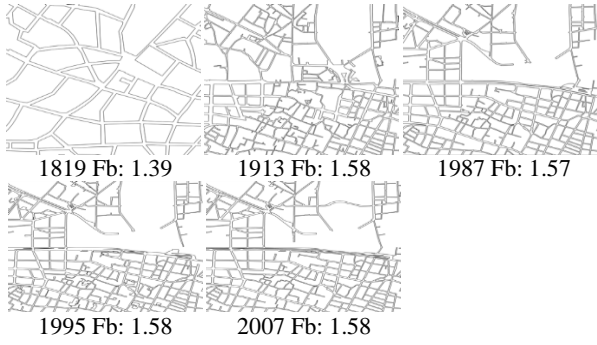


Şekil 5. Alt bölgelerde fraktal boyut değişimi

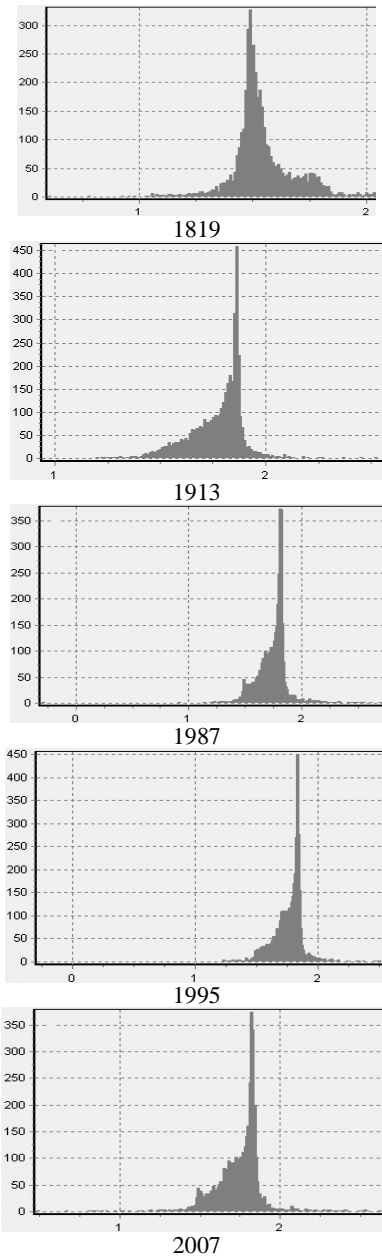
#### Fraktal boyut: yapı adaları

Yapı adalarının zaman içindeki gelişiminde 1819 yılındaki durumun 1900 sonrasında belirgin bir şekilde farklı olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bununla birlikte Beyazıt Meydanının konumu ve odak noktası olma özelliği korunmaktadır.

Dokuda meydana gelen değişim fraktal boyutların değişiminde de izlenebilmektedir. 1819 yılında 1.39 olan fraktal boyut 1913 yılında 1.58 değerine yükselmiş sonraki yıllarda ise hemen hemen aynı kalmıştır. 1987 yılında bu değer 1.57 iken 1995 ve 2007 yıllarında sırasıyla 1.58 ve 1.57 değerlerini almaktadır. Fraktal boyutların frekans grafikleri binalarda olduğundan daha dar bir değer aralığına sahiptir (Şekil 7).

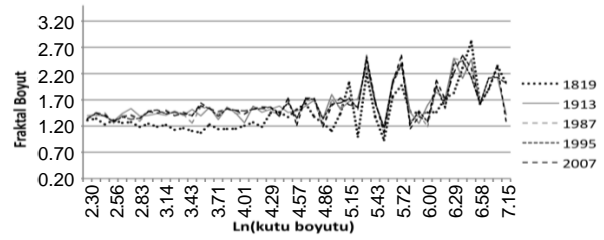


Şekil 6. Yapı adalarının zaman içindeki değişimi



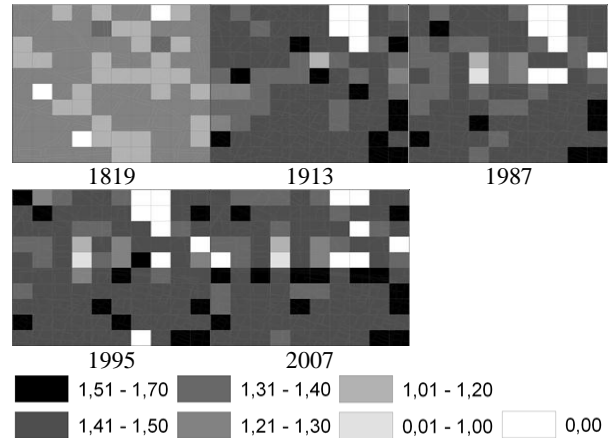
Şekil 7. Yapı adası fraktal boyutlarının zaman içindeki değişimi

Değerlerin farklı kutu boyutlarına göre zaman içindeki değişim grafiği, fraktal boyut tek bir değer olarak ele alındığında çok belirgin olmayan farklılıkların görülmesini sağlamaktadır (Şekil 8). 1819 yılındaki grafik sonraki yıllara ait değerlerden farklıdır. Bu farklılık, Şekil 6'da da belirgin olarak görülebilmektedir ve fraktal boyut değerlerinin dokudaki değişimi yansıtmadaki etkinliğinin bir göstergesidir. Diğer yıllar ise binalardaki kadar olmasa da birbirine yakın bir eğri çizmektedir.



Şekil 8. Üç dönemde kutu boyutlarına göre yapı adalarının fraktal boyut değişimi

Grafiklerde farklı kutu boyutlarındaki değerlerin tek bir değere yakınsaması, yapı adası sınırlarının geometrik özelliklerinin ölçekler arasındaki sürekliliğini gösterirken dokunun kendi içindeki farklılaşmalar hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Yapı adalarının dokusuna bakıldığında özellikle 1913 ve sonrasında bölgenin belirgin olarak iki farklı alt bölgeden oluştuğu, bu alt bölgelerin de kendi içlerinde farklılaştığı görülmektedir. Doğu-batı doğrultusunda geçen Ordu Caddesi'nin kuzey ve güneyindeki dokular ve bu bölgeler içindeki doku değişimleri alt bölge analizleriyle hesaplanabilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Yapı adalarının zaman içindeki değişimi

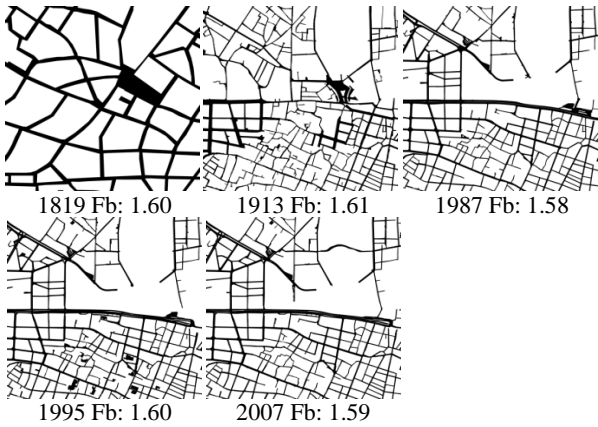


1819 yılında açık gri tonları ile ifade edilen düşük fraktal boyut değerleri hakim iken, sonraki dönemlerde fraktal boyutlarda önemli düzeyde artış gözlenmiştir. Bölgenin kuzey ve güneyinde genel olarak bir fark olup olmadığı açısından değerlendirildiğinde ise özellikle 1995 ve 2007 yıllarında alanın güney kısmında daha çok yüksek fraktal boyuta sahip olan koyu renkli hücre varken kuzey kısımda açık gri tonlarla gösterilen düşük fraktal değerli hücrelerin yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 9).

Bununla birlikte düşük fraktal boyut değerlerine sahip alanların dağınık olduğu ve büyük alt bölgeler oluşturmadığı, bunun yerine alana hakim olan 1.41-1.50 değer aralığındaki turuncu bölgenin düşük fraktal değerli hücrelerle bölündüğü bir sistem görülmektedir.

### Fraktal boyut: yollar

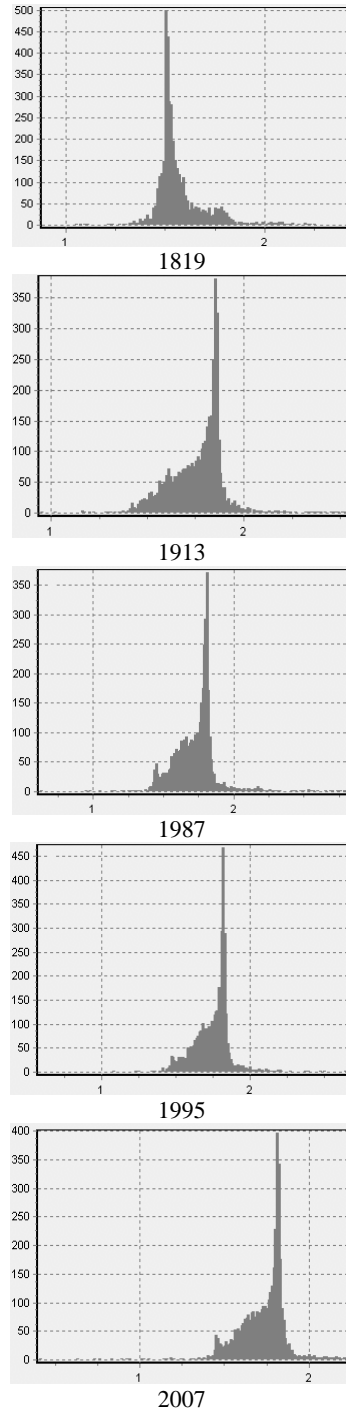
Beyazıt Meydanı ve çevresindeki yayalaştırma kararları, Ordu Caddesi'nin genişletilmesi gibi değişimler dokuda izlenebilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Yolların zaman içindeki değişimi

Yol dokuları incelendiğinde 1819 yılındaki yollarla 1913 ve sonraki yıllardaki yol dokusu arasında büyük farklılık olduğu görülebilmektedir. 1819 yılında genel olarak yol kesitleri daha büyük ve değişkendir. Yaya-taşıt ayrımının sonraki dönemlerdeki kadar net olmadığı bu dönemde yer yer genişleyip daralan yol en kesitleri fraktal boyutta artışa neden olmaktadır. Bu nedenle 1819 yılı ile sonraki dönemler arasındaki fark yapı adalarında olduğu kadar net değildir. Fraktal boyut 1819'da 1.61 iken sonraki yıllarda yi-

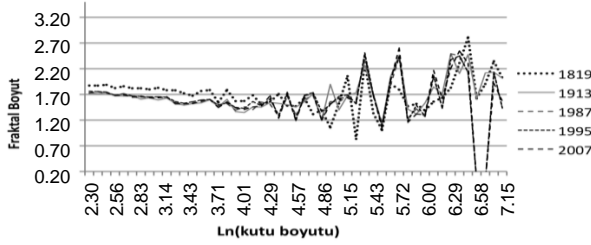
ne 1.58 ile 1.61 arasında değişen değerler almaktadır. Fraktal boyut frekans değerlerinde genel olarak bir değerde toplanma eğilimi olsa da 1913 yılında değer aralığının diğerlerine göre daha geniş olması, Şekil 10'daki yol dokularına bakıldığında anlaşılabilir olmaktadır. 1913 yılında yol dokularının diğerlerine göre daha fazla çeşitlendiği görülmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Yolların fraktal boyutlarının değişimi

1819 yılında doku genel olarak homojen yapıdadır. 1987 ve sonraki dönemlerde ise güney ve kuzey olmak üzere iki ana doku karakteri baskın iken 1913 yılında hem Beyazıt Meydanı'nın olduğu kuzey bölgede hem de güneyde doku farklılıkları daha belirgindir. Farklı genişlik ve geometriye sahip yollar fraktal boyutlarda da çeşitliliğin kısmen artarak değer aralığının büyümesine neden olmaktadır.

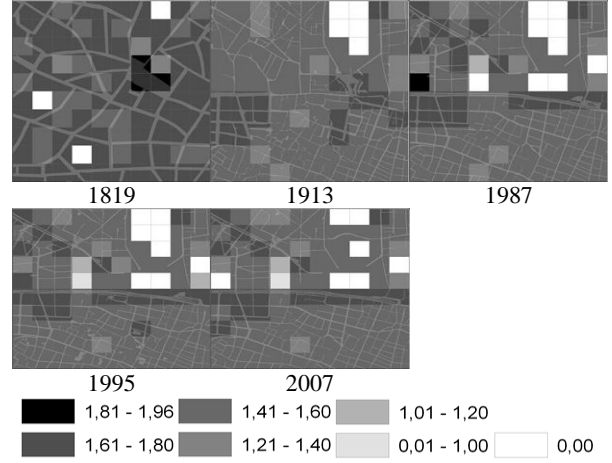
Yolların fraktal boyutlarında da yapı adalarında olduğu gibi 1819 yılı değerleri diğer yıllardan farklıdır (Şekil 12). Bununla birlikte yapı adaları analizine ait Şekil 8'deki grafikten farklı olarak yolların hesabında 1819 yılına ait fraktal boyut değerlerinin küçük kutu boyutlarında diğer dönemlere ait değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Üç dönemde kutu boyutlarına göre yolların fraktal boyut değişimi

Bu farklılık yolların geometrisinden kaynaklanmaktadır. Sonraki yıllarda yaya-taşıt ayrımı netleşip yol geometrileri daha düzgün hale gelmiştir. Taşıt kullanımının çok yaygın olmadığı 1900'lü yıllar öncesinde ise yol genişliklerinde alt ölçekte yol çizgisindeki hareketlilikler, genişleyip daralmalar aynı zamanda küçük ölçeklerdeki fraktal değerlerde kısmi bir artışa neden olmaktadır. Fraktal boyut değerlerindeki değişim alt bölge analizlerinde de görülmektedir (Şekil 13). 1819 yılında yaya-taşıt ayrımının bugünkü kadar net olmaması ve Beyazıt meydanının taşıt kullanımına açık geniş bir alan olması bu noktada yolların fraktal boyutunu artırmaktadır. Sonraki yıllarda ise Meydanın fraktal boyutu düşerek 1987 ve sonrasında beyaz renkle gösterilen 0 değerine düşmüştür.

Doku elemanları olarak belirlenmiş olan binalar, yapı adaları ve yolların fraktal boyutlarının zaman içindeki değişimi Tablo 1'de görülmektedir.



Şekil 13. Yolların fraktal boyutlarının zaman içindeki değişimi

Tablo 1. Fraktal boyut değerlerinin zaman içindeki değişimi

Yıl	Fraktal boyut		
	Binalar	Yapı adaları	Yollar
1819		1.39	1.60
1913		1.58	1.61
1987	1.81	1.57	1.58
1995	1.82	1.58	1.60
2007	1.82	1.58	1.59

Binalar, yollar ve yapı adaları farklı fraktal özellikler göstermektedir. Yapı adaları üç grupta en düşük fraktal değerlere sahip olan doku elemanıdır. Binalar ise hem dokudaki en baskın eleman olarak hem de konumlanışlarındaki esneklik ve geometrilerindeki çeşitliliğin de etkisi ile yüksek fraktal boyutlara sahiptir. 1819 yılı diğer dönemlere göre oldukça farklı bir doku sergilemektedir. Genel olarak ise her grubun kendi içinde belirli bir aralıkta ve birbirine yakın değerler alması doku karakterinin genel yapısının zaman içinde devamlılığını göstermektedir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada, genellikle tek bir fraktal değerle ifade edilen kentsel doku çalışmalarından farklı olarak fraktal boyutların hem zaman içindeki, hem dokudaki farklı alt bölgelerdeki hem de farklı kutu boyutları ile ifade edilen farklı ölçeklerdeki değişimi incelenmiştir. Fraktal boyutun tek bir değer olarak değil de değerler bütünü olarak ele alınması ile elde edilen sonuçlar, mekânsal değişimin daha net olarak görülmesini

sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kentsel doku çoklu fraktal bir yapıya sahiptir. Dokunun heterojen yapısı nedeni ile hem farklı alt bölgelerde hem de farklı ölçeklerde değişken fraktal boyutlar görülmektedir.
- Zaman içerisindeki evrim sürecinde iki tür değişim fraktal boyutları farklı şekilde etkilemektedir: kendiliğinden gelişim, dokuyu genel olarak daha az etkileyip fraktal boyut değerlerinde daha az değişime yol açarken, ulaşım sisteminde değişiklik gibi planlama kararları dokuyu belirgin bir şekilde etkilemekte ve kısa sürede fraktal boyutlarda daha büyük değişimlere yol açmaktadır. Bu durum, fraktal boyut analizinin yerleşmelerin değişim süreci ile ilgili ipuçları elde etmede yardımcı bir araç olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.
- Kentsel dokunun farklı doku özellikleri gösteren alt bölgelerden oluşması, hem farklı kutu boyutlarıyla yapılan fraktal boyut hesabında değer aralığını artırmakta, hem de alt bölge analizlerinde fraktal boyutların farklılaşmasına neden olmaktadır.
- Binaların fraktal boyut değerlerinin 1,8 ve üzerinde olması, çoğunlukla 1,6-1,7 değerinin elde edildiği diğer dünya kentlerinden daha karmaşık ve zengin bir dokuya sahip olduğu şeklinde değerlendirilebilir.

Kullanılan yöntemle, mevcut durum incelenebileceği gibi, dokuya yapılması düşünülen müdahaleler uygulanmadan önce sanal ortamda ölçülerek doku üzerindeki olası etkileri de incelenebilir. Bu sayede tasarıma yardımcı araç olarak kullanılabilir. Bu yöntemin zayıf yönü ise üçüncü boyuttaki değişimleri ölçme konusunda yetersiz olmasıdır. Bu eksiklik teknik bir sorundur. Kutu sayma yönteminde kullanılan gridler yerine küpler kullanılıp, kentsel dokunun da üç boyutlu modelinin yapılmış olması durumunda üç boyutlu fraktal boyut hesaplamak mümkün olacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışmaya verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynaklar

Alexander, C., (1964). *Notes on the Synthesis of Form*: Harvard University Press.

- Alexander, C., (1966). The city is not tree. *Design*, **206**, 46-55.
- Alexander, C., (1979). *The timeless way of building*: Oxford University Press New York.
- Alexander, C., (1987). *A new theory of urban design*: Oxford University Press.
- Alexander, C., (2002). *The Phenomenon Of Life: The Nature of Order, Book 1*. Berkeley, California: Center for Environmental Structure.
- Alexander, C., (2003). New concepts in complexity theory arising from studies in the field of architecture: An overview of the four books of The Nature of Order. son erişim tarihi: 8 Nisan 2010 <http://natureoforder.com/library/scientific-introduction.pdf>.
- Alexander, C., (2003). *The Process of Creating Life: The Nature of Order, Book 2*. Berkeley, California: The Centre for Environmental Structure.
- Alexander, C., (2004). *A Vision of a Living World: The Nature of Order, Book 3*. Berkeley, California: The Center for Environmental Structure.
- Alexander, C., Ishikawa, S. ve Silverstein, M., (1977). *A pattern language: towns, buildings, construction*. New York Oxford University Press.
- Barabasi, A.-L., Bourbonnais, R., Jensen, M., Kertesz, J., Vicsek, T. ve Zhang, Y.-C., (1992). Multifractality of growing surfaces. *Physical Review A*, **45**, 10, R6951.
- Batty, M., (1997). Cellular Automata and Urban Form: A Primer. *Journal of the American Planning Association*, **63**, 2, 266 - 274.
- Batty, M., (1998). Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata. *Environment and Planning A*, **30**, 1943-1967.
- Batty, M., (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Batty, M., (2008). Generating Cities from the Bottom-Up: Using Complexity Theory for Effective Design [Elektronik Versiyon]. *Cluster*. son erişim tarihi: 8 Nisan 2010, <http://www.cluster.eu/v2/editions/batty/>
- Batty, M. ve Longley, P., (1994). *Fractal cities: a geometry of form and function*: Academic Press Professional, Inc. San Diego, CA, USA.
- Batty, M. ve Xie, Y., (1996). Preliminary evidence for a theory of the fractal city. *Environment and Planning A*, **28**, 1745-1762.
- Benguigui, L., (1995). A fractal analysis of the public transportation system of Paris. *Environment and Planning A*, **27**, 1147-1161.
- Bertalanffy, L. v., (1968). *General system theory*. New York: Allen Lane The Penguin Press.
- Bovill, C., (1996). *Fractal geometry in architecture and design*: Birkhauser.

- Çağdaş, G., Gözübüyük, G. ve Ediz, Ö., (2006). Mimari tasarımda fraktal kurguya dayalı form üretimi. *Journal of İstanbul Kültür University*, **4**, 2, 1-12.
- Çelik, Z., Favro, D. G. ve Ingersoll, R., (1994). *Streets: Critical Perspectives on Public Space*: University of California Press.
- Cheng, Q., (1999). Multifractality and spatial statistics. *Computers & Geosciences*, **25**, 9, 949-961.
- Ediz, Ö. ve Çağdaş, G., (2005). Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım. *İTÜ dergisi/a mimarlık, planlama, tasarım*, **4**, 1, 71-83.
- Ediz, Ö. ve Çağdaş, G., (2006). Kaos, fraktaller ve mimari tasarım. *Journal of İstanbul Kültür University*, **4**, 3, 155-160.
- Fisher-Gewirtzman, D. ve Wagner, I. A., (2003). Spatial openness as a practical metric for evaluating built-up environments. *Environment and Planning B*, **30**, 1, 37-50.
- Frankhauser, P., (1998a). The Fractal Approach. A New Tool for the Spatial Analysis of Urban Agglomerations. *Population: An English Selection*, **10**, 1, 205-240.
- Frankhauser, P., (1998b). Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, **2**, 2, 127-145.
- Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P. ve Bedford, M., (1976). Space syntax. *Environment and Planning B*, **3**, 147-185.
- Jiang, B., (1999). SimPed: Simulating Pedestrian Flows in a Virtual Urban Environment. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, **3**, 1, 21-29.
- Jiang, B. ve Claramunt, C., (1999). A Comparison Study on Space Syntax as a Computer Model of Space. *Proceedings of Second International Symposium on Space Syntax*.
- Jiang, B. ve Claramunt, C., (2002). Integration of Space Syntax into GIS: New Perspectives for Urban Morphology. *Transactions in GIS*, **6**, 3, 295-309.
- Kaya, H. S. ve Bölen, F., (2006). Kentsel Mekan Organizasyonundaki Farklılıkların Fraktal Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Journal of İstanbul Kültür University*, **4**, 4, 153-172.
- Lynch, K., (1960). *The image of the city*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- McAdams, M. A., (2008). Fractal Analysis and the Urban Morphology of a City in a Developing Country: A Case Study of Istanbul. *Marmara Journal of Geography*, **15**, 22-44.
- Moughtin, C., (2003). *Urban Design: Street and Square*: Architectural Press.
- Packard, N. H. ve Wolfram, S., (1985). Two-dimensional cellular automata. *Journal of Statistical Physics*, **38**, 5, 901-946.
- Peitgen, H. O., Jürgens, H. ve Saupe, D., (2004). *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*: Springer Verlag Press.
- Pumain, D., (2000). Settlement Systems in the Evolution. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, **82**, 2, 73-87.
- Salingeros, N. A., (1995). The Laws of Architecture from a Physicist's Perspective. *Physics Essays*, **8**, 638-643.
- Salingeros, N. A., (1997). Life and Complexity in Architecture From a Thermodynamic Analogy. *Physics Essays*, **10**, 165-173.
- Salingeros, N. A., (1999). Architecture, Patterns, and Mathematics. *Nexus Network Journal*, **1**, 1, 75-85.
- Salingeros, N. A., (2000a). Complexity and Urban Coherence. *Journal of Urban Design*, **5**, 3, 291-316.
- Salingeros, N. A., (2000b). The Structure of Pattern Languages. *Architectural Research Quarterly*, **4**, 149-161.
- Şener, S. M., (1984). *Geometrik nitelikli bir düzenleme aracı olarak ızgara ve endüstrileşmiş bina tasarımındaki yeri*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Stiny, G., (1976). Two exercises in formal composition. *Environment and Planning B*, **3**, 187-210.
- Stiny, G., (1980). Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B*, **7**, 343-351.
- Stiny, G. ve Gips, J., (1971). *Shape Grammars and The Generative Specification Of Painting and Sculpture*. Paper presented at the Information Processing: Proceedings of IFIP Congress, Netherlands.
- Stiny, G. ve Mitchell, W. J., (1980). The grammar of paradise: on the generation of Mughul gardens. *Environment and Planning B*, **7**, 209-226.
- Thomas, I., Frankhauser, P. ve Biernacki, C., (2008). The morphology of built-up landscapes in Wallonia (Belgium): A classification using fractal indices. *Landscape and Urban Planning*, **84**, 2, 99-115.
- Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D. ve Penn, A., (2001). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **28**, 103-121.
- White, R. ve Engelen, G., (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, **25**, 1175-1199.
- White, R. ve Engelen, G., (1994). Urban systems dynamics and cellular automata: Fractal structures between order and chaos. *Chaos, Solitons & Fractals*, **4**, 4, 563-583.
- White, R. ve Engelen, G., (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, **24**, 5, 383-400.
- Wingo, L., (1969). In *Cities and Space: The Future Use of Urban Land: The Book is based on 1962 RFF (Resources For The Future) Forum on The Future Use of Urban Space*. Baltimore and London: Johns Hopkins Press.