

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMALARI İLE PARKLARIN  
DÖNEMSEL ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nazlı Bahar URSAVAŞ**

**Bilişim Anabilim Dalı**

**Mimari Tasarımda Bilişim Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**

**ŞUBAT 2022**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMALARI İLE PARKLARIN  
DÖNEMSEL ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nazlı Bahar URSAVAŞ  
(523171007)**

**Bilişim Anabilim Dalı**

**Mimari Tasarımda Bilişim Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**

**ŞUBAT 2022**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 523171007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nazlı Bahar URSAVAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMALARI İLE PARKLARIN DÖNEMSEL ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Hasan Serdar KAYA** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Şehnaz Cenani**  
**DURMAZOĞLU** .....  
Medipol Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 14 Ocak 2022  
**Savunma Tarihi** : 9 Şubat 2022





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Tez yazım süreci boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, tez yazım sırasında katkı sağlayan ve beni destekleyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca hep yanımda olan, bana olan inançlarını ve umutlarını kaybetmeyen, aldığım kararları her zaman destekleyen, sadece bu süreçte değil hayatımın her anında beni cesaretlendiren, haklarını asla ödeyemeyeceğim canımdan öte annem Çiğdem URSAVAŞ ve babam Ahmet URSAVAŞ'a her zaman müteşekkirim.

Ocak 2022

Nazlı Bahar URSAVAŞ  
(Mimar)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                       |       |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ.....                                                            | viii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                     | ix    |
| KISALTMALAR .....                                                     | xi    |
| SEMBOLLER .....                                                       | xiii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                  | xv    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                    | xv    |
| ÖZET.....                                                             | xxi   |
| SUMMARY .....                                                         | xxiii |
| 1.GİRİŞ.....                                                          | 1     |
| 1.1 Problemin Tanımı.....                                             | 1     |
| 1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı.....                                       | 2     |
| 1.3 Tezin Yöntemi .....                                               | 3     |
| 2. FRAKTALLER VE FRAKTAL GEOMETRİ KAVRAMLARI.....                     | 5     |
| 2.1 Kaos ve Fraktaller.....                                           | 6     |
| 2.1.1 Kaosun tanımları.....                                           | 6     |
| 2.1.2 Fraktaller ve tanımları.....                                    | 9     |
| 2.2. Fraktal Türleri.....                                             | 10    |
| 2.2.1 Doğal fraktaller.....                                           | 10    |
| 2.2.2 Yapay fraktaller .....                                          | 12    |
| 2.2.2.1 Deterministik fraktaller.....                                 | 12    |
| 2.2.2.2 Deterministik olmayan fraktaller.....                         | 21    |
| 2.2.2.3 Deterministik fraktallerden üretilen rastgele fraktaller..... | 22    |
| 2.3 Fraktal Geometri.....                                             | 24    |
| 2.3.1 Kaos teorisi.....                                               | 29    |
| 2.3.2 Fraktal boyut kavramı .....                                     | 31    |
| 2.3.3 Lakunarite kavramı .....                                        | 32    |
| 2.4 Çoklu Fraktaller.....                                             | 34    |
| 2.4.1 Eşit olmayan olasılıklar .....                                  | 34    |
| 2.4.2 Çeşitli olasılık histogramları .....                            | 35    |
| 2.5 Fraktal Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları .....              | 35    |
| 3. FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ....               | 41    |
| 3.2 Fraktal Boyut Hesaplama Yöntemleri .....                          | 41    |
| 3.2.1 Curdling yöntemi .....                                          | 41    |
| 3.2.2 Kendine benzerlik yöntemi .....                                 | 42    |
| 3.2.3 Hausdorf yöntemi .....                                          | 43    |
| 3.2.4 Kutu sayma yöntemi .....                                        | 45    |
| 3.3 Lakunarite Hesaplama Yöntemleri .....                             | 48    |
| 3.3.1 Kayar kutu yöntemi.....                                         | 50    |
| 3.3.2 Kutu sayma yöntemi .....                                        | 52    |
| 3.3.3 Lakunarite kullanım alanları .....                              | 56    |

|                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. KENTSEL DOKUDA FRAKTAL GEOMETRİ VE KULLANILAN YAZILIMLAR.....</b>                                                  | <b>59</b>  |
| 4.1 Kentsel Ölçekte Fraktal Kullanımları .....                                                                           | 59         |
| 4.2 Kent Elemanları Ölçeğinde Fraktal Kullanımları .....                                                                 | 65         |
| 4.2.1 Yeşil alan ölçeğinde fraktal kullanımı.....                                                                        | 65         |
| 4.3 ImageJ Programı ve Kentsel Analiz Uygulamaları.....                                                                  | 69         |
| 4.3.1 ImageJ ile kentsel analiz uygulamaları.....                                                                        | 71         |
| 4.3.2 Fraclac eklentisi.....                                                                                             | 73         |
| <b>5. FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMALARI İLE PARKLARIN ANALİZLERİ.....</b>                                        | <b>81</b>  |
| 5.1 Park Alanları ve Kullanılan Kısıtlamalar.....                                                                        | 82         |
| 5.1.1 Bebek Parkı.....                                                                                                   | 83         |
| 5.1.2 Göztepe 60. Yıl Parkı.....                                                                                         | 84         |
| 5.1.3 Emirgan Parkı.....                                                                                                 | 85         |
| 5.1.4 Maçka Parkı.....                                                                                                   | 86         |
| 5.2 Tarihsel Süreç İçerisinde Parkların Fraktal Boyut ve Lakunarite Değerlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması ..... | 87         |
| 5.2.1 Bebek Parkı hesaplamaları.....                                                                                     | 87         |
| 5.2.2 Göztepe 60. Yıl Parkı hesaplamaları.....                                                                           | 91         |
| 5.2.3 Emirgan Parkı hesaplamaları.....                                                                                   | 95         |
| 5.2.4 Maçka Parkı hesaplamaları.....                                                                                     | 100        |
| 5.2.5 Parkların fraktal boyut ve lakunarite değerlerinin karşılaştırılması.....                                          | 105        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                                                         | <b>109</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                                    | <b>113</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                                                                        | <b>121</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                                    | <b>135</b> |

## **KISALTMALAR**

BH: Brownian Hareketi

Db: Fraktal boyut

Slac: Kayar Kutu Yöntemi ile Lakunarite Hesaplaması

Pxl: Piksel boyutu





## SEMBOLLER

$\Phi$ : Karmaşık sayı kümesi

$x \rightarrow x^2 + c$ : Julia Seti için belirlenen fonksiyon

$n(\delta)$ : kayar kutu yöntemi ile lakunarite hesabı için kutu sayısı

$\mu_i$ : her kutu için gözenek(lakunarite) alanı

$\Lambda$ : lakunarite değeri



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2. 1: Britanya kıyılarına ait çokgen kenar sayısı ve yaklaşma oranı.....      | 31  |
| Çizelge 3. 1: Çalışma kapsamında seçilmiş olan kent meydanların fraktal boyutlar.     | 54  |
| Çizelge 4. 1: Şehirlerin fraktal boyutları.....                                       | 64  |
| Çizelge 4. 2: Yeşil alan sınıflandırmaları.....                                       | 69  |
| Çizelge 4. 3: Fraktal boyutların ve boşluk katsayılarının ilk 10 ve son 10 değerleri. | 72  |
| Çizelge 5. 1: 2021 yılı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi. ....                  | 89  |
| Çizelge 5. 2: Bebek Parkı 2002 yılı hesaplamaları. ....                               | 89  |
| Çizelge 5. 3: Bebek Parkı 2010 yılı hesaplamaları. ....                               | 90  |
| Çizelge 5. 4: Bebek Parkı 2021 yılı hesaplamaları. ....                               | 90  |
| Çizelge 5. 5: 2021 yılı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi. ....                  | 93  |
| Çizelge 5. 6: Göztepe Parkı 2009 yılı hesaplamaları. ....                             | 93  |
| Çizelge 5. 7: Göztepe Parkı 2017 yılı hesaplamaları. ....                             | 94  |
| Çizelge 5. 8: Göztepe Parkı 2021 yılı hesaplamaları. ....                             | 94  |
| Çizelge 5. 9: 2021 yılı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi. ....                  | 97  |
| Çizelge 5. 10: Emirgan 2002 yılı hesaplamaları. ....                                  | 98  |
| Çizelge 5. 11: Emirgan 2010 yılı hesaplamaları. ....                                  | 98  |
| Çizelge 5. 12: Emirgan 2017 yılı hesaplamaları ....                                   | 99  |
| Çizelge 5. 13: Emirgan 2021 yılı hesaplamaları. ....                                  | 99  |
| Çizelge 5. 14: Piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi. ....                           | 102 |
| Çizelge 5. 15: Maçka Parkı 2002 yılı hesaplamaları. ....                              | 103 |
| Çizelge 5. 16: Maçka Parkı 2014 yılı hesaplamaları. ....                              | 103 |
| Çizelge 5. 17: Maçka Parkı 2021 yılı hesaplamaları. ....                              | 103 |
| Çizelge 5. 18: Parkların yapıldığı ve değişim geçirdiği tarihler. ....                | 107 |
| Çizelge 5. 19: Parklara ait 2021 yılı hesaplama sonuçları.....                        | 107 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2. 1: Michael McGuire'e ait bir meşe ağacı fotoğrafı.....                                                         | 5  |
| Şekil 2. 2: Lorenz Attractor- Kaos Tanımı.....                                                                          | 6  |
| Şekil 2. 3:Lorenz Hava grafiği. ....                                                                                    | 9  |
| Şekil 2. 4: Akarsunun Fraktal Yapısı. ....                                                                              | 11 |
| Şekil 2. 5: Norveç (ilk), Moğolistan (ikinci) ve Kuzey Afrika'dan (üçüncü) nehir ağları. ....                           | 11 |
| Şekil 2. 6: Fraktal şelale. ....                                                                                        | 12 |
| Şekil 2. 7: Yapay Fraktallerin Sınıflandırılması. ....                                                                  | 12 |
| Şekil 2. 8: Cantor Üçlü Seti. ....                                                                                      | 13 |
| Şekil 2. 9: Cantor Üçlü Setinin Yapımının İlk Adımları ....                                                             | 14 |
| Şekil 2. 10: Minkowski fraktalının iterasyon diyagramı.....                                                             | 14 |
| Şekil 2. 11: Minkowski Adası fraktal yinelemeleri $k=0, 1, 2, 3$ seviyeleri için.....                                   | 15 |
| Şekil 2. 12: Koch eğrisinin oluşumu ....                                                                                | 15 |
| Şekil 2. 13: Koch kar tanesi iterasyonları şeması ....                                                                  | 16 |
| Şekil 2. 14: Mandelbrot setine 8 kere yaklaşılmış görüntü.....                                                          | 17 |
| Şekil 2. 15: Julia Seti C aralığındaki oluşumu. ....                                                                    | 18 |
| Şekil 2. 16: Julia setlerinin Mandelbrot setlerinden üretilmiş C parametresine bağlı tipleri. ....                      | 18 |
| Şekil 2. 17: Bölünen Üçgenler ....                                                                                      | 19 |
| Şekil 2. 18: Sierpinski Üçgeni.....                                                                                     | 20 |
| Şekil 2. 19: Sierpinski Üçgeni Oluşum Şeması ....                                                                       | 20 |
| Şekil 2. 20: Sierpinski Halısı.....                                                                                     | 21 |
| Şekil 2. 21: Tek boyutlu Brownian Hareketi örneği ....                                                                  | 22 |
| Şekil 2. 22 : İki boyutlu Brownian Hareketi (sol) ve İki boyutlu Fraktal Brownian Hareketi (sağ). ....                  | 22 |
| Şekil 2. 23: Koch kar tanesinin üretimi için iki farklı yöntem.....                                                     | 23 |
| Şekil 2. 24: Koch Eğrisinin farklı başlangıç kuralı rastgele oluşumu.....                                               | 23 |
| Şekil 2. 25: Sierpinski Halısı'nın üretimi için iki farklı yöntem.....                                                  | 23 |
| Şekil 2. 26: Sierpinski Halısı'nın rastgele oluşumu (Uygulanacak yeni kural şekil 2.25'teki alt imajda mevcuttur.) .... | 24 |
| Şekil 2. 27: Euclid Geometrisi ve Fraktal Geometri ....                                                                 | 25 |
| Şekil 2. 28: Doğada kendine benzerlik. ....                                                                             | 27 |
| Şekil 2. 29: Kar tanesinde kendine benzerlik.....                                                                       | 27 |
| Şekil 2. 30: Öz yinelemeli çalışmalar. ....                                                                             | 27 |
| Şekil 2. 31: Britanya Kıyıları. ....                                                                                    | 31 |
| Şekil 2. 32: Fraktal boyutlu nesneler. ....                                                                             | 32 |
| Şekil 2. 33: Düşük-Orta-Yüksek Lakunarite.....                                                                          | 33 |
| Şekil 2. 34: Üç hiyerarşik seviyede lakunarite.....                                                                     | 33 |
| Şekil 2. 35: Eşit olmayan olasılıklar ....                                                                              | 34 |
| Şekil 2. 36: Olasılıklar ve adresler ....                                                                               | 35 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2. 37: Olasılıklar ve çoklu çevrimli histogramların oluşumu.....                                                                                                                       | 35 |
| Şekil 2. 38: Hilbert Bina blokları .....                                                                                                                                                     | 36 |
| Şekil 2. 39: Sierpsinski Üçgeninin kafes sisteme dönüşümü .....                                                                                                                              | 37 |
| Şekil 2. 40: Pinwheel döşemesinin kafes sisteme dönüşümü.....                                                                                                                                | 37 |
| Şekil 2. 41: Asayama fraktallerinin kafes sisteme dönüşümü.....                                                                                                                              | 38 |
| Şekil 2. 42: Bilgisayar grafikleri ile oluşturulmuş Fibonacci sayısı baz alınan bir<br>denizaltı yaşam formu .....                                                                           | 39 |
| Şekil 2. 43: Fraktal resim örneği. ....                                                                                                                                                      | 39 |
| Şekil 3. 1: Curdling yöntemi ile üç seviyede kesmenin bir örneği .....                                                                                                                       | 42 |
| Şekil 3. 2: Fraktallerde kendine benzerlik yöntemi.....                                                                                                                                      | 43 |
| Şekil 3. 3: Sierpinski üçgeni, $\log(3)/\log(2) \leq 1.58$ Hausdorff boyutuna sahip bir<br>nesne. ....                                                                                       | 44 |
| Şekil 3. 4: Kutu Sayma Yöntemi.....                                                                                                                                                          | 45 |
| Şekil 3. 5: Farklı boyutlardaki "Kutular" aracılığıyla görüntülenen 32 bölümlü dörtlü<br>fraktal. ....                                                                                       | 46 |
| Şekil 3. 6: Robie Evi .....                                                                                                                                                                  | 47 |
| Şekil 3. 7: Fraktal kutu sayma yöntemi gösterimi.....                                                                                                                                        | 48 |
| Şekil 3. 8: Cantor tozu lakunaritesi. ....                                                                                                                                                   | 49 |
| Şekil 3. 9: 2,5 sabit fraktal boyuta ve (a) 2, (b) 3 ve (c) 5 olacak şekilde farklı<br>lakunarite değerlerine sahip fraktal dokuları .....                                                   | 49 |
| Şekil 3. 10: Matriste kayar kutu yöntemi. ....                                                                                                                                               | 50 |
| Şekil 3. 11: Üç boyutlu kayar kutu yöntemi gösterimi .....                                                                                                                                   | 51 |
| Şekil 3. 12: Analiz edilen ortam için kutu sayma boyutu ve lakunarite. Her ortam için<br>fraktal analizden kutu yan uzunluğu $\log_{\text{kutu sayısı}}$ alttaki diyagramda verilir<br>..... | 52 |
| Şekil 3. 13: Farklı kutu boyutları ile aynı imajın kutu sayma yöntemi ile lakunarite<br>hesabı.....                                                                                          | 53 |
| Şekil 3. 14: Lakunarite hesapları yapılan farklı kent meydanları .....                                                                                                                       | 54 |
| Şekil 3. 15: Hiyerarşik kutu sayma görseller. ....                                                                                                                                           | 55 |
| Şekil 3. 16: Kent meydanı üzerinde lakunarite sınıflandırması .....                                                                                                                          | 55 |
| Şekil 4. 1: (a)İstanbul kent dokusunun yıllara göre yayılımı, (b) 2020 yılı detaylı<br>İstanbul kent dokusu. ....                                                                            | 60 |
| Şekil 4. 2: (a-b-c) bir çeşit Sierpinski halısının oluşumu (d) gözeneklilik kapsamında<br>Sierpinski halısının değerlendirilmesi ve kentsel doku ile siyah-beyaz<br>ilişkilendirmesi .....   | 62 |
| Şekil 4. 3: Sierpinski halısından üretilen gözeneklilik hesaplamaları.....                                                                                                                   | 62 |
| Şekil 4. 4: (a)Berlin , (b) Stuttgart, (c) Londra şehir haritaları. ....                                                                                                                     | 63 |
| Şekil 4. 5: Dalian çalışma alanı üzerinden üç tip fraktal hesaplama modeli.....                                                                                                              | 66 |
| Şekil 4. 6: Dalian çalışma alanı. ....                                                                                                                                                       | 68 |
| Şekil 4. 7: Çalışma yapılan yeşil alanların gruplandırılması.....                                                                                                                            | 68 |
| Şekil 4. 8: ImageJ Windows İşletim sistemi arayüz görünümü örneği. ....                                                                                                                      | 69 |
| Şekil 4. 9: ImageJ menü çubuğu. ....                                                                                                                                                         | 70 |
| Şekil 4. 10: Bursa kent dokusunun farklı yıllardaki fraktal ve gözeneklilik değerler                                                                                                         | 73 |
| Şekil 4. 11: FracLac binary işlem diagramı. ....                                                                                                                                             | 75 |
| Şekil 4. 12: Image J tabanlı FracLac eklentisinin çalışma prensibi.....                                                                                                                      | 76 |
| Şekil 4. 13: FracLac eklentisinin çoklu başlangıç noktalı çalışma prensibi. ....                                                                                                             | 77 |
| Şekil 4. 14: FracLac eklentisi arayüzü. ....                                                                                                                                                 | 79 |
| Şekil 4. 15: FracLac değişen parametreler. ....                                                                                                                                              | 79 |
| Şekil 5. 1: GoogleEarth 2002 yılı Bebek Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                           | 83 |
| Şekil 5. 2: GoogleEarth 2010 yılı Bebek Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                           | 84 |

|                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5. 3: GoogleEarth 2021 yılı Bebek Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                                 | 84  |
| Şekil 5. 4: GoogleEarth 2009 yılı Göztepe 60. Yıl Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                       | 85  |
| Şekil 5. 5: GoogleEarth 2017 yılı Göztepe 60. Yıl Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                       | 85  |
| Şekil 5. 6: GoogleEarth 2021 yılı Göztepe 60. Yıl Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                       | 85  |
| Şekil 5. 7: (a) GoogleEarth 2002 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı, (b) GoogleEarth<br>2010 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı, (c) GoogleEarth 2017 Emirgan Parkı<br>uydu fotoğrafı, (d) GoogleEarth 2021 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı. .... | 86  |
| Şekil 5. 8: GoogleEarth 2002 yılı Maçka Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                                 | 86  |
| Şekil 5. 9: GoogleEarth 2014 yılı Maçka Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                                 | 87  |
| Şekil 5. 10: GoogleEarth 2021 yılı Maçka Parkı uydu fotoğrafı. ....                                                                                                                                                                | 87  |
| Şekil 5. 11:Kutu sayım başlangıç noktaları. ....                                                                                                                                                                                   | 87  |
| Şekil 5. 12: Binary İşlem. ....                                                                                                                                                                                                    | 88  |
| Şekil 5. 13: Dönemsel Bebek Parklarına ait 2 boyutlu çizimler. ....                                                                                                                                                                | 88  |
| Şekil 5. 14: Bebek Parkına ait hesaplamaların sütun grafiği. ....                                                                                                                                                                  | 91  |
| Şekil 5. 15: Bebek Parkına ait hesaplamaların çizgi grafiği. ....                                                                                                                                                                  | 91  |
| Şekil 5. 16: Binary İşlem. ....                                                                                                                                                                                                    | 92  |
| Şekil 5. 17: Dönemsel Göztepe 60. Yıl Parklarına ait 2 boyutlu çizimler. ....                                                                                                                                                      | 92  |
| Şekil 5. 18: Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait hesaplamaların sütun grafiği. ....                                                                                                                                                       | 95  |
| Şekil 5. 19: Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait hesaplamaların çizgi grafiği. ....                                                                                                                                                       | 95  |
| Şekil 5. 20: Binary İşlem. ....                                                                                                                                                                                                    | 96  |
| Şekil 5. 21: Dönemsel Emirgan Parklarına ait 2 boyutlu çizimler. ....                                                                                                                                                              | 96  |
| Şekil 5. 22 (devam): Dönemsel Emirgan Parklarına ait 2 boyutlu çizimler. ....                                                                                                                                                      | 97  |
| Şekil 5. 23: Emirgan Parkı'na ait hesaplamaların sütun grafiği. ....                                                                                                                                                               | 100 |
| Şekil 5. 24: Emirgan Parkı'na ait hesaplamaların çizgi grafiği. ....                                                                                                                                                               | 100 |
| Şekil 5. 25: Binary İşlem. ....                                                                                                                                                                                                    | 101 |
| Şekil 5. 26: Dönemsel Maçka Parklarına ait 2 boyutlu çizimler. ....                                                                                                                                                                | 101 |
| Şekil 5. 27: Maçka Parkı'na ait hesaplamaların sütun grafiği. ....                                                                                                                                                                 | 104 |
| Şekil 5. 28: Maçka Parkı'na ait hesaplamaların çizgi grafiği. ....                                                                                                                                                                 | 104 |
| Şekil 5. 29: 2021 yılına ait bütün parkların hesaplama değerlerinin grafiği. ....                                                                                                                                                  | 106 |
| Şekil 5. 30: Yıllara göre fraktal boyut değişim grafiği. ....                                                                                                                                                                      | 107 |
| Şekil 5. 31: Parklara ait metrekaare karşılaştırmaları. ....                                                                                                                                                                       | 108 |
| Şekil 5. 32: Parklara ait fraktal boyut karşılaştırmaları. ....                                                                                                                                                                    | 108 |



## **FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMALARI İLE PARKLARIN DÖNEMSEL ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ**

### **ÖZET**

Fraktal örüntüler, sonsuz döngüye sahip, karmaşık, matematiksel denklemlerle oluşturulan ve birbirinin tekrarı olan kurgulardır. Doğada kendiliğinden var olan veya farklı bağlam ve örüntüler ile oluşan bu yapılar, günümüzde dijital olarak matematiksel yapılarla oluşturulmakta ve farklı alanlarda kullanılmaktadır. Fraktal örüntülerin varolduğu alanlardan biri de yeşil alanlardır. Açık ya da yeşil alanlar günümüzde hızla büyüyen kentlerin estetik ve fonksiyonel eksiklerini tamamlamaktadır. Bu durumda kentsel mekan öğelerinden biri olan yeşil alanların ve onların değerlendirilmesinde aynı zamanda tasarımında kullanılan modeller önem kazanmıştır.

Araştırmanın konusu olarak, bir yerleşim merkezinde kamu yararına düzenlenmiş ve bu şekliyle “park” olarak tanımlanan yeşil alanlar; karmaşık geometrik şekillerden oluşmaları, parçalı yapıları ve bazen de tekrar eden desenlere sahip olmaları nedeniyle fraktal özellikler taşımaktadır. Bu benzer özellikler dolayısıyla tezde, parkların fraktal geometri çerçevesinde ele alınması ve incelenmesi üzerine çalışılmıştır. Bu bağlamda kentsel sistemlerin bir parçası olan parkların fraktal boyut ve lakunarite hesaplamaları yönünden değerlendirmeleri ve analizlerine yer verilmiştir.

Tez, öncelikli olarak bir literatür taraması içerirken bu literatür araştırmaları fraktallere ait olan kavram tanımlamaları ile başlamaktadır. Bu kavram açıklamalarını fraktal geometri ve ona ait başlıkların anlatımı takip etmektedir. Daha sonrasında fraktal boyut, lakunarite kavramlarına değinilmiş olup bu başlıklara ait hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Bu çalışmalar kullanılacak olan hesaplamalı yöntem sonucunda ortaya çıkan verilerin değerlendirmesini desteklemek amacıyla ortaya konulmuştur.

Tez çalışması kapsamında, fraktal geometrik analizlerde yer alan başlıca hesaplama yöntemlerinden biri olan “kutu sayma yöntemi” kullanılmış olup, bu yöntem sayesinde yeşil alanların objektif ve matematiksel verilere dayandırılarak karşılaştırılması için bir yaklaşım önerilmiştir.

Birbirlerinden farklı özelliklere sahip olması göz önünde bulundurularak seçilen çalışma alanları (bulundukları konum, kapasite, hacim, hitap ettikleri nüfusun yoğunluğu vs. parametreler göz önüne alınarak), bahsedilen kutu sayma yöntemi ile gözeneklilik(lakunarite) ve fraktal boyut hesabı yapılması uygun görülmektedir. Bu hesapların yapılabilmesi için ImageJ programına ait olan Fractal eklentisi ile çalışılmıştır. Google Earth ve Global Human Settlement Layer’den elde edilen uydu fotoğraflarının iki boyutlu aktarımı ile hesaplamalar yapılmıştır. Bu haritaların iki boyuta aktarılmasının temel sebebi de kullanılacak olan programa ait algoritmaların iki boyutlu imajlar ile daha doğru sonuç vermesinden kaynaklanmaktadır.

Bu doğrultuda İstanbul ilinin farklı lokasyonlarında bulunan ve çeşitli parametrelere göre seçilmiş olan dört adet park kullanılmıştır. Seçilen bu parkların zaman içerisinde

değişen yapıları gözlemlenerek ortaya çıkan farklılıkların, gelişim ya da dönüşümlerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda parkların dönemsel olarak çeşitlilik gösteren yapılarının fraktal ve lakunarite hesaplama yöntemleri üzerinden analizleriyle gösterilmesi hedeflenmiştir. Yapılan analizlerin grafiksel dökümü ile de matematiksel karşılaştırmalar için veriler oluşturulmuştur.

Çalışma sonucunda ortaya çıkan verilerin değerlendirilmesinde fraktal analizlerin üstlendiği rol üzerinde durulmuştur. Bu çözümlemelerde kullanılan yöntemlerin söz konusu olabilecek yeni araştırma alanlarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu da bir kent ögesi olan yeşil alanların parçası olan parkların kullanıcılarından elde edilebilecek geri dönüşlerle yeni park tasarımları için veri oluşturabileceği öngörülmektedir.



## **PERIODIC ANALYZES AND EVALUATION OF THE PARKS WITH FRACTAL DIMENSION AND LACUNARITY CALCULATIONS**

### **SUMMARY**

Fractals are complex, repetitive patterns with endless loops, created with mathematical equations. These structures, which exist spontaneously in nature or formed with different contexts and patterns, are digitally created with mathematical structures and used in different fields. One of the areas where fractal patterns exist is green areas. Open or green spaces complete the aesthetic and functional deficiencies of rapidly growing cities today. In this case, green areas, which are one of the urban space elements, and the models used in their design at the same time gain importance.

As the subject of the research, green areas arranged for public benefit in a residential area and defined as "parks" in this way; They have fractal properties because they consist of complex geometric shapes, fragmented structures and sometimes repetitive patterns. Due to these similar features, it has been studied on the consideration and examination of parks within the framework of fractal geometry. In this context, evaluations and analyzes of parks, which are a part of urban systems, in terms of fractal dimension and lacunarity calculations are included. Additionally within the scope of the thesis, lacunarity has been used for measuring the porosity of the parks.

While the thesis primarily includes a literature review, these literature studies begin with the concept definitions of fractals. Fractals are highly connected to the term of "chaos" so within the text, the first context about fractals is chaos and its definitions. When evaluating chaos and fractals together, one of the most striking elements is that fractals reveal the order within the chaos.

After the mentioning about chaos, the study includes the types of the fractal which are natural fractals and artificial fractals. The reason why these types are examined in this part of the thesis is that the analyzes to be made within the scope of the thesis are examples of both natural fractals and artificial fractals of parks those are parts of the green areas, which are a part of urban nature. While the natural formation of the green urban fabric over time can be considered as an intervention of nature, its shaping, growth, shrinkage and even disappearance with human intervention turns it into an artificial phenomenon. This situation necessitates mentioning both features of these areas in the context of the city.

Furthermore, it is mentioned about what is fractal geometry and its features. Fractal geometry can be considered as the continuum of Euclidian geometry. The fields in which both are used are different. Fractal geometry does not replace the so-called classical geometry, Euclid, but enriches it and differentiates perspectives. By using fractal geometry calculation methods in computational areas, they can clearly present their structural units in each area.

Henceforwards, as the third chapter of the study it has been touched on fractal dimensions and lacunarity. In the context of the thesis, the calculations are being made of via using "box counting method", which is one of the main calculation methods in fractal geometric analysis and it was foreseen that the green areas would form a comparison example based on objective and mathematical data, thanks to this method.

Considering that they have different characteristics from each other, it is considered appropriate to calculate the porosity (lacunarity) and fractal dimension with the mentioned box counting method, considering the selected study areas. In order to make these calculations, the Fractalac plugin belonging to the ImageJ program was used. Calculations were made with two-dimensional transfer of satellite photos obtained from Google Earth and Global Human Settlement Layer. The main reason for transferring these maps to two dimensions is that the algorithms of the program to be used give more accurate results with two-dimensional images.

The case study of the thesis includes the selection of four parks located in different locations of Istanbul according to the parameters such as their location, capacity, volume, density of the population they address to. The selected parks are: Bebek Parkı, Göztepe 60. Yıl Parkı, Emirgan Parkı and Maçka Demokrasi Parkı. It is aimed to evaluate the differences, developments or transformations that arise by observing the changing structures of these selected parks over time. As a result of the calculations made, it is aimed to show the periodically varying structures of the parks with analyzes through fractal calculation methods. With the graphical analyzes, data were created for mathematical comparisons.

For Bebek Parkı, when the periodic results of Bebek Park are compared with each other, an increase in fractal dimensions and a decrease in lacunarity values were observed on the map in 2010 compared to 2002. The situation this means; the pattern has become more complex and the porosity (lacunarity) has decreased. Based on this, when the maps of 2010 and 2021 are compared, a decrease in fractal dimension and an increase in lacunarity values are observed. When these three situations are compared at the same time, it is observed that there is a fluctuating change for both values. This shows that for the fractal dimension, it first goes up and then down in a certain year range, and for the porosity values, it first decreases and then goes up in the same ranges.

For Göztepe 60. Yıl Parkı, when the periodic results are compared with each other, an increase in fractal dimensions and a decrease in lacunarity values were observed in the map in 2017 compared to 2009. However, when the maps of 2017 and 2021 are compared, an increase in lacunarity values is observed, with a very slight increase in fractal dimension. This indicates an increase in occupancy and vacancy rates despite the fact that the complexity of the parking structure remained almost the same during this period. When the three tables are compared at the same time, it is observed that the fractal dimension value increased and the lacunarity value decreased in the period from 2009 to 2021. Although the differences in the results did not change much between 2017 and 2021, the graphs still show linearity.

When the periodic results of Emirgan Park are compared with each other, an increase in fractal dimensions and a decrease in lacunarity values were observed on the map in 2010 compared to 2002. However, when the maps of 2017 and 2021 are compared, there is a significant increase in fractal dimension and a decrease in lacunarity values. This indicates a slight decrease in porosity, although the complexity of the park structure has increased during this period. When the four tables are compared at the same time, the fractal dimension value is constantly increasing in the period from 2002 to 2021, while a slight fluctuation is observed in the lacunarity values in 2010, with a big jump.

When the periodic results of Maçka Park are compared with each other, an increase in fractal dimensions and a decrease in lacunarity values were observed on the map in 2014 compared to 2002. However, when the maps of 2014 and 2021 are compared, a slight decrease in fractal dimension and an increase in lacunarity values are observed. This indicates that although the complexity of the park structure decreased a little during this period, the park had a more vacant and perforated structure and a more heterogeneous texture was formed. When all the tables created for Maçka Park are compared at the same time, the fractal dimension value follows a fluctuating path from 2002 to 2021, while the lacunarity values follow the same path.

After all the calculations, a graph containing fractal dimension and lacunarity values of the examined parks was created. Although the fractal dimension order in the created graph is similar to the order of the lacunarity values, it is not the same. Because fractal dimensions express pattern complexity, they do not affect lacunarity. In addition to these, considering the construction dates of the parks, it is seen that the selected parks belong to many different periods. One of the reasons taken into consideration while examining the selected parks is that they contain historical and periodical differences. In this way, it is aimed to examine whether the dates of existence or the processes of renewal and change have an effect on the calculation data obtained. Moreover the size of the parks are also investigated if they affect the fractal dimension and lacunarity values or not.

As a result of the research, it is aimed to look at the use and design of green areas, which are an urban space element, from a different perspective, as a research subject in the future, based on the data obtained. The role of fractal analyzes in the evaluation of the data obtained as a result of the study was emphasized, and it was taken into account whether the methods used in these analyzes would contribute to new research stages. Thus, it has been one of the targeted results that it will be a work that creates an infrastructure to create a model that can address the city and public needs by combining the park design, which is one of the green space elements, which is an urban organization, and the data to be provided by the user in the future.



# 1.GİRİŞ

## 1.1 Problemin Tanımı

Kendine has dokularıyla var olan kentler çağımızın değişen gereksinimleri ve insan elinin müdahalesi ile hızlı bir değişim sürecine girmiş bulunmaktadır. Kentsel morfoloji sürekli değişmektedir ve bu değişimlerin nedenleri doğal faktörler, sosyo-kültürel yapı, ekonomik güçler, ulaşım olanakları, göç ve demografik değişim, siyasi kararlar ve planlama düzenlemeleri, kentsel dönüşümler, mimari zevkler, yeni cazibe merkezlerinin yaratılması gibi nedenlerdir (İlhan, Gürsakal, 2021). Kentleşme, beraberinde insanlar için olumlu yaşam alanları tanımlasa da bazı zamanlarda da olumsuz yönleri ortaya çıkmaktadır. Özellikle ülkemizde son yıllarda kentleşme oranının yükselmesi ile beraber açık alanların bozumundaki artışlar göze çarpmaktadır. Kentleşme sonucunda oluşan estetik ve çevresel problemler planlı kentsel yeşil alanların önemini arttırmaktadır. Hızla büyüyen kentlerde açık (ya da yeşil) alanlar, kentin fonksiyonel eksiklerini tamamlamaktadır. Fakat bu alanlar fraktal geometri ve lakunarite (gözeneklilik) kavramı ile incelendiğinde birbirleri arasındaki denge farklılıkları göze çarpmaya başlamıştır. Bu dengesizliklere istinaden kısıtlı olan yeşil alan modellerinin kentin ihtiyaçlarına cevap veremeyecek duruma gelmesi sık rastlanılan durumlardan biri olmaya başlamıştır. Kentsel öğelerin bir parçası olan yeşil alanlar somut ve toplumdan ayrılan öğeler olarak ele alınırsa; durumları basite indirgenmiş olup, kentlerin günümüzde ortaya çıkmış olan problemlerinden birinin göz ardı edilmesine neden olmaktadır.

Kentsel problemleri bahsedildiği gibi kentleri basite indirgenmiş problemler halinde ele almak yerine karmaşık sistemlerin bir parçası ve düğüm noktası olarak ele almak gerekmektedir. Karakaş (1990)'a göre; “Kentleşme, toplumun sosyal ve ekonomik yapısından kaynaklanan, toplumsal yapı ve gelişmelerin önemli göstergelerindendir. Çok yönlü ve karmaşık bir olaydır” (s.283).

Kentlerin bu değişim sürecinde en büyük etkilerden biri insanın varlığına aittir. İnsanoğlu varoluşundan bugüne doğa ile iç içe yaşamış ve bundan faydalanmıştır.

Bunun sonucunda da yeni yeşil yaşam alanları ortaya çıkarabilmek ve olanı koruyup daha verimli kullanımı için elverişli hale getirmek de önem kazanmıştır. Bu farkındalık da mevcut yeşil alanların zaman içerisindeki değişimlerini incelemeyi ve yapay müdahalelerin getirdiği dönüşümleri gözlemlemeyi gerekli kılmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı**

Tezin içeriği, kentsel ögelerin önemli bir parçası olan mevcut yeşil alanların günümüzdeki halinin sorgulanması ve zaman içerisinde geçirdiği değişimlerin ne ölçüde etkili olduğunun belirlenmesi ihtiyaından ortaya çıkmıştır. Bu da yakın tarihsel süreçte etkin kullanılmakta olan matematiksel ve hesaplamalı yöntemler ile analizlerinin yapılmasını gerekli kılmıştır.

Değinilen problemlerden yola çıkılarak yeşil alanların farklı bir bakış açısı ile incelenmesi ve kent yaşantısını oluşturan temel unsurlardan biri olan bu kentsel ögelerin niteliklerinin fraktal geometri ve lakunarite aracılığı ile tanımlanması ve mevcut durumlarının tetkik edilmesi amaçlanmıştır.

Bahsedilen kentsel değişimleri farklı bir yönden ele alan tezin içeriğinde; farklı dönemlerde tasarlanan ve yapılan parkların fraktal boyutları ve lakunarite değerleri farklılık gösterebilir hipotezi üzerinden araştırma yapılması ve bu hipotezin geçerliliği üzerine çalışmaların değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Tez kapsamında, yeşil alanların fraktal geometri ve lakunarite değerlerinin matematiksel ve hesaplamalı bir analiz yöntemi ile ele alınması ve buna yönelik dönemsel karşılaştırmaların bulunması yer almaktadır. Ve bu karşılaştırmalar sayesinde planlanarak yapılmış olan mevcut parkların kurgusunu analiz etmek ve tarihsel süreç içerisinde bu kurgunun nasıl değiştiğinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma alanları, yapılacak olan değerlendirmelerin farklı parametrelerle karşılaştırılabilmesi için hem aynı bölgelerden hem de farklı bölgelerden seçilmiştir. Bu farklı araştırma bölgeleri sayesinde dönemsel farklılıklarının gözlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### 1.3 Tezin Yöntemi

Kentsel bağlamdaki yeşil alanlar, kullanım durumları ve bunların oluşumundan bugüne kadar olan değişimlerini matematiksel verilerle yansıtır, kullanılan yöntemin kentlerde önemli yer tutan ve kent nüfusunun nefes almasını sağlayan yeşil alanları (parkları) analiz ederek ve elde edilen analiz sonuçlarına göre süreç içerisinde yeşil dokunun lakunaritesinin ve fraktal boyutlarının değişip değişmediğini gözlemlemek ve bunların neyi ifade ettiğini açıklamak ana problem olarak belirlenmiştir. Tez, bu hesaplamalar yapılırken çıkan sonuçlara park yapım tarihlerinin etkili olup olmadığının sorgulanmasını da içermektedir. Belirlenen sorunların analizleri içinde fraktal geometrinin teori ve hesap yöntemlerinden yararlanılmak istenmiştir.

Hesap yöntemi belirlenirken, parkların fraktal geometri çerçevesinde değerlendirilmelerine yer verildiğinden kullanılacak olan yöntemin en doğru ve objektif veriyi sağlaması için çeşitli yöntemler araştırılmış ve bu doğrultuda kutu sayma yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Kutu sayma yöntemi hem fraktal boyut hesabı hem de lakunarite değerlendirilmelerinde kullanılmıştır.

Tez çalışmasında genelden öze indirgenen bir araştırma yöntemi üzerinde durulmuş olup öncelikle daha önceden ortaya koyulmuş olan makale ve araştırmalarda bahsedilen kentsel ölçekte fraktal kullanımına daha sonrasında kentsel ölçeğe kıyasla çok daha küçük ölçeklerde bulunan yeşil alan ölçeğinde yapılmış olan farklı araştırmalara yer verilmiştir.

Fraktallerin tarihte ilk olarak karmaşık ve kaotik fenomenleri doğru bir şekilde modelleme yeteneği nedeniyle biyolojik ve fiziksel bilimlerden kullanılmıştır. Tez araştırmasında analiz yöntemi olarak fraktal tabanlı bir yöntemin seçilmesinin nedeni ise fraktal geometrinin gücünün kısa süre sonra geometri ve doğa arasındaki bağlantıları çözmenin bir yolu olarak da görülmesidir (Short, 1991). Disiplinler arasında ortak bir çözümleme yöntemi olarak kullanılabilen, ister görsel çeşitlilik, ister yüzeylerin pürüzlülüğü veya organik çeşitlilik olsun, karmaşıklığın nasıl tanımlandığına bakılmaksızın, fraktal boyutun karmaşıklık tahmini yapmada önemli bir değer olması nedeniyle fraktal analizlerin yapılması amaçlanmıştır. Karakaş'ın da (1990) söz ettiği üzere karmaşık olan kent olgularının analizinde en uygun yöntem olarak fraktal çözümlemelerin kullanılmasında karar kılınmıştır.

Tez çalışması literatür araştırmalarıyla başlamaktadır. Literatürü içeren bölümlerde öncelikli hedef fraktal geometrinin ortaya çıkışının temeli olan kaos tanımını açıklamak ve daha sonrasında fraktal geometri, onu oluşturan kavramlar ve çeşitlerini tek tek ele almaktır. Literatür taramalarının amacı konu hakkında önceden yapılmış çalışmalar hakkında daha ayrıntılı bilgi edinmek, kuramsal ve uygulamalı yöntemleri ortaya koymaktır.

Bir sonraki bölümde ise fraktal geometrinin genel ifadelerinden çok, tez kapsamındaki yeri ve önemine yer verilmek istenmiştir. Bu nedenle fraktal geometri ve ona ait kavramlardan bahsedilmiş ve tez çalışmasında spesifik bir fraktal boyut hesaplama yönteminden yararlanılacağı için mevcut hesaplama yöntemleri de konu edinilmiştir. Bu kapsamda tez konusunun önemli bir yönünü kutu sayma yöntemi ve lakunarite kavramı açıklanmakta ve örneklendirilmektedir. Devamında, bir diğer başlık altında da fraktal geometrinin kentsel ölçekte kullanımı ve bunun akabinde kent elemanları ölçeğindeki değerlendirmelere değinilmiştir. Daha sonrasında tez kapsamında yararlanılacak olan ImageJ programı ve FracLac eklentisi hakkında genel kullanım verilerine ve bu programların çalışma mantıklarının açıklamalarına yer verilmiştir.

Tezin beşinci bölümünde alan çalışmalarını oluşturan analiz ve değerlendirmeler için İstanbul kenti seçilmiştir. İstanbul'un seçilme nedeni Türkiye'de nüfusu en yoğun olan il olmasıyla beraber kentsel yeşil alan probleminin en yoğun olduğu kentlerinden biri olması ve bu konu üzerinde henüz tezde kullanılacak yöntemler ile parklar üzerine herhangi bir analiz çalışmasının bulunmamış olmasıdır. Bu yüzden İstanbul'a ait en popüler varsayılan yeşil alanların (parkların) içinden seçilmiş olan çalışma alanlarında gözeneklilik ve fraktal boyut hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar FracLac eklentisi ile beraber ImageJ programı yardımıyla yapılmıştır. Doğru analizlerin yapılmasını sağlamak için Google Earth programı ve Global Human Settlement Layer veritabanından elde edilen uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Bu fotoğrafların algoritma tarafından doğru analiz edilebilmesi için iki boyutlu çizimlere indirgenmesi gerekmiştir. İndirgenen imajlar, daha sonrasında varolan FracLac algoritmasına okutularak kutu sayma yöntemi ile matematiksel hesaplamaları yapılmış ve ilgili sonuçların karşılaştırılması ve grafiksel çıktıları sağlanmıştır.

## 2. FRAKTALLER VE FRAKTAL GEOMETRİ KAVRAMLARI

Fraktaller görüntü, form veya yapı olarak düşünüldüğünde, genellikle statik nesneler olarak algılanmaktadırlar. Örneğin Şekil 2.1'deki gibi doğal bir strüktür, birçok durumda geçerli olan bir başlangıç bakış açısıdır. Ancak bu bakış açısı, belirli bir yapının evrimi veya oluşumu hakkında çok az şey anlatmaktadır. Bu bakış açısına doğadan başka bir örnek verecek olursak, geometrisi geçmişteki tektonik aktivitenin yanı sıra dağ olarak gördüğümüz şeyi hala ve sonsuza dek şekillendirecek erozyon süreçlerinin bir sonucu olan dağlar için de geçerlidir. Aynı şey elektrolitik bir deneyde çinko birikimi için de söylenebilmektedir (Peitgen, ve diğ. 2004). Başka bir deyişle, onları yaratan dinamik süreçleri göz ardı ederek fraktallardan bahsetmek yetersiz olacaktır. Bu da doğada gördüğümüz formların karmaşıklığının, aynı derecede karmaşık süreçlerin bir sonucu olduğunu öne süren bir sav ortaya çıkarmaktadır. Bu sav çoğu zaman doğru olsa da, aynı zamanda uzun süredir devam eden yapının karmaşıklığı karmaşık iç içe geçmiş süreçlerin bir sonucudur paradigması genel olarak doğru olmaktan uzaktır. Aksine, fraktal ve kaos terimleri birlikte anıldığında tam tersi belirmektedir.



**Şekil 2. 1:** Michael McGuire'e ait bir meşe ağacı fotoğrafı (Peitgen, ve diğ. 2004).

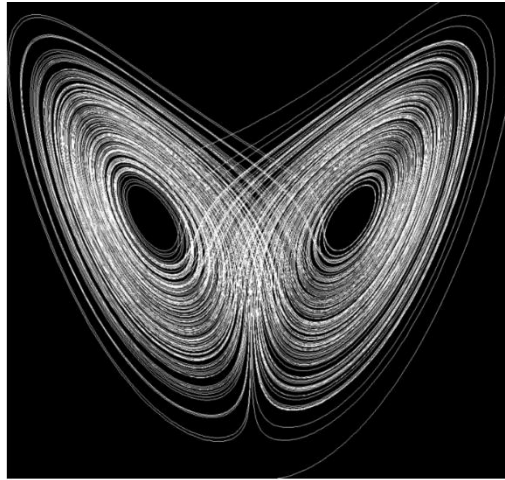
## 2.1 Kaos ve Fraktaller

Kaos ve fraktaller bir arada değerlendirilirken en çok göze çarpan öğelerden biri fraktallerin kaosun içinde yer alan düzeni açığa çıkartmasıdır. Kaosun içerisindeki düzeni fraktalleri kullanarak ortaya koymak bilimsel anlamda büyük bir yeniliktir. Çünkü hem fraktaller hem de kaos tanımı kompleksiteye dayanan terimler olmasına rağmen birlikte anıldıklarında belirli bir düzeni ve matematiksel bir ifadeyi oluşturmaktadırlar. Bu da bir anlamda fraktal tanımına kaosun geometrisi tarifini eklemiş bulunmaktadır.

### 2.1.1 Kaosun Tanımları

Kaos kelimesi, "Düzenli Evren" anlamına gelen "Kozmos" kelimesinin tam tersi olarak literatüre geçmiştir. Ancak kaosun kelime anlamıyla daha sonra bahsedilecek olan Kaos teorisi birbiriyle aynı kavramlar gibi gözükseler de aslında birbirleriyle zıt pek çok yanları da bulunmaktadır. Çünkü teoride bahsedilen kaos, düzensizlikten bir düzenin oluştuğunu savunmaktadır.

Düzensizliğin bir başka bakış açısıyla değerlendirilmesiyle ortaya çıkan "kaos" kelimesi pek çok bilim dalının birleşerek oluşturdukları tanımla açıklanabilmiştir. "Kaos, karmaşıklığın temelinde yatan muazzam ve hassas yapıyı yakalayabilmek için hem bilgisayar kullanımında özel bazı teknikler hem de birtakım özel grafik resim ve çizgi türleri üretmiştir" (Gleick, 1997, s.16).



Şekil 2. 2: Lorenz Attractor- Kaos Tanımı (Wilkinson, 1997).

Kaos karmaşıklığı da ifade ederken aslında varolan bütün yapılarda (doğal, yapay, sosyal...) gözlemlenebilir. Küçük ya da büyük sistemler içinde varolmaları kaosu kendi yapısıyla alakalı bir ipucu vermez. Kaos bulunduğu sistemi sadece düzensiz kılmaz. Düzenli sistemler de yaratabilir. Hatta kaosu kendisi aynı anda her iki davranış biçimini de sergileyebilir.

Kaos kelimesi en başta Yunanca'dan türetilmiş ve ilk haliyle;

\*Şansın ürettiği durumlar (farklı formların üretilmesinden önce ilkel maddenin karışık örgütlenmemiş durumu )

\* Mutlak bir karışıklık durumu olarak adlandırılmıştır. Yani popüler kaos kavramı rastgeleliğe eşdeğer bir anlam kazanmıştır. Bu matematiksel kaosu tanımına uygun olmamakla birlikte matematikte kullanılan asıl tanım deterministik kaostur.

Deterministik kaosta sistemlerin değişmesine yönelik görüşlerin ortaya çıkışı kaos teorisi ile başlamıştır. Sistemler açıklanabilirlikleri ve içeriklerine göre iki ana başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar basit ve karmaşık olarak adlandırılmıştır.

“Geleneksel görüşlere göre; basit sistemlerin davranışlarının da basit olup determinist denklemlerle anlaşılabilirliği, karmaşık sistemlerin ise istikrarsız, rastlantısal, öngörülemez etkilere açık oldukları ve farklı konulardaki sistemlerin davranışlarının da birbirinden farklı olduğu düşünülmektedir.” (Cramer, 1998, s.31)

Günümüzde sistemlerle alakalı yukarıda bahsedilenden farklı olarak başka değişik görüşler de bulunmaktadır. Basit sistemlerin kompleks sistem biçiminde davranışlar göstermesi; kompleksite (karmaşıklık) yasalarının, sistemi meydana getiren öğelerin detaylarından bağımsız, evrensel kabul edilebilirliği olan yapılar oldukları biçimde açıklanmaktadır (Şekil 2.2).

Sistemlerin kaotik olup olmaması oldukça fazla sayıda parametre girdileri ya da birden fazla lineer diferansiyel denklem gerekmesiyle açıklanamaz. Başlangıç şartlarına bağlılık gösteren, lineer olmayan, geriye etki eden, dönüşümlü sistemler kaotik olma ihtimalini taşıyan potansiyel kaotik yapılardır. Süreç esnasında oluşan global oluşumun, sürecin başındaki şartların en ufak detaylardan bile etkilenecek oluşmasına karşın öngörülemezlik özelliği taşır (Gleick, 1997; Cramer, 1998).

Kaosun bunlara ek olarak başka birçok tanımı yapılmıştır. Kaya'nın Kentsel Mekan Zenginliğinin Kaos Teorisi ve Fraktal Geometri Kullanılarak Değerlendirilmesi (2003) adlı yüksek lisans tezinde de belirttiği gibi bunlardan bazıları:

Kaosla alakalı tarihi değeri olan makale ve çalışmaları tek bir kitap haline getiren Hao Bai-Lin adlı Çinli fizik bilim dalı uzmanına göre: "Periyodikliği olmayan bir düzen türüdür."

Sardar (1999), kaosu; "Lineer olmayan determinist sistemlerdeki periyodik olmayan ve kararsız davranışın niteliksel yapısı" olarak tarif etmektedir.

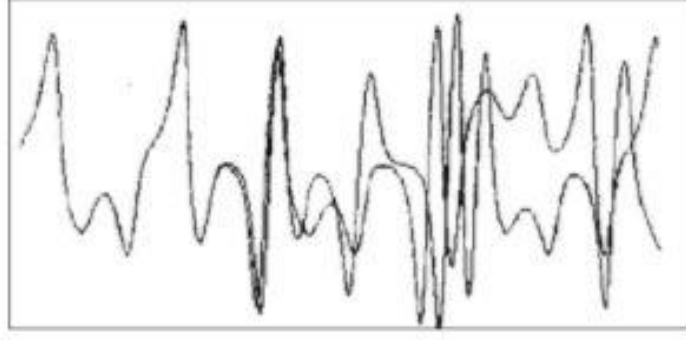
Amerika menşeli bir laboratuvarında çalışan H. Bruce Steward adlı empirik çalışmalar yapan bir fizikçiye göre; "Basit bir determinist sistemin içindeki gelişigüzel görünüşlü tekerrür etmesi muhtemel bir davranış biçimidir. "

Yale Üniversitesi'nde kuantum ve kaos teorisi çalışmaları yapan Roderick V. Jensen isimli teorik fizikçiye göre: "Determinist, nonlinear dinamik sistemlerin düzensiz, öngörülemeyen davranışdır. "

40 Santa Cruz Kulübü'nden James Crutchfield'ye göre: "Metrik entropisi pozitif fakat, sınırlı olan bir dinamik, yani enformasyon üreten ( küçük belirsizlikleri büyüten) ancak, öngörülmesi kesinlikle mümkün olmayan davranış biçimidir. "

Georgia Institute of Technology'den Joseph Ford'a göre: "Düzenin ve öngörülebilirliğin boyunduruğundan nihayet kurtulmuş bir dinamik... kendi bütün dinamik imkanlarını gelişigüzel araştırarak şekilde özgürleştirilmiş sistemler... Heyecanlandırıcı bir çeşitlilik, tercih imkanlarının zenginliği, fırsatların bolluğudur" (Hughes ve Attwell, 1999, Gleick, 1997).

Kaos değerlendirilirken beraberinde farklı kavramlara da yeni tanımlar getirmektedir. Özellikle bu kavramlar fraktal geometri çerçevesinde ele alındığında kaosun matematikteki yeri daha etkili olmuştur. Kaos teriminin fraktal geometri kapsamında ilk ele alınışı Edward Lorenz'in 1961 de oluşturduğu hava tahmin grafiği olmuştur (Şekil 2.3).



**Şekil 2. 3:**Lorenz Hava grafiği (Uçar, 2015).

“Bu tarihten sonra Kaos, bilim insanlarının dikkatlerini oldukça çeken bir konu olmuştur. Özellikle fizikçiler ve matematikçiler bu alanda ciddi çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Fizikçi S. Smale, matematikçi J. York, Lorenz’in makalesini keşfetmekle kalmamış, birtakım fiziksel olaylara uygulamıştır. Özellikle akışkanlarla ilgili olan bu fiziksel olayların özelliği düzensiz yapıda olmalarıdır” (Uçar, 2015, s.296).

Fraktaller ve kaos aynı zaman diliminde çakışmalar da gelişimleri birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleşmiştir. Kavramlar ilk ortaya çıktığında aralarında herhangi bir bağlantı kurulamasa da sonrasında birbiriyle olan yakın ilişkileri keşfedilmiş ve fraktal geometrinin temellerinden birini oluşturmuşlardır. Bird’e göre (2003) kaos ve fraktaller birlikte doğanın kilitli kalmış, tekrarlanan yüzünü ortaya çıkarmak adına en önemli iki anahtardır, doğa bilimlerinde yükselmekte olan engelleri aşmak için birlikte önemli bir rol oynarlar.

### **2.1.2 Fraktaller ve Tanımları**

Fraktal tanımı Latince dilimize geçmiş ve “fractus” kökünden gelmektedir. Dilimize çevrildiğinde parça, kırma, kırılma, kesir, kesirlere ait ve düzensizlik anlamlarının olduğu görülür. Fraktal (parçalanmış veya kırık) kelimesinden türetilen fraktal terimi, Polonya doğumlu matematikçi Benoit B. Mandelbrot tarafından geliştirilmiştir. Fraktaller, farklı ölçeklerde kendine benzeyen sonsuz karmaşık kalıplardır. Devam eden bir geri bildirim döngüsünde basit bir işlemi defalarca tekrarlayarak oluşturulurlar.

Fraktal, matematikte ilk olarak 1918’de matematikçi Felix Hausdorff tarafından ortaya atılmış ve genellikle “kesirli boyuta” sahip karmaşık geometrik şekiller sınıfından

herhangi biri olarak tanımlanmıştır. Fraktaller, kare, daire veya Euclid geometrisinin basit figürlerinden farklıdır. Dolayısıyla fraktal, kıyı şeridi ve sıradağlar gibi doğadaki düzensiz şekilli birçok nesneyi veya mekânsal olarak tekdüze olmayan fenomeni tanımlamaktadır. Pek çok fraktal, tam olarak olmasa da en azından yaklaşık olarak kendi kendine benzerlik özelliğine sahiptir. Kendine benzer bir nesne ise bileşen parçaları bütüne benzeyen nesnedir. Ayrıntıların veya desenlerin bu yinelenmesi, giderek daha küçük ölçeklerde gerçekleşir ve tamamen soyut varlıklar söz konusu olduğunda, sonsuza kadar devam edebilir.

Böylece her geometri parçası büyütüldüğünde, temelde tüm nesnenin sabit bir parçası gibi görülmektedir. Aslında, kendine benzeyen bir nesne, ölçek değişiklikleri altında değişmez kalır, başka bir ifade ile ölçekleme simetrisine sahiptir. Bu fraktal fenomen genellikle kar taneleri ve ağaç kabukları gibi nesnelerde tespit edilebilir. Bu türden tüm doğal fraktaller ve bazı matematiksel olarak kendine benzeyenler stokastik veya rastlantısaldır; böylece istatistiksel anlamda ölçeklenirler (Britannica, 2020).

Fraktaller şekillerin pürüzlülük ölçeğinde de incelenirler ve şeklin ne kadar pürüzlü, “kaba” olduğu nicel bir fraktal ölçütüdür. Fraktaller, büyütüldükçe detay zenginliği artan girintili çıkıntılı nesnelerdir (Pickover, 1995).

## **2.2 Fraktal Türleri**

### **2.2.1 Doğal fraktaller**

"Bulutlar küreler değildir, dağlar koniler değildir, kıyı şeritleri daireler değildir ve kabuk pürüzsüz değildir ve yıldırım düz bir çizgide hareket etmez." diyerek Mandelbrot, doğadaki her oluşumun içinde fraktallerin varolabileceğine dikkat çekmek istemiştir (1972). Doğadaki birçok oluşumda fraktallere rastlanmaktadır. Fraktallerden oluşan bu doğal oluşumların özünde kendine benzerlik özelliği yatmaktadır.

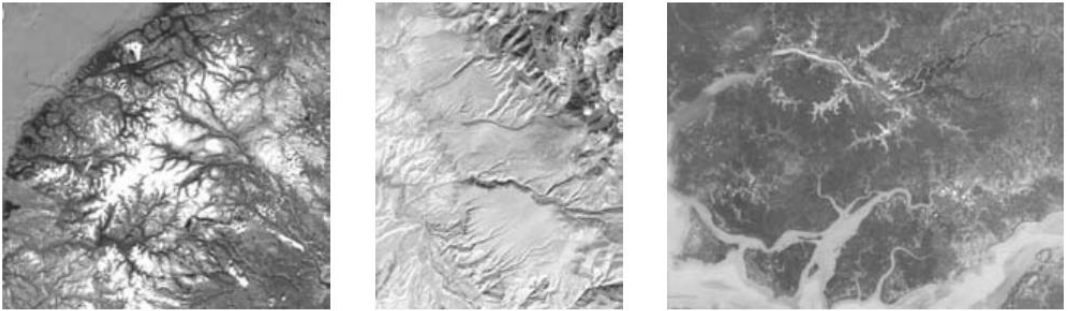
Doğada bulunan bazı oluşumların ve nesnelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapılarındaki tekrar sonucunda oluşan kendine benzerlik özelliği nedeniyle fraktal nitelikleri bulunmaktadır. Nitekim dağlar, nehirler, kıyı şekilleri, bulut, şimşek, ağaç dalları gibi yapılar detaylı şekilde incelendiğinde üç ya da dört çevrime kadar bu özellikleri görmek mümkündür.

Uyar ve Öztürk'e (2017) göre bir nehrin kara parçasındaki dağılımına topolojik olarak bakıldığında nehrin ayrılan kollarının oluşturduğu çatallanma son derece karmaşıktır. Fakat nehrin kollarına bakıldığında nehrin tamamına benzediği ve buna benzer görüntü sergilediği görülmektedir (Şekil 2.4).



**Şekil 2. 4:** Akarsunun Fraktal Yapısı (URL-1).

Fraktaller nehirlerin oluşumuyla ilgili çalışmalarda en az iki şekilde bulunmuşlardır (Frame, 2016). Dolambaçlı (menderesvari) akarsuların karmaşıklığı genellikle fraktaldır ve bu karmaşıklık, nehrin aktığı yer şekillerinin pürüzlülüğünün bir ölçüsünü verir. İkincisi, birçok nehrin havzaları, farklı nehirlerin havzalarını ayıran sırtların kıvrımlara ve onları yansıtan fraktal sınırlara sahiptir. Havzalar arasındaki gerçek karmaşık bağlar, fraktal geometri ile Euclid geometrisinden daha iyi modellendiğinden, fraktaller ekologlar ve kaynak yöneticileri için önemli bir araçtır. Daha küçük bir ölçekte, bazı nehirler şelaleri oluştururken şelalenin dallanma desenlerinde fraktal özellikler gösterir. Bunun nedeni de kayalardan fraktal üretim sistemine benzeyen fraktal şelalelerin oluşması ya da belki düşen suyun düzensizliğinin içindeki düzenden yani “kaosundan” kaynaklı olabilir (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).



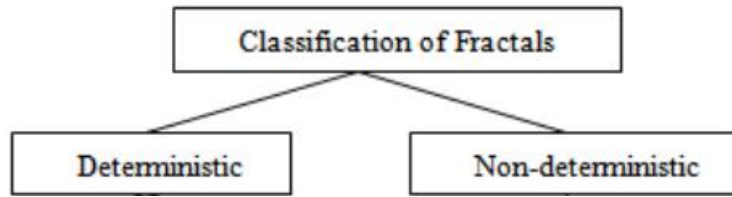
**Şekil 2. 5:** Norveç (ilk), Moğolistan (ikinci) ve Kuzey Afrika'dan (üçüncü) nehir ağları (Frame, 2016).



**Şekil 2. 6:** Fraktal şelale (Frame, 2006).

### 2.2.2 Yapay fraktaller

Yapay fraktaller ise doğadaki fraktal kurgularının incelenmesi ile oluşturulan yeni oluşumlardır. Bu fraktaller kendisine benzer yapıda ve tekrara sahiptir. Başlangıç formundaki dönüşüm kuralları ve matematiksel denklemlerle oluşturulmaktadır. Genellikle bilgisayarlar ile oluşturulan bu basit biçimler tekrar uygulaması ile karmaşık yapıya kavuşmaktadır. Yapay fraktalleri, oluşumuna göre deterministik fraktaller ve deterministik olmayan (random) fraktaller olmak üzere iki kategoride ele almak mümkündür.



**Şekil 2. 7:** Yapay Fraktallerin Sınıflandırılması (Vignesh,Kavitha, 2018).

#### 2.2.2.1 Deterministik Fraktaller

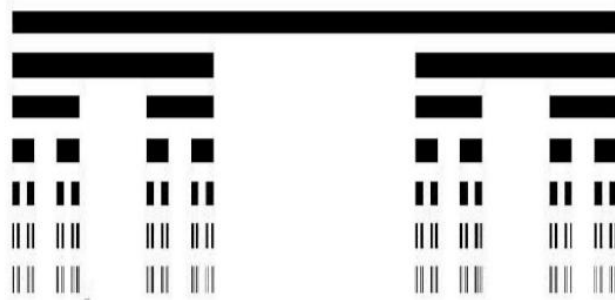
Düzenli fraktaller bir kural algoritmasının tekrarlanmasıyla veya belirlenen bir noktanın matematiksel bir denklemde kullanılmasıyla elde edilmektedir. Fraktaller kendisine benzer ve belirgin özellikler göstermektedir. Üretilmesi sırasında matematiksel teknikler kullanılmaktadır. Stamps'a (2002) göre düzenli fraktallerde farklı ölçeklerde aynı olan özellik geometrik bir şekildir, ancak şeklin boyutu, konumu

veya dönüşü farklı seviyelerde farklıdır. Sierpinski üçgeni ve Cantor setleri bu tip fraktalın bir örneği olarak gösterilebilir.

### Cantor Kümesi

Cantor kümesi, bir dizi derin özelliğe sahip tek bir çizgi parçası üzerinde uzanan bir noktalar kümesidir. 1874'te Henry John Stephen Smith (Stewart, 1997; Ferreirós, 1999) tarafından keşfedilen bu set 1874 yılında Alman matematikçi Georg Cantor tarafından tanıtılmıştır (Peitgen ve diğ., 2006). Cantor ve arkadaşları bu seti dikkate alarak, modern nokta kümesi topolojisinin temellerinin atılmasına yardımcı olmuşlardır.

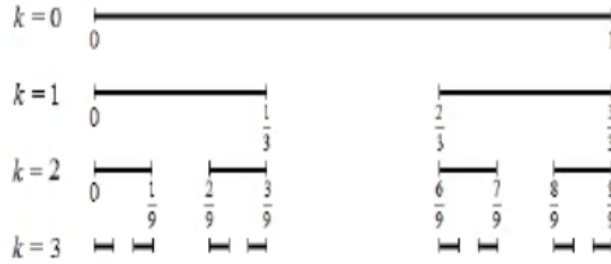
Cantor seti matematiğin birçok dalında, her şeyden önce küme teorisinde, kaotik dinamik sistemlerde ve fraktal teoride çok önemli bir rol oynamaktadır (Chovanec, 2010) Cantor üçlü seti,  $[0, 1]$  aralığındaki bu sonsuz süreçte hiçbir adımda silinmeyen tüm noktaları içerir. Bu şekilde bir kapalı aralıklar dizisi elde edilir. Sıfır adımda bir, ilk adımdan iki, ikinci adımdan dört, üçüncü adımdan sonra sekiz gibi. (Chovanec, 2010) (Şekil 2.8).



**Şekil 2. 8:** Cantor Üçlü Seti (Peitgen ve diğ., 2006).

Cantor setinde ortadaki çizginin üçte birini kaldırma işlemi, sonlu alt bölüm kuralının basit bir örneğidir. Bu yönüyle Cantor üçlü seti, fraktal serilere örnek teşkil etmektedir. Aritmetik terimlerle ifade edilirse Cantor kümesi,  $[0,1]$  birim aralığının üçlü (taban 3) kesir olarak ifade edilmesi için 1 basamağını gerektirmeyen tüm gerçek sayılarından oluşur. Şekil 2.9'daki diyagramın gösterdiği gibi, Cantor kümesindeki her nokta, sonsuz derinlikte ikili ağaçtan geçen bir yol tarafından benzersiz bir şekilde konumlandırılır. Bu noktada yol, noktanın silinmiş bir bölümün hangi tarafında olduğuna göre her seviyede sola veya sağa dönmektedir. Her sola dönüşü 0 ve her sağa dönüşü 2 ile temsil edilir. Bir puan için üçlü kesri verir. Bu kesirlerdeki "2"

rakamlarının "1" rakamlarla değiştirilmesi, Cantor kümesi ile  $[0,1]$  aralığındaki ikili kesirler kümesi arasında bir örten eşleme üretir.

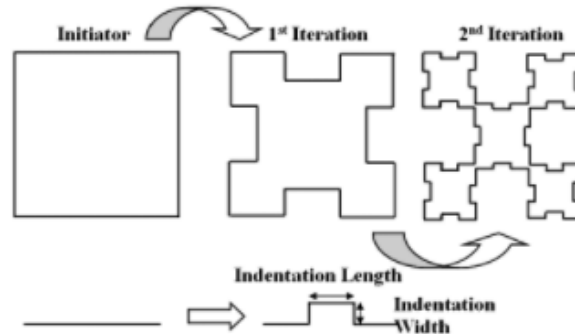


**Şekil 2. 9:** Cantor Üçlü Setinin Yapımının İlk Adımları (Chovanec, 2010).

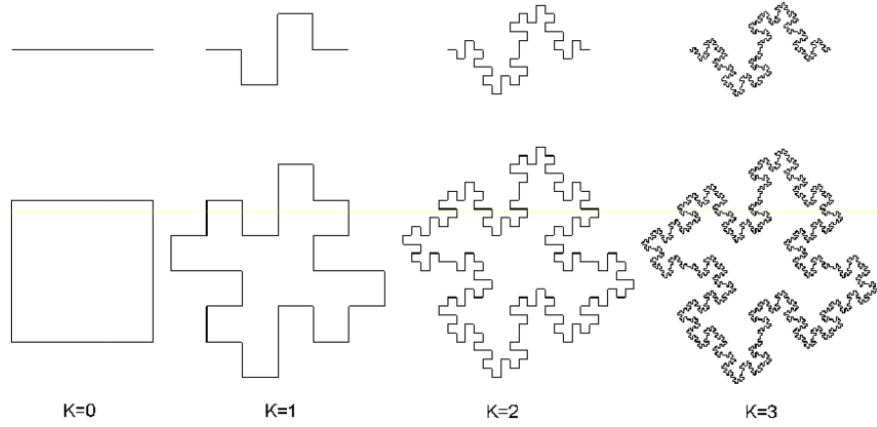
Cantor seti, hariç tutulmayan noktalar kümesi olarak tanımlandığından, kalan birim aralığın oranı (yani ölçü), çıkarılan toplam uzunluk ile bulunabilir.

### Minkowski Eğrisi

Minkowski eğrisi, ilk olarak Hermann Minkowski tarafından adlandırılmış bir fraktaldır (Addison, 1997). Mandelbrot, eğrinin kökeninin belirsiz olduğunu ancak yine de Hermann Minkowski'ye dayandığını belirtmektedir. Minkowski eğrisinin yapımı neredeyse tüm fraktal eğrilerinde olduğu gibi, yinelemeli bir prosedüre dayanmaktadır. Yinelemeli prosedür, Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Minkowski eğrisinin oluşturulması düz bir çizginin dört eşit parçaya bölünmesi ile başlamaktadır. Daha sonra ortada bulunan iki parça yerine tabanı bulunmayan zıt yönlü kareler yerleştirilmektedir. Başlangıcı düz bir çizgidir. Bu çizgi öncelikle başlangıç biçiminin  $\frac{1}{4}$  ü olan birbirine eşit sekiz parçadan oluşan bir üretici ile değiştirilir (Şekil 2.11). Aynı iterasyonlar tekrar ederek devam eder.



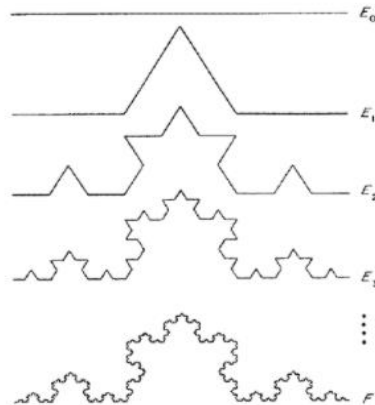
**Şekil 2. 10:** Minkowski fraktalının iterasyon diyagramı (Sankaralingam ve diğ., 2014).



**Şekil 2. 11:** Minkowski Adası fraktal yinelemeleri  $k=0, 1, 2, 3$  seviyeleri için. (Campos ve diğ., 2010).

### Koch Eğrisi

Koch eğrisi, aynı zamanda, Koch kar tanesi, Koch yıldızı veya Koch adası olarak da bilinir (Addison, 1997; Lauwerier, 1991). Fraktal bir eğridir ve tanımlanmış en eski fraktallerden biridir. İsveçli matematikçi Helge von Koch'un 1904 tarihli "On a Continuous Curve Without Tangents, Constructible from Elementary Geometry" başlıklı makalesinde yayınlanan Koch eğrisine dayanmaktadır. Koch kar tanesi, birden fazla aşamadan oluşan yinelemeli bir form olarak tanımlanabilmektedir. Öncelikle eşkenar üçgen oluşturulur ve birbirini izleyen her adım, bir önceki adımın her bir tarafına dışa doğru kıvrımlar eklenerek, daha küçük eşkenar üçgenler oluşturarak oluşturulur. Kar tanesinin yapımında birbirini izleyen aşamaların çevrelediği alanlar, orijinal üçgenin alanının yaklaşık 1,6 katına denk gelirken, birbirini izleyen aşamaların çevresi sınırsız büyür. En sonunda, kar tanesi sonlu bir alanı çevreler, ancak sonsuz bir çevreye sahiptir. Şekil 2.12'de Koch eğrisi oluşumuna ait çizimler gösterilmiştir.

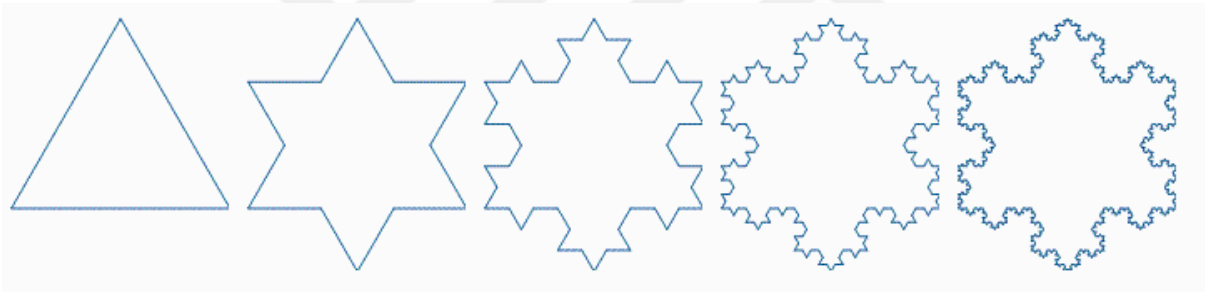


**Şekil 2. 12:** Koch eğrisinin oluşumu (Falconer, 1990).

Şekil 2.12’de gösterilen süreç aşağıdaki gibidir:

- Çizgi parçası eşit uzunlukta üç parçaya bölünür.
- Üçgenin tabanı olan doğru parçası kaldırılır.
- Kaldırılan kısım yerine tabanı olmayan bir eşkenar üçgen yerleştirilir.
- Bu süreç düzgün kısımları içeren eğri bulunana kadar devam ettirilir.

Koch kar tanesi, yukarıdaki adımlar süresiz olarak takip edildiğinden yaklaşılan sınırdır. “Başlangıçta Helge von Koch tarafından tanımlanan Koch eğrisi, orijinal üçgenin üç kenarından yalnızca biri kullanılarak oluşturulmuştur. Başka bir deyişle, üç Koch eğrisi bir Koch kar tanesi oluşturur. Nominal olarak düz bir yüzeyin Koch eğrisine dayalı bir temsili, benzer şekilde, her bir çizgi belirli bir açığa sahip bir testere dişi modelinde tekrar tekrar bölümlere ayırarak oluşturulabilir” (Alonso-Marroquin ve diğ., 2015, s. 92) (Şekil 2.13).



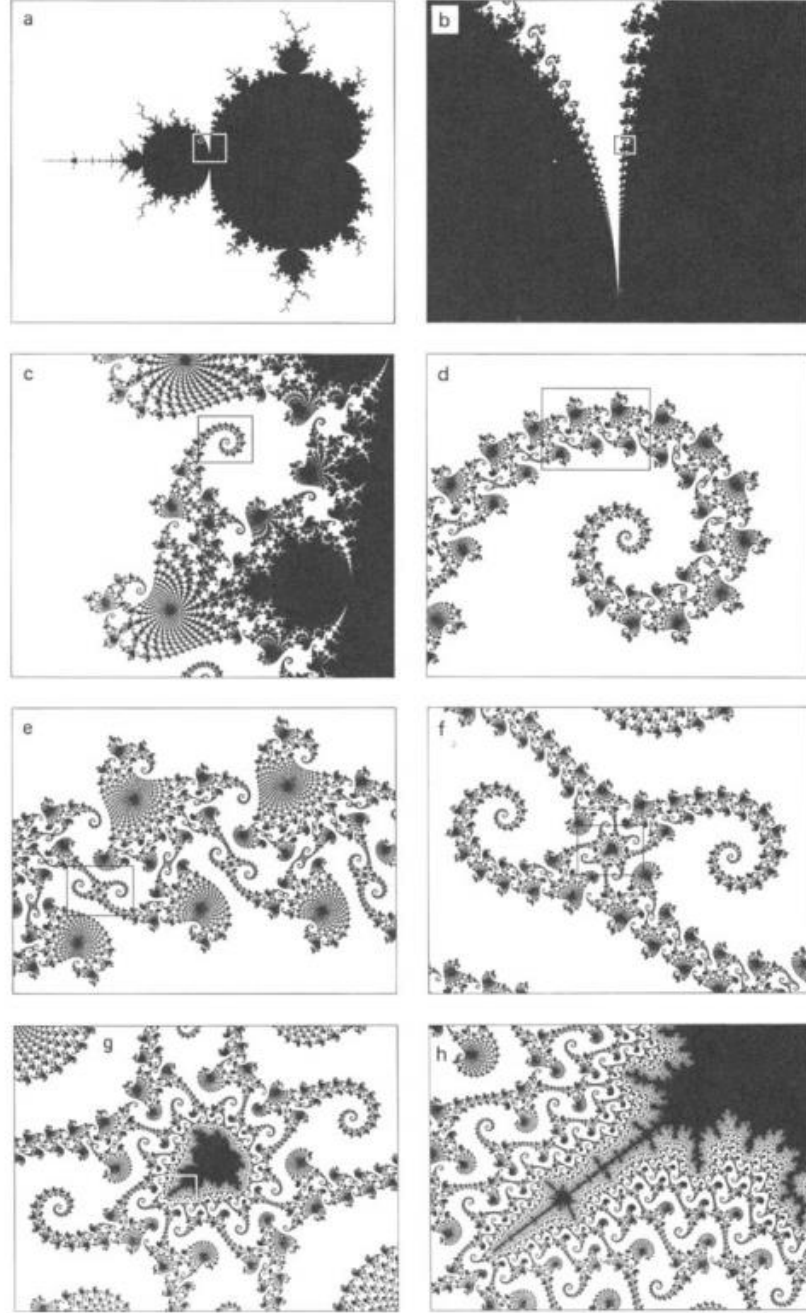
**Şekil 2. 13:** Koch kar tanesi iterasyonları şeması (Alonso-Marroquin ve diğ., 2015).

### **Mandelbrot Seti**

Mandelbrot seti, Julia setlerini tanımlamak için kullanılan aynı yinelemeyle tanımlanır, ancak farklı bir şekilde uygulanır. Mandelbrot setinin ilk göze çarpan özelliklerinden biri, çevresinin, her biri daha küçük kopyaların kendi tekrarlarıyla çevrili olan ve daha küçük ölçeklerde, sonu olmayan, tüm setin küçük kopyalarından oluşan bir desen ile doldurulmasıdır. Görünüşe rağmen, bu küçük kopyalar setin ana gövdesine, hala daha küçük kopyalardan oluşan bir dizi ile bağlanır. Yani, Mandelbrot seti bağlı bir settir. Mandelbrot setinin büyük doldurulmuş bileşenleri kararlı döngülere karşılık gelmektedir (Şekil 2.14).

Dikkatleri sadece gerçek sayılara sınırlayan Mandelbrot yineleme şeması, lojistik harita çatallanma (bifurkasyon) diyagramı ile ilginç bir ilişki ortaya koymaktadır

(Frame, 2005). Aynı işlevi yineleyerek belirlendikleri için, Mandelbrot ve Julia setlerinin ilişkili olması gözlemlenebilmektedir.

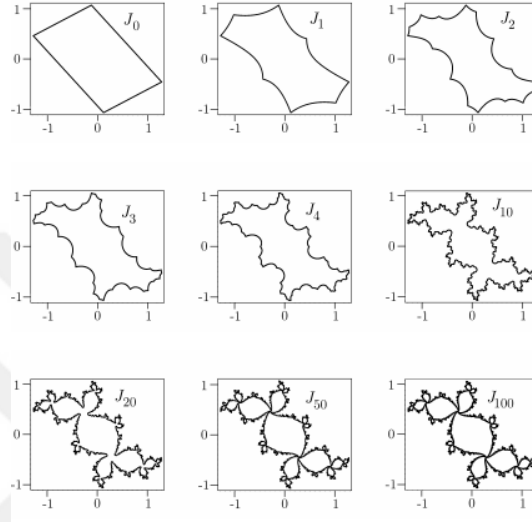


**Şekil 2. 14:** Mandelbrot setine 8 kere yaklaşılmış görüntü (Peitgen, 1988).

### Julia Seti

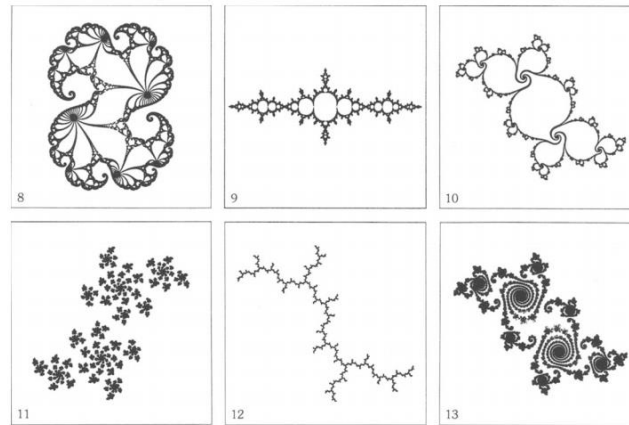
Julia setleri 1918’de Gaston Julia’nın keşfetmesiyle beraber onun adını almıştır. O ve Pierre Fatou karmaşık düzlemde yineleme teorisinin yaratılmasıyla anılmaktadırlar. Bir dizi oluşturmak için kullanılan yinelemeli bir işlev sistemindeki haritaların benzerlikler olması gerekmez.

Julia setleri, yapısını kontrol eden Mandelbrot setini çevreler. Mandelbrot kümesinin içindeki noktalara karşılık gelen Julia kümeleri birbirlerine bağlıdır. Belirlenecek olan parametreler ya da fonksiyon tanımları Mandelbrot kümesinin sınırını geçtiğinde, izole edilmiş noktaların kümeleri ayrılır. Bu durumda Julia kümesi, kendi kendine referans denklemini karşılayan boş olmayan kompakt bir Julia kümesi, C fonksiyonunun alt kümesidir (Şekil 2.15).



**Şekil 2. 15:** Julia Seti C aralığındaki oluşumu (Peitgen, 1988).

Julia setleri, fonksiyon  $x \rightarrow x^2 + c$  için karmaşık sabit sayı (c) içerir. Tüm ortaya çıkan görüntüleri ile birlikte sonsuz sayıda kararsız periyodik dizi içerir ve her şeyden önce, herhangi bir düzenliliğe asla yaklaşmayan kaotik nokta dizileri içerir (Peitgen, 1988).



**Şekil 2. 16:** Julia setlerinin Mandelbrot setlerinden üretilmiş C parametresine bağlı tipleri (Peitgen, 1988).

**\*8:**  $x \rightarrow x^2 + c$  işlemi için tipik Julia setleri

**\*8:** Parabolik durum; C'nin küçük bir değişimi ile, marjinal olarak kararlı sabit nokta

**\*9:** Parabolik durum  $c = -1.25$ ;  $c > -1.25$ ;  $c < -1.25$ :

**\*10:** Bir Cantor setine dönüşmeden kısa bir süre önce Julia setine bağlantısı

**\*11:** Fatou tozu

**\*12:** Dendrit şekli

**\*13:** C parametresinin küçük bir varyasyonu ile 10. Resimdeki görselin gelişen Cantor seti (Peitgen, 1988).

Şekil 2.16'da belirtilen örnekler olası tüm setlerin kapsamlı bir listesi değildir. C (karmaşık sabit sayı) parametresi için başka değerler de bulunmaktadır. Şekillerde gösterildiği gibi, Mandelbrot setinde az ya da çok ağ örüntüleri mevcuttur. Bu ağ yapılarını oluşturan denklemlerden birinden aynı c sayısı seçildiği zaman benzer şekilde şekillendirilmiş bir Julia seti elde edilir.

### Sierpinski Üçgeni

Kendine benzerlik kavramını anlamaya yönelik bir yaklaşım, geometrik bir ortamda yinelemeli bir kuralı uygulama becerisini de içerir. Bir çokgeni seçilen daha küçük ve daha küçük benzer çokgenlere tekrar tekrar bölümlenmek için bir yöntem sağlayan bir kuralla başlandığı varsayıldığında; Süreçteki her aşamada kural geriye kalan her çokgene uygulanmaktadır.. Birbirini izleyen aşamalar, süreç sonsuza dek tekrar tekrar tekrarlanırken sürekli olarak daha küçük benzer çokgenler üretir (Şekil 2.17). İlk çokgen için bir eşkenar üçgen düşünüldüğünde; Belirlenen kural aşağıdaki gibi uygulandığında,

**a kuralı:** kenarların orta noktalarını çizgi parçalarıyla birleştirmek

**b kuralı:** oluşan dört üçgenin orta üçgenini kaldırmak

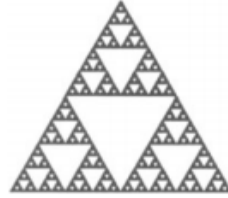
İlk aşamada, üç eşkenar üçgen ilk olanın yerini alır.

İkinci aşamada, kural bu üç üçgenin her birine uygulanır ve her birini daha küçük üç benzer üçgene böler.

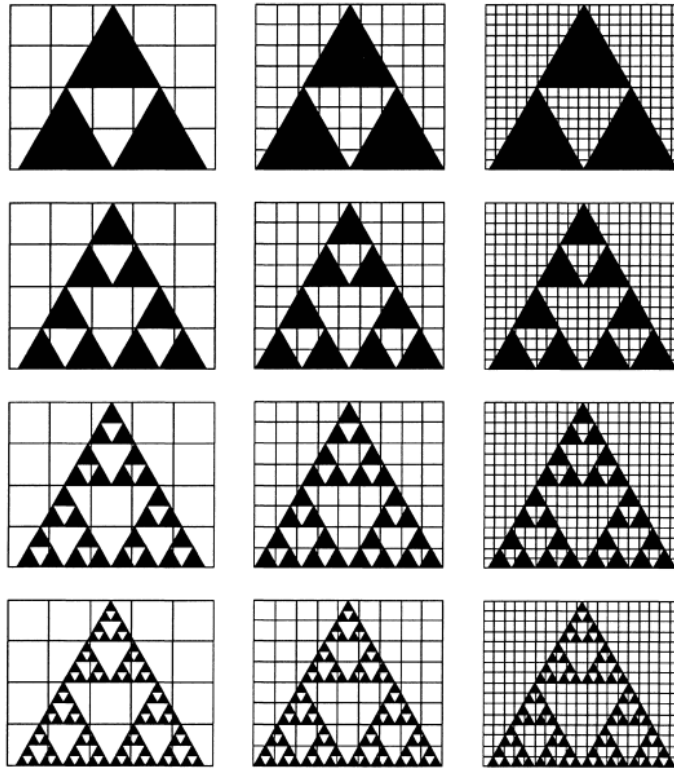


Şekil 2. 17: Bölünen Üçgenler (Ostwald ve Vaughan, 2016).

Yinelemeli sürecin bu şekilde devam ettirilmesi, çok gözenekli, üçgen bir şekle yol açmaktadır. Aslında yinelemeli süreçteki düzey (iterasyon) sayısı arttıkça, orijinal üçgenden kalan alanın sıfıra yaklaştığını göstermektedir. Tanımlanan türden sonsuz sayıda yinelemenin ürettiği nihai çokgene, bu nesneyi 1910'lu yıllarda inceleyen Polonyalı matematikçi Waclaw Sierpinski'nin adını taşıyan Sierpinski üçgeni denir (Şekil 2.18).



**Şekil 2. 18:** Sierpinski Üçgeni (Ostwald ve Vaughan, 2016).



**Şekil 2. 19:** Sierpinski Üçgeni Oluşum Şeması (Peitgen ve diğ., 1993).

Bahsedilen yapıyı kare bir şekle dayalı tekrar etmek kare bir fraktal yapı oluşturur. Bu iterasyon yapısı, Sierpinski Halısı adı verilen kare bir halıyı oluşturan ardışık aşamaları bulunan sayı desenlerine odaklanır (Şekil 2.19).

Kare halının yapımının ilk üç aşaması Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Sonraki aşamalarda, alt bölüm daha küçültülmüş bir şekilde diğer şemalar oluşturulur.



Şekil 2. 20: Sierpinski Halısı (Url-2).

#### 2.2.2.2 Deterministik olmayan fraktaller

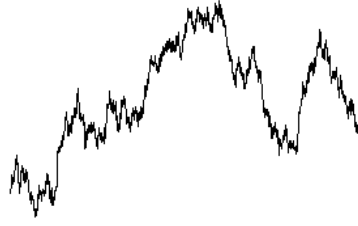
Fraktaller dünyada hem nesneler hem de süreçlerin zamansal etkileşimli ifade biçimi olarak ortaya çıkar (Frame, 2005). Gözlemlenen her örnek, sürecin çok sayıda küçük parçasının etkileşimleri nedeniyle, bir çeşit rastgelelik unsuru gibi görünen şeyleri içerir. Fraktal kıyı şeridini ya da borsayı yönlendiren binlerce ekonomik ajanın karmaşık etkileşiminde “rastgele” yani deterministik olmayan fraktaller sıkça gözlemlenebilmektedir. Sahip oldukları çeşitli istatistiksel özelliklerle çok çeşitli ortamlarda (bakteri kolonilerinden gökada kümelerine kadar) ortaya çıkan bu deterministik olmayan fraktaller, yeni bir bakış açısıyla (düzenden farklı olarak) fraktal tanımının alt başlığı haline gelebilmiştir.

#### Brownian Fraktal Hareketi

Öncelikli olarak Brownian hareketini tanımlamak gerekirse;

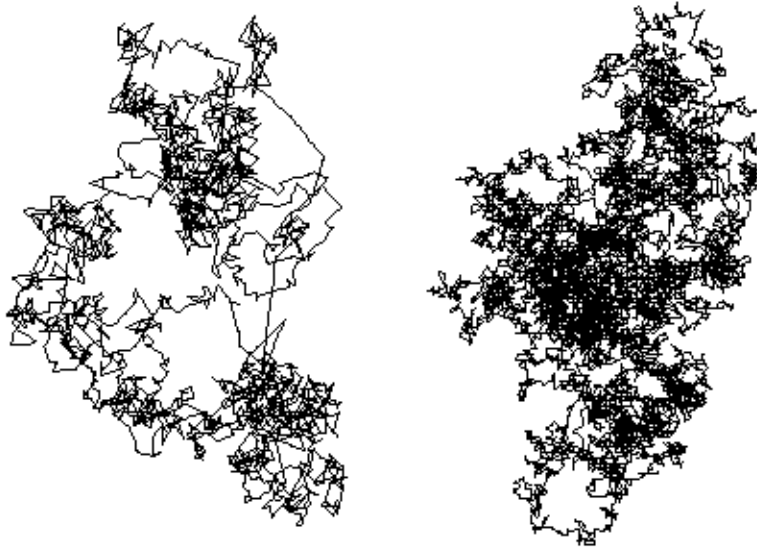
1820’li yıllarda bir mikroskop aracılığıyla Robert Brown, bir su damlacığında karmaşık bir dans gerçekleştiren polen parçacıklarını gözlemlemiştir. Daha sonrasında, hareketin polen yüzmesinden kaynaklandığı fikri, bir yüzyıl boyunca aynı ortamda tutulan (müze kasasında) çiçeklerden gelen polenlerin de benzer hareketler oluşturduğu fark edilince, aynı deney granit tozunun siyah ışık altında tekrarlandığı görülünce sadece polenlere ait bir hareket olduğu fikri ortadan kalkmıştır (Şekil 2.21).

Bu hareketin matematiksel teoride ilk uygulandığı Louis Bachlier tarafından kendi doktora tezi sunuşunda gözlemlenmiştir. Brownian hareketi aynı zamanda atomun keşfinde Einstein tarafından kullanılırken, Einstein’ın kuantum araştırmalarını da bir adım öteye taşıyan Jean Perrin tarafından kullanılmıştır. Bu hareket sayesinde Avogadro sayısı keşfedilmiştir.



**Şekil 2. 21:** Tek boyutlu Brownian Hareketi örneği (Frame, 2005)

Fraktal Brownian hareketindeyse BH (Brownian Hareketi) tarafından oluşan hareketlerin birbirlerine bağlı olduğu durumlarda gözlemlenir. 1960'lı yıllarda Mandelbrot ve Wallis tarafından yağış desenlerinden bir model ortaya çıkartılırken geliştirilmiştir (Şekil 2.22).



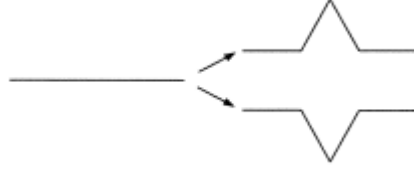
**Şekil 2. 22 :** İki boyutlu Brownian Hareketi (sol) ve İki boyutlu Fraktal Brownian Hareketi (sağ) (Peitgen, ve diğ. 2004).

### 2.2.2.3 Deterministik fraktallerden üretilen rastgele fraktaller

Düzenli bir fraktal yapıyı rastgeleleştirerek onu doğada karşılaştığımız şekillere benzetmek mümkün olmaktadır. Bu rastgele fraktaller, düzenli fraktallerde kullanılan kurallardan birine ufak bir değişiklik yaparak gözlemlenebilmektedir. En sık karşılaştığımız örnekler de Koch Eğrisi ve Sierpinski Halısı'nın fraktal yapısının değişiminde ortaya çıkmaktadır.

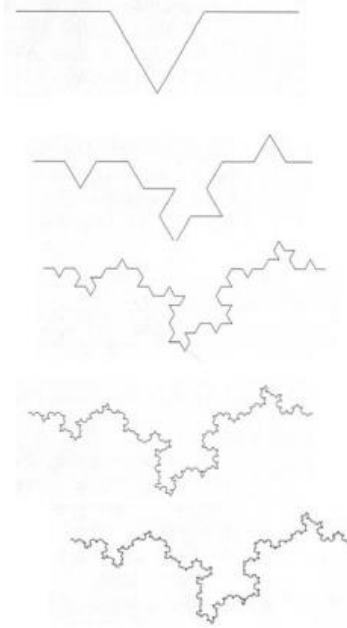
Koch eğrisinden ortaya çıkan Koch kar tanesi yapısına rastgeleliği dahil etmek için, klasik yapının içindeki kurallara sadece çok küçük bir değişiklik gerektirir. Düz bir çizgi parçasını daha önce olduğu gibi, her biri orijinal parça kadar üçte biri olan dört

parçadan oluşan kırık bir çizgi ile değiştirilerek elde edilmesi üzerine bir kural oluşturulur (Şekil 2.23'teki üst imajda mevcuttur).

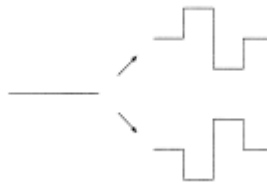


**Şekil 2. 23:** Koch kar tanesinin üretimi için iki farklı yöntem (Peitgen ve diğ., 2004).

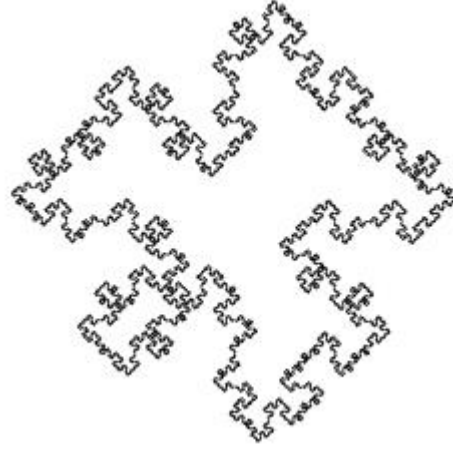
Uygulanacak iterasyon adımları, ilk başta seçilen kuralın farklı olması durumu dışında Koch eğrisini oluşturan kurallarla aynıdır. (Uygulanacak yeni kural şekil 2.24'te mevcuttur.) Bununla birlikte Sierpinski Halısı'nın oluşum kuralı değişmesiyle ortaya çıkan yeni desen Şekil 2.26 da gösterilmiştir. Kural değişikliği de Şekil 2.25'te mevcuttur.



**Şekil 2. 24:** Koch Eğrisinin farklı başlangıç kuralı rastgele oluşumu (Peitgen ve diğ., 2004).



**Şekil 2. 25:** Sierpinski Halısı'nın üretimi için iki farklı yöntem (Peitgen ve diğ., 2004).



**Şekil 2. 26:** Sierpinski Halısı'nın rastgele oluşumu (Uygulanacak yeni kural şekil 2.25'teki alt imajda mevcuttur.) (Peitgen ve diğ., 2004).

Fraktaller sadece fiziksel formlardan ziyade pek çok farklı model (mekansal ya da zamansal) olarak da karşımıza çıkabilirler. Genel olarak, fraktaller herhangi bir türde sonsuz ölçekli ve tekrarlanan desenler şeklinde görülebilir. Bu bağlamda, teorik fraktalların soyutlamalar olduğunun farkında olmak önemlidir, ancak ekran çözünürlüğü ile sınırlı dijital görüntüler gibi fraktal analizin konuları genellikle gerçek fraktaller değildir. Benzer şekilde, tipik olarak doğada bulunan sözde fraktallar sonsuz ölçekli değildir, bu nedenle, sonlu bilgisayar tarafından oluşturulan modeller gibi, en kapsamlı anlamda fraktaller yalnızca yaklaşık değerlerdir.

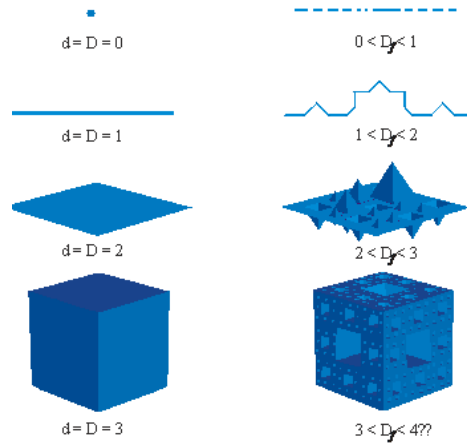
Tezin bu bölümünde yapay ve doğal fraktallerin incelenmesinin sebebi de, tez kapsamında yapılacak olacak analizlerin kent doğasının bir parçası olan yeşil alanların hem doğal fraktallere hem de yapay fraktallere örnek teşkil etmesinden kaynaklanmaktadır. Yeşil kent dokusunun zaman içerisindeki doğal oluşumu doğal fraktallere örnek olarak ele alınabilirken, insan müdahalesi ile şekillendirilmesi yapay bir olguya dönüştürür. Bu durum da kent bağlamındaki bu alanların her iki özelliğinden de bahsedilmesini gerekli kılmaktadır.

### 2.3 Fraktal Geometri

Geometri, matematiğin uzamsal ilişkiler ile ilgilenen alt dallarından biridir. (Eski adı: Hendese). Yunanca "Geo" (yer) ve "metro" (ölçüm) kelimelerinin kullanılmasıyla üretilmiş bir tanımdır. Geometri karşımıza ilk çıktığında Euclid geometrisi olarak yani bir başka adıyla klasik geometri olarak anıldığından, fraktal geometri tanımı Euclid'e göre biraz daha modern ve yabancı bir kavram olarak kalmıştır. İkisinin de kullanıldığı

alanlar farklıdır. Fraktal geometri, klasik geometri olarak adlandırılan Euclid'in yerini almaz ancak onu zenginleştirir ve bakış açılarını farklılaştırır. Fraktal geometri, boyut kelimesinin yetersiz kaldığı durumları tanımlamakla ilgilenirken temelinde ölçek değişiminden doğan durumları analiz etmek yatar. Bir şekil ya da deseni incelenirken, inceleme ölçeği değiştirildiğinde bu durum yaklaşımın hassasiyetini de değiştirmektedir. Bu da fraktal geometri için boyut kavramından daha çok bir nesnenin ya da şeklin yaklaşım oranına ve hassasiyete bağlı olan karmaşıklık değerini inceleme anlamına gelmektedir. Bu durumda boyut kelimesinin kapsadığı tanımdan daha geniş bir anlamı kapsamaktadır. Fraktal geometri hesaplama yöntemleri, bilişim alanlarında kullanılarak bunların her alandaki yapı birimlerini (asal sayı katlamalarından galaksilerin oluşumuna kadar) net bir şekilde sunabilir.

Euclid geometrisinde nesneler 1,2 ve 3 gibi tam sayı ile ifade edilen boyutlardan oluşmaktadır. Örneğin 1 boyutlu bir nesne olarak doğru, 2 boyutlu bir nesne olarak düzlem ve 3 boyutlu bir nesne olarak küp, düzenli bir geometri tipi olarak da tanımlayabileceğimiz Euclid geometrisindeki nesnelerdir (Şekil 2.27). Genel olarak kullanımına aşina olunan Euclid geometrisinin aksine fraktal geometri alışılmadık ve düzensiz şekil ve geometrilerden oluşur. “Fraktaller, formları hiçbir yerde düzgün olmayan, bu nedenle düzensiz olarak tanımlanan ve düzensizlikleri birçok ölçekte kendini geometrik olarak tekrarlayan tüm nesnelerdir” (Batty ve Longley, 1994).



**Şekil 2. 27:** Euclid Geometrisi ve Fraktal Geometri ( Alves, 2017).

Fraktal geometrinin ortaya çıkışıyla aynı dönemde Eisenman da mimarlıkta klasik geometri şekillerinin nasıl yapılacağıyla ilgilenmiştir. Klasik geometride öğrenilen

daire ve üçgen gibi şekiller pürüzsüz olsalar da fraktal geometriden çıkan şekiller sonsuz derecede karmaşık bir yapıya sahip olabilirler.

Bununla beraber fraktal geometri de tıpkı klasik geometride olduğu gibi hala şekil oluşturmak, şekilleri ölçmek ve şekilleri tanımlamakla ilgilidir. Dallas'a (2014) göre fraktal geometrinin bu denli önemli olmasının temelinde iki nedeni vardır. Bunlar; birincisi fraktal geometride şekillerin yapıldığı süreç şaşırtıcı derecede basittir; ancak klasik geometriden tamamen farklıdır. İkincisi ise klasik geometri bir şekli tanımlamak için formüller kullanırken, fraktal geometri yinelemeyi kullanır. Bu nedenle Pisagor, Platon ve Euclid gibi düzenli geometri tanımlarından kopar ve başka bir yöne yönelir.

Fraktallerle ilişkili temel kavramlar yıllarca matematikçiler tarafından çalışılmıştır. Ancak fraktal kavramı, fiziksel kimya, fizyoloji ve akışkanlar mekaniği gibi çeşitli alanlarda önemli bir etkiye sahip olan yeni bir geometri sistemine yol açmıştır.

Fraktal geometriden çıkan şekiller doğaya benzer. Bilindiği gibi, doğada mükemmel daireler veya pürüzsüz kareler bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra doğadaki formlara; ağaçlara, dağlara veya nehir sistemlerine bakıldığında, matematikte kullanılan hiçbir şekle benzememektedir. Ancak, birkaç kez yinelenen basit formüllerle, fraktal geometri bu doğal ve amorf şekilleri önemli bir doğruluk oranıyla modelleyebilir. Fraktal geometri bahsedilen modellemeleri veya şekil oluşumlarını kolaylıkla tanımlamaktadır. Bu özelliğiyle fraktal geometri, 20. yüzyıla kadar kullanılmakta olan Euclid geometrisinin tanımlamakta zorlandığı karmaşık oluşumların açıklanması için ortaya çıkmıştır.

Genel olarak fraktallerin geometride göze çarpan özellikleri incelenecek olursa bunlar 4 ayrı bölümde toplanmaktadır: Kendine benzerlik, öz yineleme, karmaşıklık ve fraktal boyuttur.

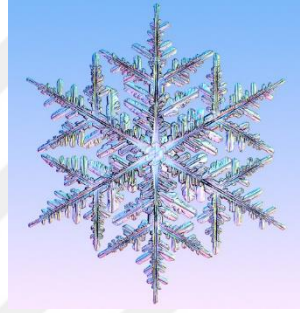
Karmaşıklık, genellikle doğal fraktallerde gözlemlenen bir özelliktir. Fraktal geometride bu özellikler şekil yapıları ile ilişkilendirildiği için karmaşıklık doğada bulunan desen ve şekilde fraktal yapı ve geometri daha çok hissedilen bir özelliktir (Lornell ve Westerberg, 1999).

Fraktal geometrinin barındırdığı karmaşık durumlar bir fonksiyon kümesi gibi ele alındığında ;  $x, f(x), f(f(x)), \dots$  gibi devam eden bir dizin olarak tanımlanabilmektedir. Dolayısıyla bu işlem sonsuza kadar yinelendiği için açık uçlu bir işlemdir. Burada ana şeklin sürekli olarak yenilenmesi söz konusu olmaktadır. Bu işleme kendine benzerlik

denilmektedir. İşleme ait örnekler Şekil 2.28 ve Şekil 2.29’da gösterilmiştir. Kendine benzerlik kavramı da fraktal geometri ile ortaya çıkmıştır. Çoğu fraktal ögede bu gözlemlense de her birinde kendine benzerlik durumu olmak zorunda değildir.

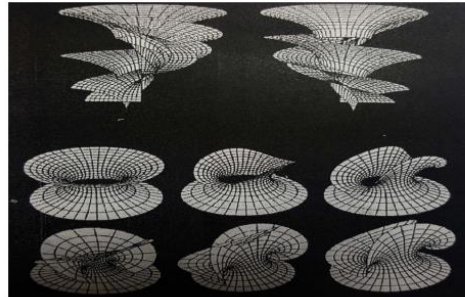


**Şekil 2. 28:** Doğada kendine benzerlik (Prunet ve Duncan, 2020).



**Şekil 2. 29:** Kar tanesinde kendine benzerlik (Url-3).

Dönmez’e (2002) göre fraktal geometrinin temel kaynağını matematiksel eski bir yöntem olan özyineleme veya tekrar oluşturmaktadır. Buna göre bir program, süs, mozaik veya fonksiyon kendi kendisini belirli bir sayıda ya da sonsuz sayıda çağırmaktadır. Buradaki her bir yineleme bir veya birden fazla parametreyi değiştirmekte ve bu sonsuz bir döngü karmaşık bağlantılarla açıklanmaktadır. Buna ilişkin şemalar Şekil 2.30’da gösterilmiştir.



**Şekil 2. 30:** Öz yinelemeli çalışmalar (Dönmez, 2002).

Özyineleme matematikte uzun zamandan bu yana kullanılsa da bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeyle birlikte bu konuda geliştirilen programlar nedeniyle kullanım alanının daha da arttığı görülmektedir. Çünkü insan eliyle özyinelemenin yapılması son derece sınırlı ve zordur. Normal geometride şekiller bir dizi kural ve tanımla tanımlanır. Örneğin bir üçgen, birbirine bağlı üç düz çizgiden oluşur.

Kurallar, üçgenin üç kenarının da uzunluğuna sahip olduğunda tamamen tanımlanmış olur. Ayrıca bir kenarın uzunluğuna ve karşılık gelen iki açı hakkında bir bilgi var ise, üçgen yine tanımlanabilmektedir.

Fraktal geometride ise şekiller kurallara göre tanımlanır, ancak bu kurallar klasik geometride olanlardan farklıdır. Fraktal geometride bir şekil iki adımda yapılır: İlk olarak, belirli (genellikle klasik olarak geometrik) bir şeklin nasıl değiştirileceğine dair bir kural koyulmaktadır. İkinci olarak, koyulan kural daha sonra şekle sonsuza kadar tekrar edecek şekilde uygulanır. Matematikte bir sabit sayı ya da algoritma değiştirildiğinde buna genellikle fonksiyon adı verilir. Bu nedenle bir fonksiyon bir şekle tekrarlı olarak uygulanır. Sonsuz sayıda tekrar ettikten sonra fraktal şekil üretilir (Dallas, 2014).

Fraktal geometri kapsamında özyineleme, fraktal yapının bir adımdaki sonucunun diğer adımın başlangıcı olduğu sürekli bir yenileme süreci olarak ifade edilmektedir. Bu tekrarlama sürecinde ulaşılan her bir sonuç sonraki işlem için yeni bir başlangıçtır. Fonksiyon bileşkeleri bu tekrarlama döngüsüne bir örnek olarak gösterilebilir. Fraktal geometriye ait yapılar Euclid yapılarından farklı olarak cebir formülleri yerine tekrarlama kuralları sonucunda oluşmaktadır (Kelly ve Allison, 1999). Bu özelliklerinin dışında Falconer (2004), bir yapıya fraktal geometrik yapı denilebilmesi için aşağıdaki özelliklere sahip olması gerektiğini ifade etmektedir:

- Mükemmel yapıya sahip olması gerekmektedir.
- Euclid geometrisinin tanımlayamayacağı kadar düzensiz olması gerekmektedir.
- Öz benzerliğe sahip olması gerekmektedir.
- Daha çok kesirli boyuttadır.
- Tekrarlama kuralıyla elde edilmektedir.

Fraktal geometri özellikleri kapsamında incelenen 2.3.2. Fraktal boyut kavramı detaylı olarak ele alınacaktır.

Fraktal geometri ile özdeşleşen bir başka konu ise Kaos Teorisi'dir. Bu teorelin fraktallere de ait olan karmaşıklık ve tekrarlılık gibi kavramları içermesi, birlikte anılmalarına neden olan etkenlerdendir.

### 2.3.1 Kaos teorisi

Kaos kelimesi, Türk dil kurumu (TDK) güncel sözlüğünde evrenin düzensiz yapısından yoksun, karışık ve uyumsuz durumu olarak ifade edilmektedir (TDK, 2020).

Kaos kuramı daha çok “düzensizliğin içindeki düzen” in (order of disorder) araştırması ile ilgilenmektedir” (Gürsakal, 2007). 19. yüzyılın sonlarına kadar doğal süreçlerle ilgili yapılan analizler kaos teorisinin ortaya çıkmasını hızlandırmıştır. Kaos teorisinin erken bir savunucusu Henri Poincaré olmuştur. Poincaré 1880'lerde yaptığı çalışmalarda üç cisim problemini incelerken, periyodik olmayan ve yine de sonsuza kadar artmayan veya sabit bir noktaya yaklaşmayan yörüngeler olabileceğini bulmuştur (Poincaré, 2017; Diacu ve Holmes, 1999). 1898'de Jacques Hadamard, "Hadamard'ın bilardosu" adı verilen, sabit bir negatif eğrilik yüzeyinde sürtünmesiz bir şekilde kayan serbest bir parçacığın kaotik 21 hareketine ilişkin etkili bir çalışma yayınlamıştır (Hadamard, 1898). Hadamard, tüm parçacık yörüngelerinin pozitif bir Lyapunov üssü ile katlanarak birbirinden uzaklaştığı için tüm yörüngelerin kararsız olduğunu göstermiştir.

Cramer (1998)'e göre “Doğrusal olmayan diferansiyel denklemler konusundaki daha sonraki çalışmalar George David Birkhoff, Andrey Nikolaevich Kolmogorov, Mary Lucy Cartwright ve John Edensor Littlewood, ve Stephen Smale tarafından gerçekleştirilmiştir.” Smale dışında, bu çalışmaların tamamı doğrudan fizikten esinlenmiştir. Yirminci yüzyılın ilk yarısındaki ilk kavrayışlara rağmen, kaos teorisi ancak yüzyılın ortasından sonra resmileşmiştir. Nitekim Maryland Üniversitesinde çalışan Jim Yorke tarafından bu çalışmalar kaos teorisi adı altında kavramsallaştırılmıştır (Cramer, 1998).

Kaos teorisi, kaotik karmaşık sistemlerin görünürdeki rastlantısallığı içinde altta yatan örüntüler, sürekli geri bildirim döngüleri, birbirine bağıllık, tekrarlama, kendine benzerlik, fraktaller ve kendi kendine organizasyon olduğunu belirten disiplinler arası bir teoridir. Kaos, doğrusal olmayan ve tahmin edilemez olan sürprizlerin bilimidir. Bu yönüyle beklenmeyeni beklemeyi öğretmektedir. Geleneksel bilimlerin çoğu

yerçekimi, elektrik veya kimyasal reaksiyonlar gibi tahmin edilebilir olduğu varsayılan olaylarla ilgilenirken, Kaos Teorisi türbülans, hava durumu, borsa, beyin durumları vb. gibi tahmin edilmesi veya kontrol edilmesi etkin bir şekilde imkansız olan doğrusal olmayan şeylerle ilgilenmektedir. Belirtilen bu fenomenler genellikle doğanın sonsuz karmaşıklığını yakalayan fraktal matematik ile tanımlanmaktadır. Manzaralar, bulutlar, ağaçlar ve daha birçok doğal nesne fraktal özellikler bulundurmakta ve içinde yaşanan sistemlerin çoğu karmaşık, kaotik davranışlar sergilemektedir. Örneğin, atmosferin karmaşık, kaotik dinamiklerini anlayarak, bir balon pilotu bir balonu istenen konuma yönlendirebilir. Bunun yanında ekosistemin, sosyal sistemlerin ve ekonomik sistemlerin birbiriyle bağlantılı olduğunu anlayarak, uzun vadeli refaha zarar verebilecek eylemlerden kaçınmak mümkün olabilir. Bu yönüyle bu teori oldukça faydası olan bir teoridir (Url-4).

Kaos teorisi geniş uygulama alanı bulunan bir yaklaşımdır. Günümüzde hemen her alanda uygulanan bu teori sayesinde farklı disiplinleri birbirinden ayıran engellerin aşıldığını söylemek mümkündür. Küçük gibi görülen nedenlerin kendisinden daha büyük sonuçlara yol açacağı düşüncesinden hareketle kaos teorisi karmaşa ve düzensizlikten çok düzenlilik içinde belirli bir düzeni, düzenli düzensizliği anlamaya dönüktür.

Fraktal geometrinin kaosta bir düzenin olduğu ve bu düzenin fraktal bağlamda açıklanabileceği yaklaşımı bu alanda önemli sonuçlar doğurmuş ve kaos teorisinin meteorolojiden ekonomiye, biyolojiden fizik ve jeofiziğe kadar farklı alanlarda kullanılmasına neden olmuştur.

Kaos teorisinin temel hipotezleri şu şekilde özetlenebilmektedir:

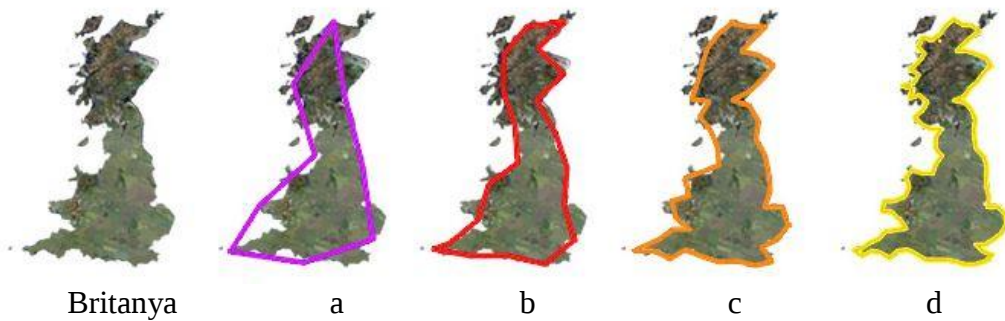
- \* Düzensizlik düzen yaratabilir.
- \* Her düzensizliğin içerisinde bir düzen vardır.
- \* Yeni düzende uzlaşım ve bağlanma, değişimin sonrasında kısa süreli olarak kendini gösterir.
- \* Ortaya çıkarılmış olan yeni düzende, kendiliğinden örgütlenen bir süreç aracılığıyla kestirilemez ve yatkın olduğu bir duruma doğru eğilim göstererek gelişir.

### 2.3.2 Fraktal boyut kavramı

Bir fraktalın en önemli özelliği, fraktal boyut ( $D_f$ ) adı verilen matematiksel bir parametredir. Euclid boyutundan farklı olarak, fraktal boyut genellikle tamsayı olmayan bir sayı ile ifade edilir, yani tam sayı yerine kesirle ifade edilir (Britannica, 2020).

Fraktal boyut, ayrıntılı değişimin ölçekteki değişime oranı olarak karmaşıklıklarını ölçerek fraktal desenleri veya kümeleri karakterize etmek için kullanılan bir indekstir. Teorik ve ampirik olarak çeşitli fraktal boyut türleri ölçülebilir. Mandelbrot'un fraktal boyut kavramını doğanın muazzam karmaşıklığını nispeten basit denklemlerde daha kesin bir şekilde ölçmeye çalışmak için geliştirilmiştir.

Bu tür karmaşıklığa ilişkin verilen en iyi örnek ise çok yukarıdan bakıldığında biraz buruşuk ve kıvrımlı görünen Britanya'nın sarp kıyısıdır. Buna göre bir gözlemci kıyıya yaklaştıkça kıyı şeridinin karmaşıklığı artar; Düzgün çizgiler pürüzlü hale gelir ve gözlemci kıyı boyunca her bir kum tanesinin konumlarındaki minik değişimi gözlemleyecek kadar yakın oluncaya kadar daha pürüzlü ve karmaşık hale gelir (Şekil 2.31 ve Çizelge 2.1).



Şekil 2. 31: Britanya Kıyıları (Url-5).

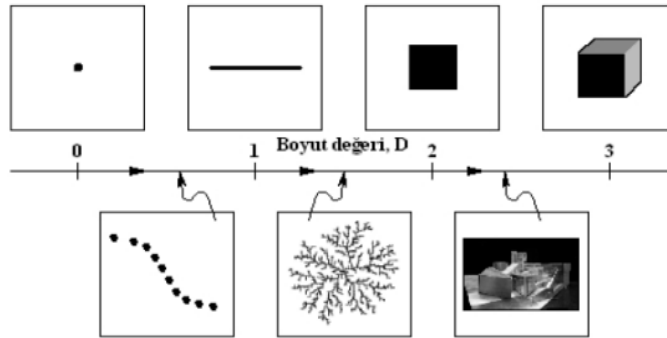
Çizelge 2. 1: Britanya kıyılarına ait çokgen kenar sayısı ve yaklaşma oranı.

| Şekil              | a   | b    | c    | d    |
|--------------------|-----|------|------|------|
| Kenar Sayısı(N)    | N:9 | N:19 | N:48 | N:97 |
| Yaklaşma oranı (r) | 1   | 2    | 4    | 8    |

Mandelbrot, Britanya kıyılarının basit bir geometriden daha pürüzlü ve karmaşık olduğuna ve bir çemberin çevresini tanımlayan basit bir tek boyutlu çizgiden daha farklı olduğuna inanmaktadır (Nogin, 1998).

Fraktal boyut da bu karmaşıklığı ölçmenin bir yolu olarak geliştirilmiştir (Nogin, 1998). Dünya üzerinde fraktal nesnelerin yanında klasik geometrik nesnelerin de boyutları algılama uzaklığına göre değişmektedir. Buna göre uzakta bulunan bir nesne nokta olarak algılandığı durumda söz konusu nesnenin şeklinin boyutsuz olduğu sonucuna varılır. Ancak nesneye yaklaşıldıkça öncelikle iki, daha sonrasında ise nesnenin üç boyutlu olduğu görülür.

Başka bir örnekte ele alındığında tek boyutu bulunan bir iplikten oluşan yumağın boyutu ona bakan kişinin bakış açısı doğrultusunda değişmektedir. Buna göre söz konusu yumağa uzaktan bakıldığında yumak bir nokta gibi görüleceği için sıfır boyutludur. Fakat yumağın yakınına gelindiğinde üç boyutlu olduğu görülmektedir. Daha yakından bakıldığında ise iplik görüleceği için nesnenin tek boyutlu olduğu görülmektedir. Fakat bu tek boyutlu iplik öyle bir şekilde sarılmıştır ki üç boyutu kullanmaktadır. Buna göre yumağın boyutsal değişimin bir sınırı yoktur. Bu değişim bir boyuttan diğer boyuta kesikli atlama şeklinde değil süreklilik içinde değiştiği için tam sayı ile ifade edilemeyen boyutlarda gerçekleşmektedir (Gleick, 1997) (Şekil 2.32).



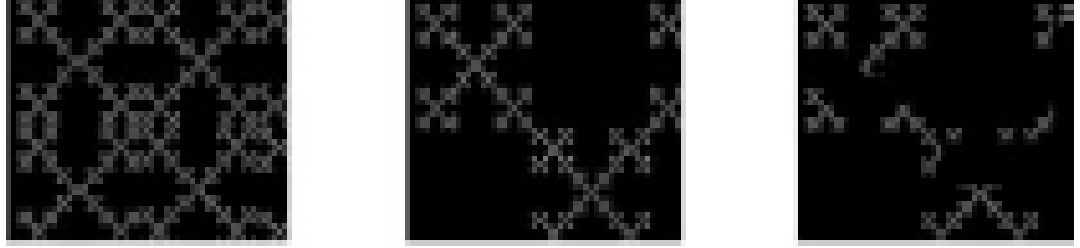
**Şekil 2. 32:** Fraktal boyutlu nesneler (Gleick, 1997).

Sonuç olarak nehir yatakları, dağlar, bulutlar ve yeryüzü yapıları gibi şekiller geometrik yapı itibari ile düz olmayan, pürüzlü ve pütürlü evren modelleridir. Bu tarz karmaşık ve kesirli boyutları bulunmayan geometrileri Euclid geometrisi ile açıklamak zordur. Tam bu noktada fraktal boyut, bu tarz şekilleri hesaplamak, betimlemek ve düşünmek amacıyla kullanılan bir araç olarak öne çıkmıştır.

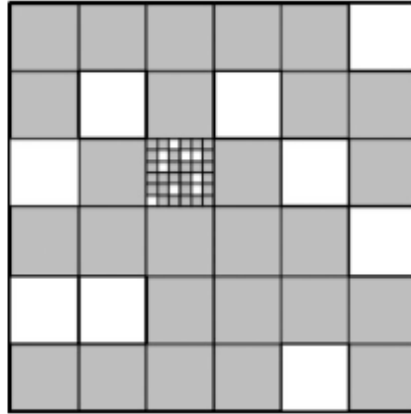
### 2.3.3 Lakunarite kavramı

Bir desenin(pattern) lakunaritesi o desenin bir nevi ne kadar düzgün ilerlediğinin bir ölçüsüdür. Bununla beraber desenin doluluk ve boşluklarının tanımlanması için de kullanılır.

Terim, "dokunun matematikçilerin ve bilim adamlarının kavrayamadıkları için kaçınma eğiliminde oldukları zor bir kavram olduğu" gözlemlenerek (Mandelbrot, 1982) bu şekilde tanıtılmıştır. Lakunarite (gözeneklilik), eksiklik, boşluk veya delik anlamına gelen, kökünü Latince'den alan "lacuna" kelimesinden türetilmiştir. Düşük lakunariteye sahip desenler nispeten homojen görünürken, yüksek lakunariteye sahip desenler büyük boşluklarla kaba ve öbeksal yığınlar halinde görünür (Şekil 2.33).



Şekil 2. 33: Düşük-Orta-Yüksek Lakunarite (Rosenberg, 2020).



Şekil 2. 34: Üç hiyerarşik seviyede lakunarite (Rosenberg, 2020).

İki nesne aynı fraktal boyuta sahip olsa da, yapıları çok farklı olabilir. Lakunarite, sadece yapısal olarak doldurulmamış boşluklar yüzdesini tanımlamak yerine, gözlem altındaki nesne üzerindeki delikler ve dağılımları ile daha fazla ilgilenir (Rosenberg, 2020)(Şekil 2.34). Bu boşlukluluk kavramının öne çıkmasından ötürü de Türkçe diline gözeneklilik tanımı olarak geçmiştir. Fraktal geometri yönünden bakıldığında da , iki fraktal nesne aynı fraktal boyuta (dB)sahip olsa bile, fraktal desen farklıysa farklı lakunariteye sahip olabilirler.

Kevin Lynch (1960)'a göre "Herhangi bir şehir, birçok bireysel görüntünün üst üste binen kamusal bir imajına sahiptir". Bu tanım bir bakıma fraktalli görünüm ve lakunarite kavramları kapsamında, bu görüntüyü nicel olarak ölçmenin bir yolu olarak

düşünülebilir. “Şehirler yaşayan sistemlerdir ve doğrusal olmayanlar, farklı ölçeklerde kendine benzerlik gibi fraktal özellikler şehirlerin varlığı için temeldir” (Bettencourt ve diğ., 2010). Bu hipotezleri ile fraktal boyut ve lakunarite (gözeneklilik)nin birbirlerinin tamamlayıcıları olduğu belirtilmiştir.

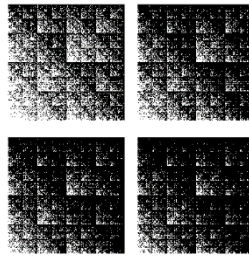
## 2.4 Çoklu Fraktaller ve Uygulamaları

Çoklu fraktal ölçümler, geometrik bir alan üzerinde fiziksel veya diğer miktarların dağılımının incelenmesi ile ilgilidir. Alan, sıradan bir düzlem, bir kürenin yüzeyi veya bir hacim olabilir veya kendisi bir fraktal olabilir (Feder, 1988). Çoklufraktal adı altında geliştirilen kavramlar Mandelbrot tarafından “türbülans” konusu tartışılırken ortaya çıkarılmıştır.

### 2.4.1.Eşit olmayan olasılıklar

Olasılıkların belirlenebilmesi için IFS (iterated functional system) yöntemiyle bir fraktal nesnenin parçaları nesne içinde yer alan kendilerine ait alanları farklı oranlarda doldurma kapasitesine sahiptirler (Frame ve diğ, 2005).

Diyagramlar aşağıda verilen olasılık miktarıyla oluşturulmuş ve bu süreç içerisinde zamanla karelerin içleri doldurulmaya başlanmıştır. Ardışık resimler 25.000 puanlık artışlarla gösterilmiştir. Yeterli kadar beklenildiğinde bütün kareler doldurulur, ancak bazı bölgeler diğerlerinden daha hızlı dolmuş olarak gözlemlenecektir.



**Şekil 2. 35:** Eşit olmayan olasılıklar (Frame ve diğ., 2005).

Yukarıda gösterilen diyagramdaki (Şekil 2.35) ilk şekilde;

IFS ve olasılıkları ile, tipik bir resimde, noktaların yaklaşık 0.1'i “adres” 1 olan karede ve noktaların yaklaşık 0.3'ü “adres” 2, 3 ve 4 olan karelerin her birinde yer alacaktır. Aynı şekilde, noktaların yaklaşık  $0.01 \cdot 0.01 = 0.1 \cdot 0.1$ 'i “adres” 11 olan karede, noktaların yaklaşık  $0.03 = 0.1 \cdot 0.3$ 'ü “adres” 12 olan karede yer alıp her iterasyonda bu şekilde devam edecektir.

## 2.4.2 Çeşitli Olasılık Histogramları

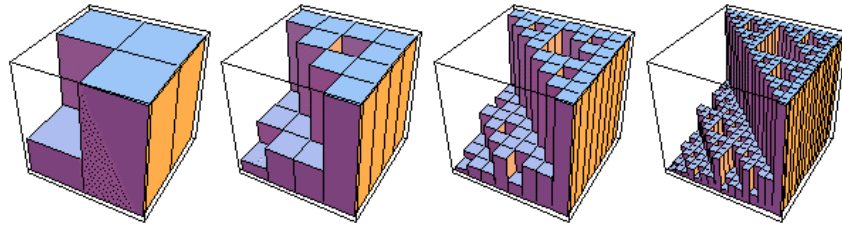
Her dönüşümün uygulanma olasılığı, dönüşüm tarafından belirlenen bölgedeki toplam yineleme sayısının kesirini temsil eder (Şekil 2.36).

|    |    |     |     |     |     |
|----|----|-----|-----|-----|-----|
| .3 | .3 | .09 | .09 | .09 | .09 |
|    |    | .03 | .09 | .03 | .09 |
| .1 | .3 | .03 | .03 | .09 | .09 |
|    |    | .01 | .03 | .03 | .09 |

Şekil 2. 36: Olasılıklar ve adresler (Frame ve diğ., 2005).

Daha büyük iterasyonlarla örneklendirecek olursak;

Üç boyutlu bir fraktal dizilimde; İlk dört nesil (generation), o bölgedeki noktaların kesirini temsil eden bir kutunun yüksekliği ile gösterilmektedir. Tüm resimler aynı yüksekliğe sahip olacak şekilde ayarlanırken, Şekil 3.23'te ilk şekil 4 noktanın 0.3'üne, diğer şekil 44 noktanın 0.09'una, en son şekil 444 noktanın 0.027'ine sahiptir (Şekil 2.37).



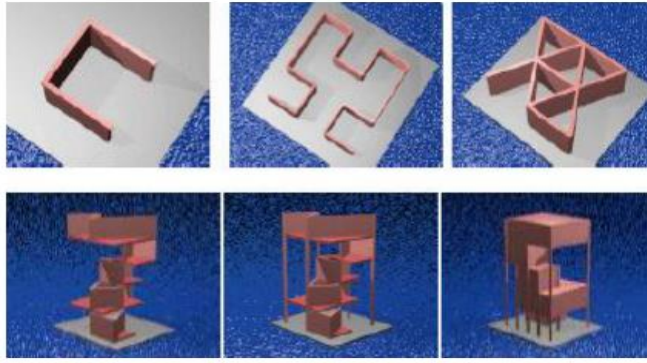
Şekil 2. 37: Olasılıklar ve çoklu çevrimli histogramların oluşumu (Frame ve diğ., 2005).

## 2.5 Fraktal Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları

Üretken sistemlerin parçası olan yapay fraktallerin oluşumunda kullanılan yöntemler bilgisayar destekli tasarım sisteminin bir parçası olarak mimarlık alanında günümüzde farklı tasarımcıların çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Gözübüyük, 2007). Çünkü doğadaki yapay zenginliğin mevcut dokularda bulunup bulunmadığı veya yerleşim yeri ile doğa arasında kurgusal bir bağın var olup olmadığını araştırmak fraktal geometri yöntemi ile mümkün hale gelmektedir. Dolayısıyla mevcut dokularda yeni tasarımların üretilmesi sürecinde fraktal geometriden faydalanmak söz konusu olmaktadır. Çünkü fraktal geometri karmaşık nesnelerin veya yapıların temsilinde

kullanılmaktadır. Bunun yanında fraktal geometri doğanın benzer karmaşa ve çeşitlilikteki formlarının üretilmesinde yol gösterici olmaktadır (Ediz ve Çağdaş, 2010).

Örneğin Krawczyk'nin geliştirmiş olduğu Hilbert bina blokları matematiksel fraktal kullanılarak oluşturulan algoritmaların benzeri bir yaklaşımla bina formu üretiminde kullanılmaktadır. Bu bloklar Hilbert'in alan verilerinden hareketle kurgulanan bir algoritma yardımıyla bina tasarımı yapılan bir program ile oluşturulmuştur. Söz konusu program fraktal geometrinin başlangıç ve üretici biçim özelliğinden faydalanılarak geliştirilmiştir. Üretici olarak değerlendirilen üç çizginin diğer çizgilerle birleşmesi ile yapının formu meydana gelmektedir. 90° dışında oluşturulan değerler yardımıyla gerçekleştirilen dönüşümlerde ise farklı alternatifler üretilmektedir (Gözübüyük, 2007). Günümüzde farklı coğrafyalarda üretken sistemlerin kullanıldığı fraktal mimariler ile karşılaşmak mümkündür.



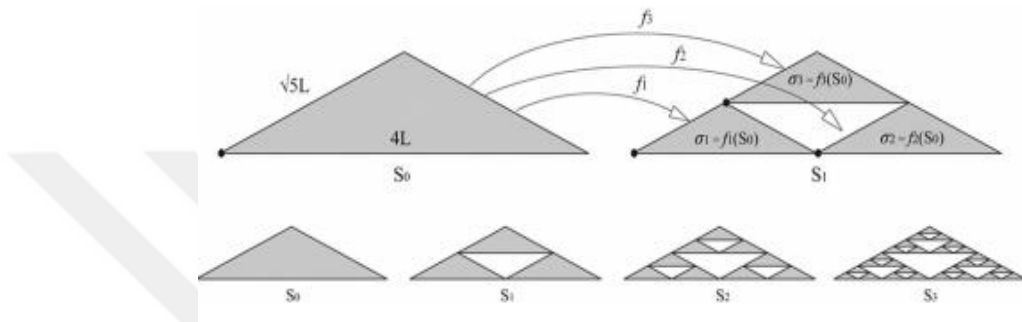
**Şekil 2. 38:** Hilbert Bina blokları (Krawczyk, 1995).

Özellikle mimari alanında üretken sistemleri ve fraktal geometrinin sentezini sıklıkla görmekteyiz. Varolan mimari doku içerisindeki yapıların ve doğal örüntülerin tasarımsal veri olarak ele alınarak, yeni formların, tasarımların veya dokuların üretilmesinde üretken algoritmalar yardımıyla oluşturulacak fraktal kurguların yol gösterici olabileceği öne sürülmüştür (Ediz ve Çağdaş, 2005)(Şekil 2.38).

Fraktal geometri, diğer düzenli ve geleneksel geometrik sistemler tarafından açıklanması ve çoğaltılması zor olan doğada birçok karmaşık şekli, ağı üretebilir ve modelleyebilir halde kullanılmaktadır. Bu kapsamda literatürde de yerini alan IFS(Iterated Function Systems) yani “yinelenen fonksiyon sistemleri” sayesinde bazı kurallar çerçevesinde daha iyi estetik görünüm sağlayıp, statik olarak da güçlü türlü kafes-ağ uygulamaları da yapılmaya başlanmıştır. Bu kafes uygulamaları daha ince

geometriye sahip olmalarına rağmen daha dayanıklı strüktürlerin elde edilmesinde büyük rol oynamaktadır.

Strüktürlerin oluşmasında pek çok fraktal yapıya göre üretimler yapılmıştır. Bunlardan en öne çıkanları; Sierpinski Üçgeni, Pinwheel Döşemesi ve Asayama Fraktalleri'dir. Şekil 2.39'da belirtilen Sierpinski üçgenini temel alan üretim yöntemi aynı Sierpinski'de olduğu gibi üçgenlerin onlardan daha küçük ve eş dört üçgene bölünmesiyle ve bu üretimin bu şekilde devam etmesiyle ortaya çıkmıştır.

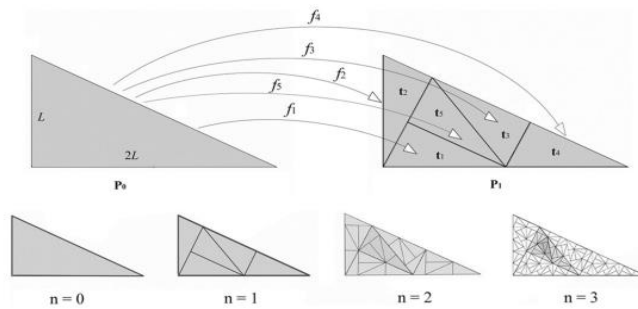


**Şekil 2. 39:** Sierpinski Üçgeninin kafes sisteme dönüşümü (Rian ve Sassone, 2014).

*\* $f_1, f_2, f_3$  IFS fonksiyonlarıdır*

*\*  $S_0, S_1, S_2, S_3$  yinelenmiş fonksiyonlar sonrasında ortaya çıkan fraktal kafes sistemleridir*

Şekil 2.40'da ifade edilen Pinwheel fraktal döşeme sistemlerinde, aynı üçgen karolar bir araya getirilir, kendine benzerlik özelliği taşıyan bu sistemde üçgenler periyodik olarak yerleştirilmez ve yüksek karmaşıklık özelliği taşır. Yönelimlerin sonsuz ve rastgele oluşuna örnek olmaktadır.

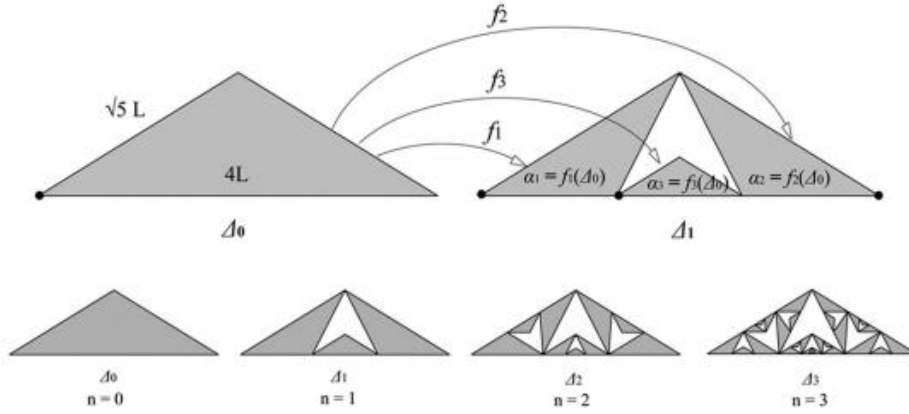


**Şekil 2. 40:** Pinwheel döşemesinin kafes sisteme dönüşümü (Rian ve Sassone, 2014).

*\* $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$  IFS fonksiyonlarıdır*

*\*  $n=0, n=1, n=2, n=3$  yinelenmiş fonksiyonlar iterasyon sayılarıdır (1-5-25-125...)*

Asayama fraktalleri de 2004 yılında Asayama ve Mae tarafından keşfedilip kafes sistemlerin üretiminde kullanılmaya başlayan bir başka yöntemdir (Şekil 2.41). Fraktallerin ilk yinelemeli figürü, ilk üçgenin ( $D_0$ ) kendine benzer üç kopyasının birleşmesiyle oluşmuştur. Konkav ve konveks büzüşmelerin olduğu üçgenleşme sürecinin sonucunda ortaya çıkan şekil, ilk şekil olan  $D_0$  üçgenindeki taban açılarının parametre olarak üretim denkleminde alınmasıyla oluşur. Bu parametreler değişkendir.



**Şekil 2. 41:** Asayama fraktallerinin kafes sisteme dönüşümü (Rian ve Asayama, 2016)

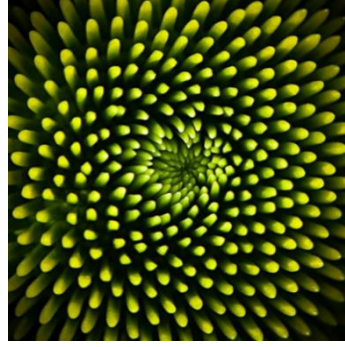
*\* $f_1, f_2, f_3$  IFS fonksiyonlarıdır*

*\*  $n=0, n=1, n=2, n=3$  yinelenmiş fonksiyon iterasyon sayılarıdır (1-3-9-27...)*

Fraktaller doğada bulunmakla beraber üretilmektedir. Bununla birlikte fraktal geometri , pamuk fiyatlarındaki dalgalanmaya, bulutların, kayaların oluşumuna veya kanın damar içinden akışından hava akımlarına, ses dalgalarının yayılmasından yeryüzü kabuğunun veya ormanların oluşumuna kadar çok çeşitli sistemlerin incelenmesinde kullanılabilmektedir (Prigogine, 1999).

Biomatematikçiler de bir yöntem olarak fraktal geometriyi araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Nitekim araştırmacılar niceliksel olarak kanser hücrelerini tanımlamada fraktal geometriyi kullanmışlardır. Kanser hücreleri düzensiz bir şekilde hangi ölçekte olursa olsun kendisini sürekli tekrarlamaktadır. Böylelikle incelenen kanser hücrelerine Fraktal boyut verilmekte ve bu boyutun düzensizliği ölçülmektedir.

Ayrıca fraktal geometri, Deoksiribo Nükleik Asit (DNA) dizisi, kalp atışı ve müzik gibi farklı ritim analizlerinde de kullanılmaktadır (Bunde ve Havli, 1994). Ediz'e (2003) göre bilgisayar grafiklerinin üretilmesinde de fraktal geometriden yararlanılmaktadır (Şekil 2.42).



**Şekil 2. 42:** Bilgisayar grafikleri ile oluşturulmuş Fibonacci sayısı baz alınan bir denizaltı yaşam formu (Url-5)

Resim sanatı, fraktal geometriden yararlanılan bir başka alandır. Fraktal resim, fraktal nesnelerin hesaplanması ve hesaplama sonuçlarının durağan görüntüler, animasyonlar ve medya olarak temsil edilmesiyle oluşturulan bir algoritmik sanat biçimidir. Fraktal resim 1980'lerin ortalarından itibaren gelişmiştir. Yeni medya sanatının bir parçası olan bir bilgisayar sanatı ve dijital sanat türüdür (Bovill, 1996). İsmi bilinen fraktal sanatçılar arasında Hamid Naderi Yeganeh ve Desmond Paul Henry bulunmaktadır. İngiliz sanatçı William Latham, eserlerinde fraktal geometri ve diğer tekniklerini kullanmıştır.



**Şekil 2. 43:** Fraktal resim örneği (Monnier, 2020).

Greg Sams ise kartpostallarda, tişörtlerde ve tekstillerde fraktal tasarımlar kullanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nden Vicky Brago Mitchell ise sergilerde ve dergi kapaklarında görünen fraktal sanatını yaratmıştır. Scott Draves ise alev fraktallerini ortaya çıkarmakla tanınmaktadır (Jackson, 2004). Fraktal kurgu teknikleri kullanılarak oluşturulan birçok resim örneği bulunmaktadır (Şekil 2.43).



### **3. FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

#### **3.2 Fraktal Boyut Hesaplama Yöntemleri**

Fraktal boyutun hesaplanmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler parçanın bütüne oranı ve parça sayısına bağlı şekilde oluşturulan matematiksel denklemlere dayanmaktadır. Kullanılan her yöntem kendine has olup, her birinin farklı ifade ediliş biçimleri vardır.

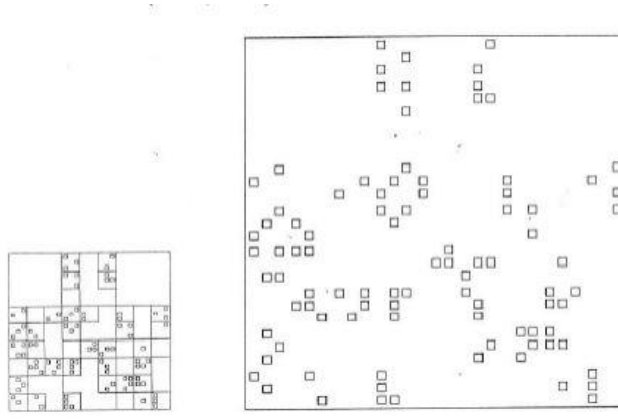
##### **3.2.1 Curdling yöntemi**

Curdling, Mandelbrot'un fraktal toz oluşturma süreci için önerdiği isimdir (Mandelbrot, 1982). Fraktal toz, bir küme özelliğine sahip, bağlantısız bir nokta kümesidir.

Yöntemin amacı, sonraki aşamalarda oluşturulan ve seçilen birimlerin alanı içindeki noktaların konsantrasyon düzeyini ve yoğunluğu, diğer birimlere uyum sağlamak için başlangıç biriminin daralma düzeylerini değerlendirmektir.

Başlangıç alanı içinde noktaların kümelerinin bulunduğu sonraki birim ağ bölümleriyle daraltılır. Mandelbrot, gökada ve yıldız kümelerini oluşturan süreç modelleme metodu olarak Curdling yöntemini önermektedir (Mandelbrot, 1982). Fraktal toz, ortak özellikleri veya bir grup şekli gösteren noktaların birbirinden ayrılmasına yardımcı olur. Gökyüzünün yıldız sistemlerinde rastgele gruplanmış gibi görünen sabit yıldız kümelerinin oluşumu, Curdling yöntemi ile netleştirilebilir (Bovill, 1996).

Curdling, iki ve üç boyutlu fraktal alanların oluşturulması için bir yöntem sağlar. Yöntem çok basittir. Boş bir kağıt parçası üzerinde bir ızgara düzeninin oluşturulması ile başlamaktadır. Ardından, ızgaranın her bir karesinin tutulup tutulmayacağına karar vermek için bir bozuk para, zar veya rastgele oluşturucu kullanılmaktadır. Burada genellikle madeni para kullanılması tercih edilmektedir. Madeni para en kolay yöntemdir. Sonra tutulan kareler tekrar bir ızgarayla bölünmekte ve bu işlem çizimin çözünürlüğüne ulaşılan kadar tekrarlanmaktadır (Bovill, 2000).



**Şekil 3. 1:** Curdling yöntemi ile üç seviyede kesmenin bir örneği (Bovill, 2000).

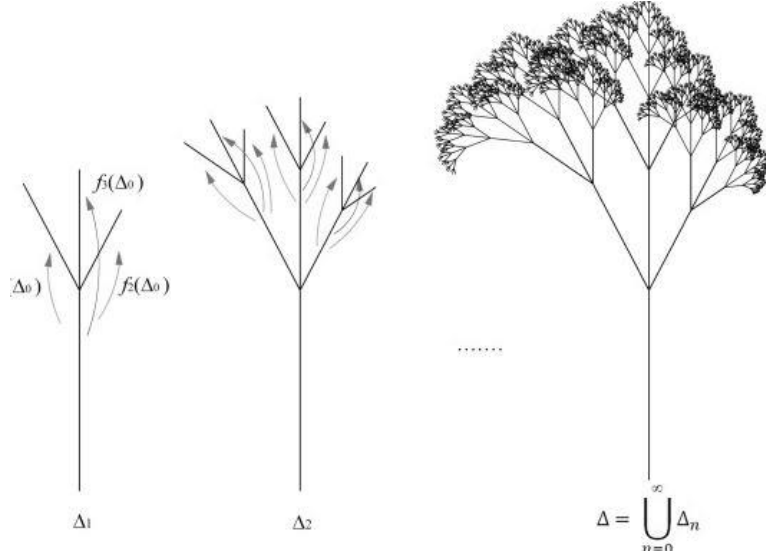
Şekil 3.1’de üç seviyede kesmenin bir örneği gösterilmektedir. Curdling yöntemi gözlemcinin kendi düzen yorumunu yansıtabileceği rastgele kümelenmiş bir yapıya sahip bir dizi nokta üretmektedir. Bu, Curdling’i yapım-söküm kavramının grafiksel yorumlarını keşfetmenin ideal bir yöntemi haline getirmektedir. Bir başka yöntemde ise her kare için ayrı ayrı geliştirilmiş olan ve yazı-tura olarak ifade edilen işlem yapılmaktadır.

Böylelikle kareler  $\frac{1}{2}$  olasılıkla gözardı edilmiş veya seçilmiş olmaktadır. Nitekim dokuzlu ızgaranın kullanıldığı durumlarda bu karelerden bazıları gözardı edilmektedir. İlk çevrimde işlemin bu şekilde tekrarlanmasının sonucunda ikinci çevrimde tercih edilen her kare de kendi içinde dokuz bölünmekte ve bu işlem tekrarlanmaktadır. Burada uygulanan ideal yöntem ise bu işleme son leke kalana kadar devam edilmesidir. Her bir çevrimde, sonraki çevrimde lekenin nerede bulunacağı ile ilgili bölge ayrılmakta ve bu bölge tercih edilmektedir (Ediz ve Çağdaş, 2010).

### 3.2.2 Kendine benzerlik Yöntemi

Fraktal yapıların en temel özellikleri bütün ölçeklerde kendine benzer nitelikler göstermeleridir (İbrahim ve Krawczyk, 2000). Kendine benzerlik, biçimsel yapının en küçük biriminin bütünü ile benzerlik ilişkisini ifade etmektedir (Bovill, 1996).

Bu yapının her bir ölçekte birebir benzer özellikleri göstermesi zorunlu değildir. Dolayısıyla bütün fraktal yapılar kendisine benzer veya en azından kendisine benzer özellikler taşımaktadır (Şekil 3.2).



**Şekil 3. 2:** Fraktallerde kendine benzerlik yöntemi (Rian, Asayama, 2016).

Daha önce de ifade edildiği gibi kendine benzer özelliğe sahip bir resim veya nesnenin detayına gidildikçe resmin bütünündeki kurgunun resmin detayında da olduğu görülmektedir.

Kendine benzerlik özelliği açısından Koch eğrisi iyi bir örnek olarak ele alınmaktadır. Bir yapıda kendine benzer özelliğin bulunduğunu söyleyebilmek için yapının kendisinin kopyası olabilecek rastgele küçük parçalara ayrılması gerekmektedir. Böylece yapının küçük parçaları yapının bütününden benzerlik transformasyonu yöntemi ile elde edilmektedir. Bu transformasyonu anlayabilmenin en temel yolu ise küçültme özelliği bulunan fotokopi makinasını hayal etmektir.

Küp (D3), kare (D2) ve çizgi (D1) için parça sayısı (a) ile küçültme faktörü (s) arasındaki kuvvet ilişkisi şu şekilde formüle edilmektedir:

$a=1/s$ .D Koch eğrisi açısından bakıldığında ve küçültme faktörünün 1/9 olarak belirlenmesi durumunda ise kendine benzerlik;

(D) değeri  $D = \log 4k / \log 3k$  ,  $D = \log 4 / \log 3$  formülü ile hesaplanmaktadır. Küçültme faktörü ile parça sayısı arasındaki kuvvet ilişkisinin değerlendirilmesinde kullanılan ölçekten bağımsız olarak aynı kendine benzerlik (D) değerini vermektedir.

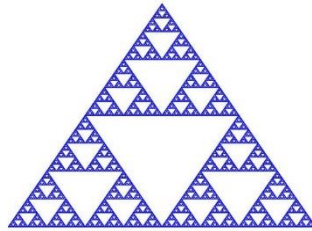
### 3.2.3 Hausdorf yöntemi

Fraktal boyut hesaplamalarında kullanılan en eski yöntemlerden biri olan Hausdorf boyutu yönteminin avantajı tüm kümeler için tanımlanması ve matematiksel uygunluğu ile farklı sistemler üzerinde kullanılmasının basit olmasıdır (Falconer,

1997). Hausdorff boyutu, 1918'de matematikçi Felix Hausdorff tarafından ilk kez tanımlanan pürüzlülüğün veya daha spesifik olarak fraktal boyutun bir ölçüsüdür (Gneiting ve diğ., 2012). Örneğin, tek bir noktanın Hausdorff boyutu 0, bir doğru parçasının 1, bir karenin 2 ve bir küpün boyutu 3'tür. Yani, düz bir şekli veya sahip olan bir şekli tanımlayan nokta kümeleri için kullanılmaktadır. Hausdorff boyutu, topolojik boyut olarak da bilinen olağan boyut duygusuna uyan bir tam sayıdır.

Hausdorff boyutu, daha spesifik olarak, belirli bir küme ile ilişkili olan ve bu kümenin tüm üyeleri arasındaki mesafelerin tanımlandığı başka bir boyutsal sayıdır. Böyle bir kümeye metrik uzay denilmektedir. Bu boyut ilişkili olmayan daha sezgisel boyut kavramının aksine, genişletilmiş gerçek sayılardan alınmıştır. Genel metrik uzaylar ve yalnızca negatif olmayan tam sayılardaki değerleri alırlar. Matematiksel terimlerle, Hausdorff boyutu, gerçek bir vektör uzayı boyutu kavramını genelleştirir. Yani,  $n$  boyutlu bir iç çarpım uzayının Hausdorff boyutu  $n$ 'ye eşittir. Bu durum düzensiz kümelerin tamsayı olmayan Hausdorff boyutlarına sahip olabileceği şeklindeki ifadenin temelini oluşturmaktadır (Larry, 2014). Hausdorff boyutu metrik uzaydaki diskler yardımıyla örüntülerin boyutunun hesaplanması düşüncesine dayanmaktadır. Nesneler arasında mesafeye dayalı ilişkiler metrik ve nesnelerin yer aldıkları uzaylar ise metrik uzay olarak ifade edilmektedir. Metrik uzay nesneler ile diskler arasındaki mesafelerin ünite cinsinden hesaplanmasında yararlanılmaktadır. Diskler, nesnelerin üzerini kapatabilmek amacıyla kullanılan nesnelerdir. Öklit olmayan en yaygın metrik uzay ise Manhattan metriğidir. Manhattan metriğinde meydan ve bloklar koordinat sisteminde gösterilmektedir. Böylelikle meydanların ve blokların oluşturdukları mesafe tanımlanmaktadır. Bunun yanında metrikler kendi içlerinde komşuluklar da oluşturmaktadırlar.

Bir Sierpinski Üçgeni için Hausdorff yöntemi ile yapılmış olan fraktal boyut hesaplaması Şekil 3.3 ile gösterilmiştir.



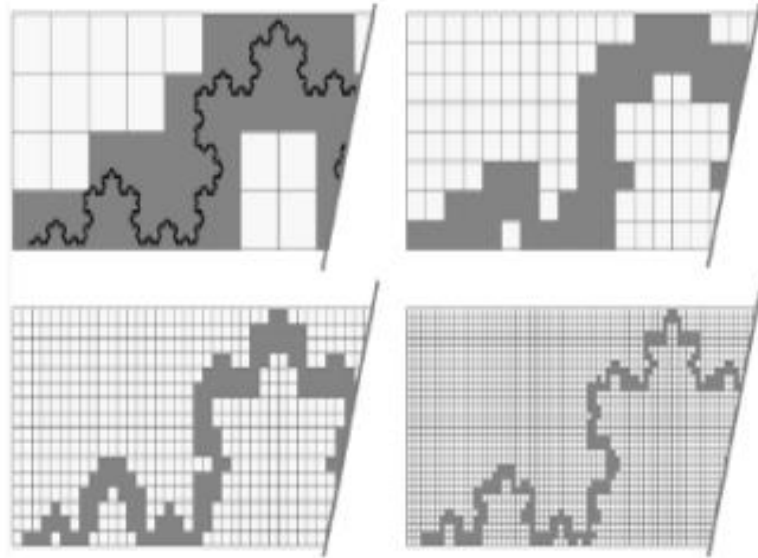
**Şekil 3. 3:** Sierpinski üçgeni,  $\log(3)/\log(2) \leq 1.58$  Hausdorff boyutuna sahip bir nesne (Clayton, 1996).

### 3.2.4 Kutu sayma yöntemi

İki boyutlu şekiller için fraktal boyutun hesaplanmasında kullanılan yaygın bir yöntemdir. Doğal ve yapay yapılar, bir yinelemeden diğerine aynılık sunmazlar. Bu durum bu yapıların eşit parçalara ayrılmadıkları anlamına gelir. Ancak bu yapılar çok fazla çeşitlilik sunarlar. Bu tür nesneler için Öz-Benzerlik Boyutunun (D) hesaplanması mümkün değildir. Dolayısıyla bu tür varyasyon şekillerine ait olan yükseklikleri tanımlamak ve karşılaştırmak için başka bir yöntemin kullanılması gerekmektedir.

Kutu sayma yöntemi yükseklik ve pürüzlülük hesaplamaları için kullanılabilecek bir metottur. Bu yöntem, görsel olarak fraktal boyutun pürüzlülük derecesinin ifadesi olduğu, yani bir nesnenin ne kadar dokuya sahip olduğu gerçeğine dayanmaktadır (Bovill, 1996).

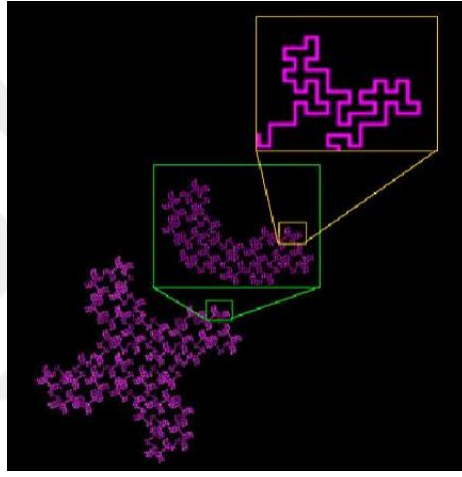
Kutu sayma yöntemi bir nesnenin farklı ölçeklerdeki pürüzlülüğünü karşılaştırır ve böylece bir yapının karmaşıklığını ölçmeye izin verir. Kutu sayma yöntemi ile ölçülecek görüntünün üzerine bir ağ yerleştirilir ve onu kaplayan kutu sayısı sayılır. Daha sonra ağın altındaki kutuların ters sayısı ile tanımlanan ağ boyutu azaltılır ve kutu sayısı tekrar sayılır (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4: Kutu Sayma Yöntemi (Lorenz, 2009).

Bu yöntem fraktal analiz, bilgisayar sistemleri, beyin ve sosyal ağlar gibi hem doğal hem de yapay sistemlerde bulunan ve ağ biliminde alanın daha da geliştirilmesine izin veren karmaşık ağların incelenmesinde kullanılmaktadır. Kutu sayma yöntemi bir veri

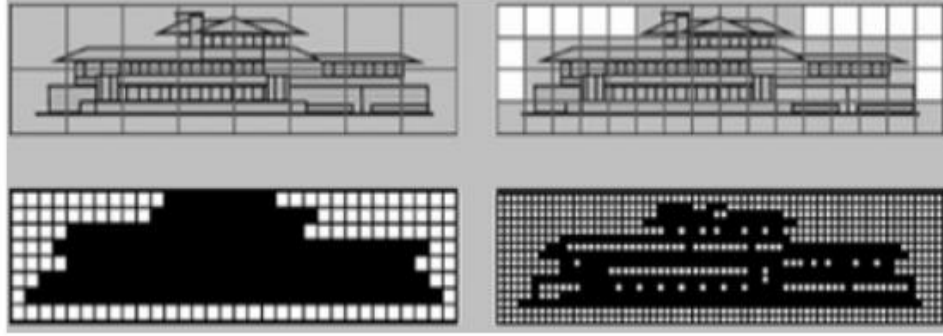
kümesini, nesneyi, görüntüyü daha küçük parçalara, tipik olarak "kutu" şeklinde parçalara bölerek ve her küçük ölçekte parçaları analiz ederek karmaşık kalıpları analiz etmek için kullanılan veri toplama yöntemidir. İşlemin temelinde detayları gözlemlemek için ve ölçek farklılaştıkça nasıl değiştiğini inceleyebilmek için optik veya bilgisayar tabanlı yöntemler kullanarak yakınlaştırma veya uzaklaştırma içermektedir. Bununla birlikte, kutu sayımında, bir merceğin büyütme veya çözünürlüğünü değiştirmek yerine, nesneyi veya deseni incelemek için kullanılan ögenin boyutu değiştirilmektedir (Şekil 3.5). Bilgisayar tabanlı kutu sayma algoritmaları 1, 2 ve 3 boyutlu uzaylardaki desenlere uygulanmıştır (Liu ve diğ., 2003; Smith, 1996).



**Şekil 3. 5:** Farklı boyutlardaki "Kutular" aracılığıyla görüntülenenen 32 bölümlü dörtlü fraktal (Liu ve diğ., 2003; Smith, 1996).

Kutu sayma yöntemi temelde bazı kalıpları fiziksel olarak araştırmak için kullanılabilmesine rağmen, genellikle dijital ortamdan çıkarılan kalıplarda kullanılmak üzere teknik yazılımda uygulanır. Ayrıca Iannaccone ve Khokha (1996)'ya göre "Kutu sayım yönteminin lakunarite (gözeneklilik) ve multifraktal analiz gibi ilgili alanlarda da uygulaması bulunmaktadır." Teorik olarak, kutu sayma yönteminin amacı, fraktal ölçeklendirmeyi ölçmektir; ancak pratik bir bakış açısıyla bu, ölçeklendirmenin önceden tahmin edilmesini gerekli kılar. Bu durum doğru göreceli boyutlardaki kutuların seçilmesi ile, desenin kendini daha küçük ölçeklerde nasıl tekrar ettiği kolayca gözlemlenebilir. Buna ek olarak fraktal analizde, ölçeklendirme faktörü her zaman önceden bilinmez, bu nedenle kutu sayma algoritmaları, ölçeklendirme faktörünü ortaya çıkaracak bir modelin optimize edilmiş bir yolunu bulmaya çalışır (Iannaccone ve Khokha, 1996).

Bu yöntem bir nesneyi tamamıyla tarayabilecek kutu sayısı kadar hücre sayısını hesaplamaktadır. Yöntem uygulamada bir nesnenin üzerine yerleştirilmiş düzenli kutucukların uygulanması ile ve dolu olan kutuların sayılması ile oluşur. Daha sonra tamamen dolu veya kısmen dolu hücrelerin belirlenmesi ile devam eder. Uygulamada hücre kombinasyonunun grafiğe dökülmesi kutu boyut hesabının yapılmasını sağlar.



**Şekil 3. 6:** Robie Evi (Lorenz, 2009).

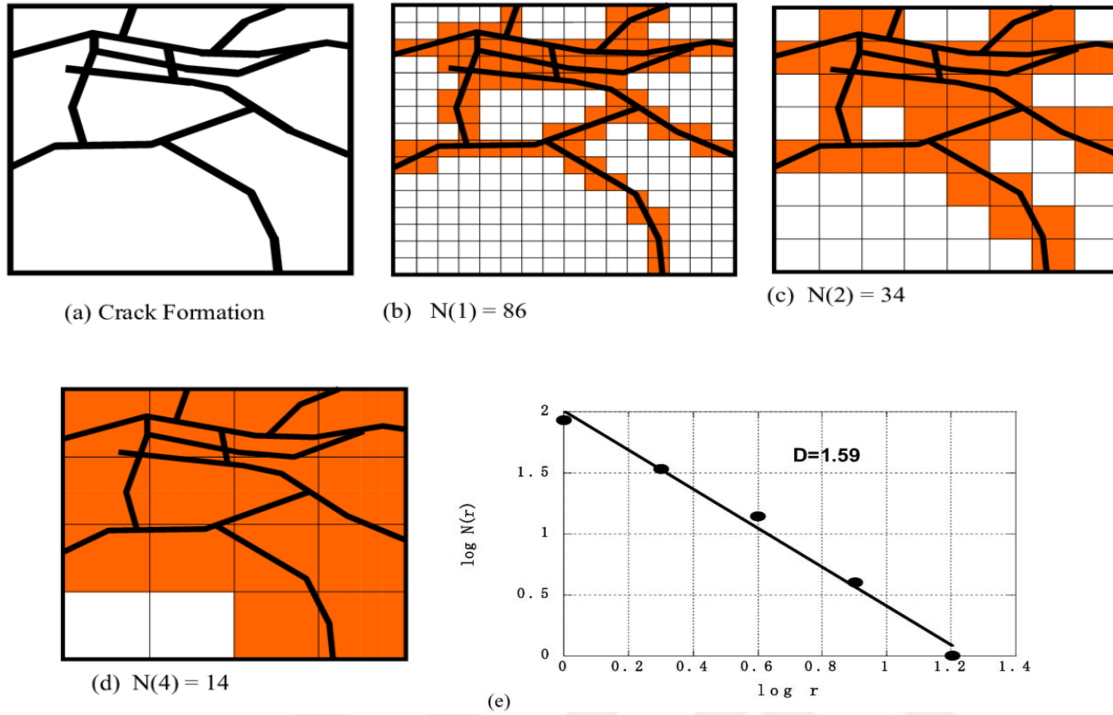
Şekil 3.6'da Frank Lloyd Wright tarafından tasarlanan Robie House'un farklı ölçüm setleri gösterilmektedir. Her set farklı ayrıntı zenginliği sunmaktadır. Daha büyük ağ boyutlarının ölçümleri, genel bakıştan ve daha küçük ağ boyutlarına ait olanlar tuğlalardan elde edilir. Odak aralıkları, tek ölçüm noktalarının ölçek ve dolu kutular arasındaki bağlantıyı gösteren doğrusal değiştirme çizgisinin üzerinde veya en azından yakınında olduğu her grafiğin parçası tarafından belirlenir (Foroutan ve diğ., 1999).

Şekil 3.7'de gösterilen bilgisayar ortamında bir kutu sayma yönteminde  $e$ ,  $b$  ve  $n$  parametreleriyle belirli bir  $x$  seviyesine,  $x_{\max}$ 'ta yapay bir kırılma deseni oluşturarak başlar. Daha sonra,  $r = \beta - j$  gibi  $r$  uzunluğundaki daha küçük ve daha küçük kare ızgaraların üzerine oturtulur. Burada  $j$ , kutu sayma yineleme seviyesidir.

Eğer  $\beta = b$  ise, o zaman  $j = x$  ve  $j_{\max} = x_{\max}$ , burada  $j_{\max}$  kutu sayma yinelemelerinin maksimum sayısıdır. Minimum ızgara boyutu daha sonra  $r_{\min} = l_{\min} = 1/b_{i_{\max}} = 1/\beta j_{\max}$  ile verilir, burada  $l_{\min}$  belirli bir desende en küçük kırılma uzunluğudur. Bu uzunluk aynı zamanda desendeki en küçük fraktal elemanın boyutunu vermektedir.

Bununla birlikte, eğer  $\beta < b$  (genellikle olduğu gibi) ise, o zaman  $J > x$  ve kırıkların artık ayırt edilemeyeceği sınırlayıcı kutu boyutu,  $r_{\min} = 1/b_{i_{\max}} + 1$ 'den sonsuz küçük bir miktarla daha büyük olacaktır. Bu durumda,

$J_{\max} = \text{int}[(x_{\max}+1)\log(b)/\log(\beta)]$ , burada int (tamsayı), gerçek bir sayıyı en yakın tam sayıya yuvarlayan bir komut olarak düşünülmesi gerekmektedir.



**Şekil 3. 7:** Fraktal kutu sayma yöntemi gösterimi (Mihashi ve diğ., 2006).

### 3.3 Lakunarite Hesaplama Yöntemleri

Lakunarite (gözeneklilik), Cantor bulutuna (Cantor setinin çok boyutlu bir versiyonudur) ait iki farklı yöntemle belirtilmiştir.

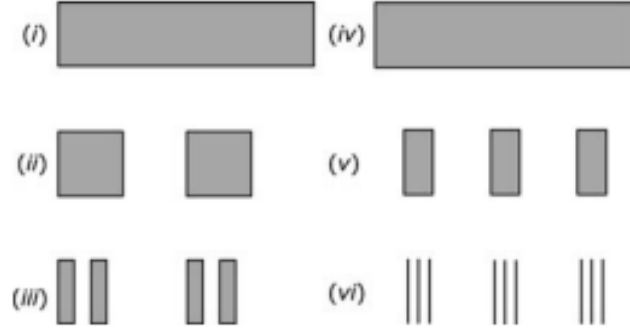
$$dB = \log(2) / \log(1/(1/4))$$

$$= \log 2 / (2 \log 2) = 1/2$$

İkinci yöntemde ise şekil 3.7'deki dikdörtgenle (i) aynı olan dikdörtgen (iv) ile başlanır. Dikdörtgeni (iv) dokuz eşit büyüklükte parçaya bölerek devam edilir ve sadece ikinci, beşinci ve sekiz parça saklanır, diğer altı parçayı atarak (v) ortaya çıkartılır. (v) deki her parça daha sonra dokuz eşit büyüklükte parçaya ayrılır ve sadece ikinci, beşinci ve sekizinci parçayı saklayarak, diğer altı parçayı atarak (vi) oluşturulur. Bu işlem de sonsuz iterasyon ile çalıştırılırsa ortaya çıkan fraktal boyut:

$$dB = \log(3) / \log(1/9)$$

$$= \log 3 / (2 \log 3) = 1/2 \text{ (Rosenberg, 2020).}$$

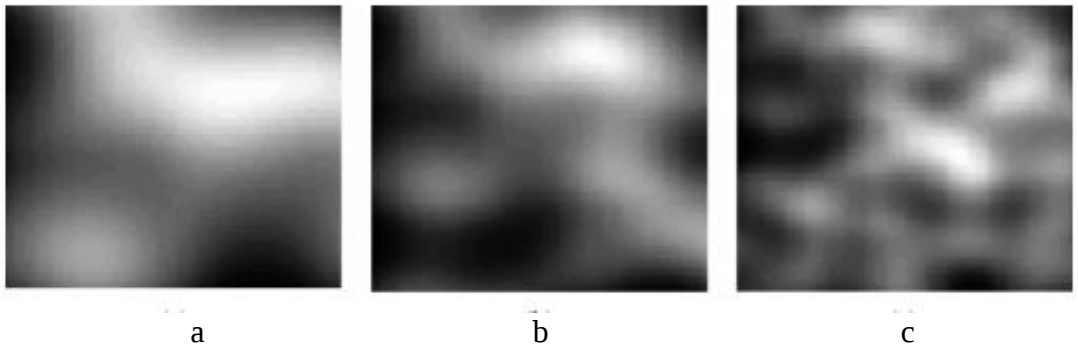


**Şekil 3. 8:** Cantor tozu lakunaritesi (Rosenberg, 2020).

Yani her iki Cantor bulutu  $D_b$  (fraktal boyutu) =  $1/2$  olarak hesaplanmıştır, ancak farklı dokulara sahiptirler. İlk fraktal ikincisinden daha kalın ve tok bir dokuya sahiptir. Dokulardaki fark, lakunarite hesapları yapılarak gözlemlenebilir.

Yüksek lakunarite değerleri, nesnenin ya da fraktalin çok çeşitli "boşluk" veya "delik" boyutlarıyla "heterojen" olduğu anlamına gelir. Düşük lakunarite değerleri ise, nesnenin küçük ve dar bir boşluk boyutu aralığı ile "homojen" olduğu anlamına gelir (Plotnick ve diğ. 1993).

Lakunarite hesaplamalarının ortaya çıkmasındaki en temel etken, fraktal boyutun kendi başına bazı geometrik desenleri tanımlamak için yetersiz görülmesidir. Önceki örneklerde de belirtildiği üzere farklı desenlerin aynı fraktal boyutlara ( $dB$ ) sahip olmasına rağmen doku farklılıkları ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.9). Bu  $dB$  hesaplarının yanı sıra desenlerin özgün niteliklerinin tanımlanması için başka bir matematiksel fraktal hesap yöntemi, yani lakunarite hesapları bir gereklilik olmuştur.



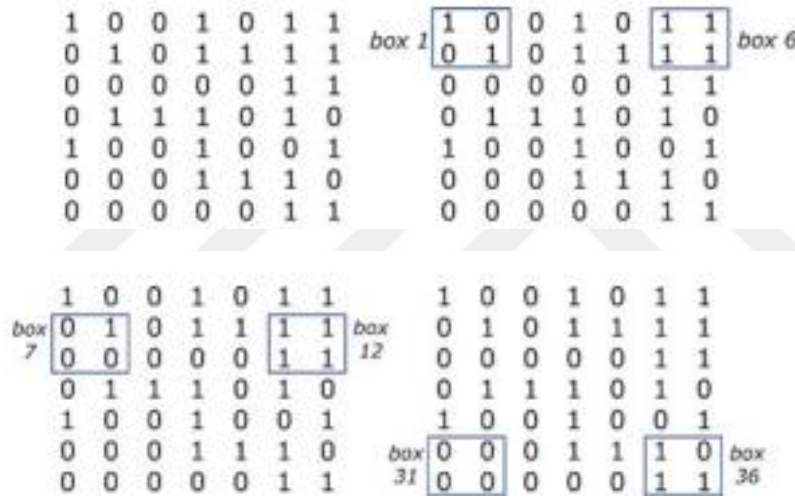
**Şekil 3. 9:** 2,5 sabit fraktal boyuta ve (a) 2, (b) 3 ve (c) 5 olacak şekilde farklı lakunarite değerlerine sahip fraktal dokuları (Musgrave, 1994).

### 3.3.1 Kayar kutu yöntemi

Geometrik bir nesnenin lakunarite hesabını yapmak için en çok tercih edilen yöntem, Allain'in kayar kutu yöntemidir (Allain, 1991). Bu yöntemde, belirli bir boyuttaki bir kutu desen boyunca hareket ettirilir ve hareket ettikçe kutudaki hareket sayısı sayılmaktadır.

Bunu Şekil 3.10'daki gibi bir örnek ile açıklayacak olursak;

Sadece 1 ve 0 lardan oluşan 49 haneli ve kenar uzunluğunu “S” olarak tanımladığımız bir matris hesabı düşünüldüğünde, 7 sütun 7 satır olacak şekilde elemanlar bir kare gibi şematize edildiğinde bu kare kutu matrisin üzerine eklenir ve bu kutu üst sıra boyunca ve ardından birbirini izleyen her sıra boyunca kaydırılır.



Şekil 3. 10: Matriste kayar kutu yöntemi (Rosenberg, 2020).

Matrisin M satırı ve M sütunu olduğunu varsayarsak; tek bir kutu (i, j, s) üçlüsüne karşılık gelir; burada kutunun sol üst köşesi matrisin (i, j) ögesidir ve S yukarıda da bahsedildiği üzere kutu boyutudur. S sayısı(matriste ele alınan kutu boyutu) 1 ile M sayısı arasında değişmektedir. i ve j aralığı 1 ile M-s+1'dir, dolayısıyla s boyutundaki toplam kutu sayısı  $(M-s+1)^2$ 'dir (Rosenberg, 2020). Bu verilerden yola çıkılarak elde edilen sonuçlarla bir algoritma hesabı çıkartılır. Bu algoritmanın içine işlenen veriler ile de matriste lakunarite (gözeneklilik) hesabı yapılabilir.

Bir başka örnek verecek olursak;

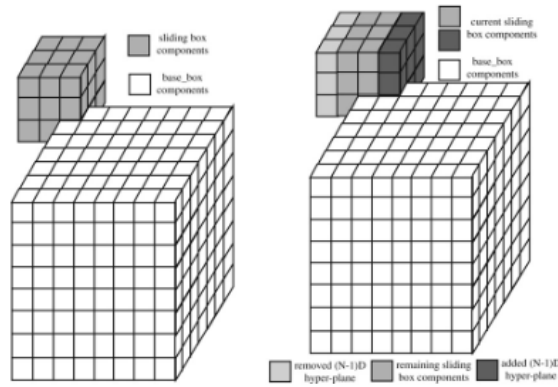
Kayar kutu hesaplama yöntemi ile, her nokta üzerinde “r” boyutunda bir örtü elemanı ortalamalı ve bu kutularda bulunan nokta sayısı sayılmalıdır. Hızlı algoritmada bu

işlem, veri kümesinin üzerine örtülmüş öğeleri tekdüze bir ızgara içine yerleştirerek ve daha sonra veri alanı boyunca bu temel ızgaranın birden çok boyutunun bir tamsayı kutusunu kaydırarak ve aynı istatistiksel bilgileri biriktirerek hızlanır. Aşağıda yöntemin basitleştirilmiş bir açıklamasına yer verilmiştir.

Data Kümesi:

$$X: \{\mathbf{x}_i = [x(1)x(2) \dots x(N)]^T \in \mathcal{R}^N \forall i = 1, 2, \dots, n\}$$

N boyutlarında n veri noktalarına sahip veri kümesini temel düzey N boyutlu tekdüze kutu ızgarasına "bölmek" için algoritmik hesaplamalar başlatılır. Bu, herhangi bir bilgisayar dili içinde yapılacak hesaplamaya bağlı olarak kaydırma şeması aracılığıyla tek boyutlu bir tamsayı veya boolean değişken dizisi olarak uygulanabilir. Eldeki hesaplama için, her kutunun içindeki nokta sayısını bilmek gerekir. Bu nedenle, dizi için tam sayıların seçilmesi gerekir. Ayrıca, bu N boyutlu alt kutu ızgarası, toplam  $N=(2^L)^N$  alt kutuları için her boyut boyunca bir alt bölme  $s=2^L$  kutu sayısı olarak bulunur (Tolle ve diğ., 2008). L değişkeni kutu boyutlarının değişmesine yani kapsayan eleman sayısını ifade etmek için kullanılır.



**Şekil 3. 11:** Üç boyutlu kayar kutu yöntemi gösterimi(Tolle ve diğ., 2008).

Şekil 3.11’de üç boyutlu bir kayar kutu yöntemi, 8x8 birimlik bir küp üzerinde 3x3 birimlik bir küpün kaydırma işlemi olarak ifade edilmiştir. Daha sonra, küpün kayma şekli 3x3 birimlik kübün sağına eklenen koyu gri 1x3 lük birim ile gösterilmiştir.

### 3.3.2 Kutu sayma yöntemi

Kutu sayma tekniği kullanılarak hesaplanan genelleştirilmiş boyut, esasen her kutuda bulunan kütleyi yansıtır. Bir görüntü ya da desen  $n(\delta)$  kutularına ayrılır ve her kutudaki gözenek alanının ( $\mu$ ) hesaplamaları şu şekilde yapılır:

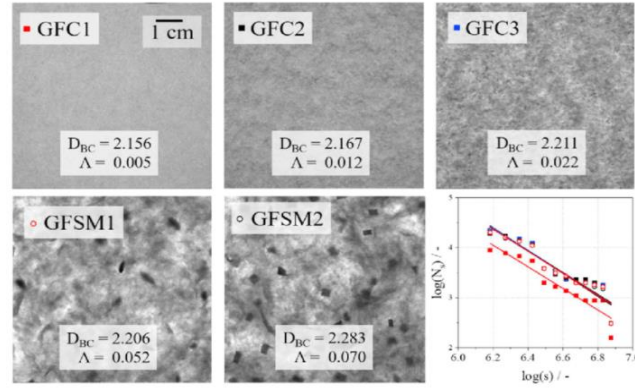
$$\mu_i = \frac{m_i}{m_T} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{n(\delta)} m_i}$$

Dijital görüntülerden ya da desenlerden çıkarılan imajlarda lakunariteyi (gözenekliliği) belirlemenin başka bilinen bir metodu da kutu sayma yöntemidir. Tipik olarak bazı fraktal boyut hesaplamaları için kullanılan aynı temel algoritmadır.

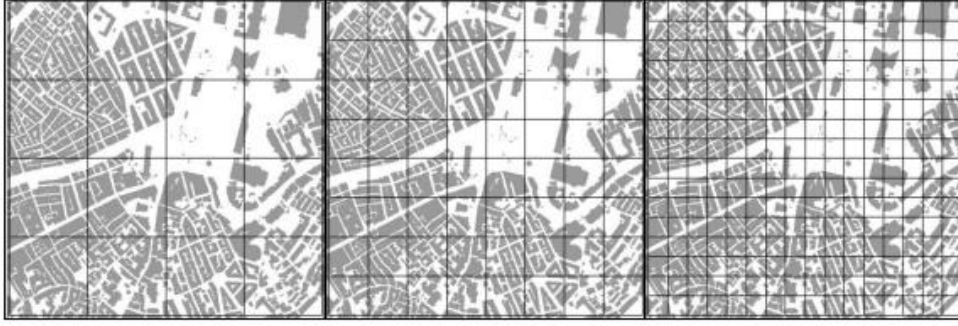
Kutu sayma algoritmaları, değişen büyütme seviyelerine sahip bir mikroskop aracılığıyla bir slayta bakmaya benzer şekilde çalışırlar. Belirli özelliklerle görüntüyü kullanılan ögenin boyutuyla nasıl değiştiğini incelemek için birçok çözünürlük seviyesinden dijital bir görüntüye ya da desene bakar (Şekil 3.12).

Temel olarak, piksellerin düzeni, geleneksel olarak “e”(Epsilon) olarak belirtilen rastgele bir E boyutları kümesinden geleneksel olarak kare (yani kutu şeklinde) ögeler kullanılarak ölçülür.

Her “e” için, kutu görüntünün tamamına art arda yerleştirilir ve her yerleştirildiği zaman kutunun içine giren piksel sayısı kaydedilir. Standart kutu sayım yönteminde, E'deki her “e” kutusu, kutunun kendisiyle çakışmaması için görüntü üzerinde kaplanmış bir ızgaranın parçasıymış gibi yerleştirilir (Şekil 3.13).



**Şekil 3. 12:** Analiz edilen ortam için kutu sayma boyutu ve lakunarite. Her ortam için fraktal analizden kutu yan uzunluğu  $\log_{\text{kutu sayısı}}$  alttaki diyagramda verilir. (Penner ve diğ., 2020).



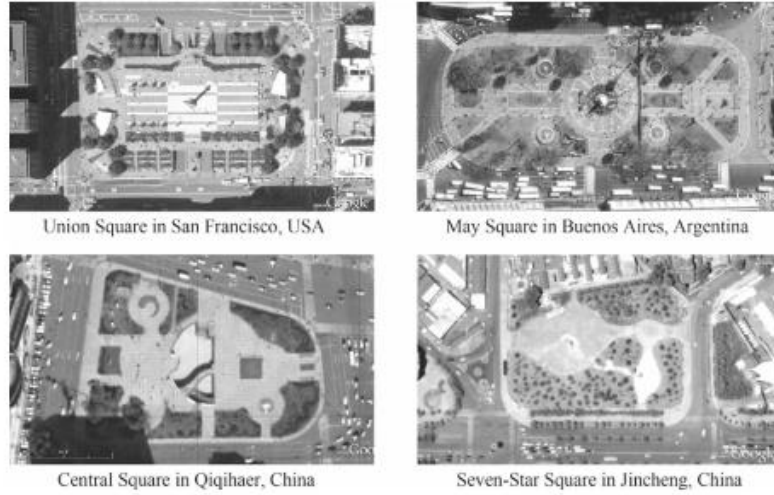
**Şekil 3. 13:** Farklı kutu boyutları ile aynı imajın kutu sayma yöntemi ile lakunarite hesabı (Kaya ve diğ., 2009).

Ancak kutu sayma yönteminden farklı olarak, kayan kutu algoritmalarında kutu görüntünün üzerine kaydırılır, böylece kendisi çakışır ve " Kayar Kutu Yöntemi ile Lakunarite " veya kısaca SLac hesaplanır.

Liang ve diğ. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada kent meydanlarının lakunarite hesaplamaları için kutu sayma yöntemi önerilen bir yöntem olarak belirlenmiş olup, yeşil alan ve meydan tasarımının fraktal kalitesini iyileştirmek için nicel ölçümlere, uygun değerlendirmeye ve potansiyel geri bildirime izin verdiği gözlemlenmiştir. Bu metod uygulanırken, insan figürü temelde olmak üzere rahat edilen kişisel mesafe ölçümleri de baz alınmıştır.

Çalışmaya göre (Liang ve diğ., 2013) kutu sayma yöntemini kullanabilmek için düzgün bir gridal sistem oluşturulduğunda, uzamsal hiyerarşi ölçekleri, kutu sayma yaklaşımının ızgara boyutlarını oluşturmaya da etkili olmuştur. Kutu sayma yönteminin 1/2 ölçekleme oranına uyum sağlamak için, mesafeler en uygun yaklaşımlarına göre ayarlanmalıdır. Böylece, çalışmada bahsedilen kişisel mesafeler için uygulanan son hiyerarşik ölçekler olarak 5 m, 10 m, 20 m, 40 m ve 80 m olan yeni bir boyut seti önerilmiştir. Çalışma alanları Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

Liang ve diğ. (2003)'e ait olan çalışmanın temel hipotezi, mekansal düzenlemelerin fraktal doğasını ortaya çıkarmak ve kullanıcılara insan ölçeği ve psikolojik rahatlık sağlamak için yeşil alan tasarımının önerilen hiyerarşik ölçekleri sürekli bir şekilde sürdürmesi gerekliliğinin var olduğudur.



**Şekil 3. 14:** Lakunarite hesapları yapılan farklı kent meydanları (Liang ve diğ., 2013).

Lakunarite hesapları yapılırken bir önceki adım olarak fraktal boyut (D) hesapları da yapılmıştır. Kutu sayma analizini gerçekleştirirken, görüntünün ilk ızgaraya göre nasıl yerleştirildiği, D değerlerinde farklılıklara yol açabilir. Bu sorunun etkisini azaltmak ve görüntüyü çevreleyen boş alanın neden olduğu bozulmayı azaltmak için, ilk ızgarayı kaplamak için iki kural izlenir. Birincil kural, görüntüyü minimum sayıda ızgara kutusuyla kaplamak ve ikincil kural, görüntüyü mümkünse ölçüm ızgarası içinde ortalamaktır.

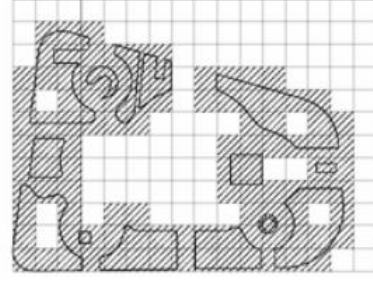
**Çizelge 3. 1:** Çalışma kapsamında seçilmiş olan kent meydanlarının fraktal boyutları. (Liang ve diğ., 2013)

|                      | Union Square | May Square | Central Square | Seven-star Square |
|----------------------|--------------|------------|----------------|-------------------|
| $D_{(kutu, 40-20m)}$ | 2.000        | 2.000      | 1.750          | 1.874             |
| $D_{(kutu, 20-10m)}$ | 1.737        | 1.766      | 1.477          | 1.295             |
| $D_{(kutu, 10-5m)}$  | 1.446        | 1.360      | 1.196          | 1.122             |
| $D_{(kutu, 5-2.5m)}$ | 1.394        | 1.113      | 1.109          | 1.060             |

Çizelge 3.1'den anlaşıldığı ve tez kapsamında da yapılan hesaplamalarda karşılaşılmaması beklenen en önemli sonuç; kutu hacmi ve boyutları küçüldükçe hesaplanan fraktal boyut değerlerinde değişimler olmasıdır. Kutu boyutlarının değişimine ait örnek imajlar Şekil 3.15'te mevcuttur.



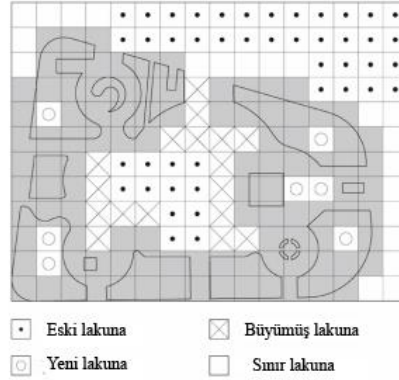
$D_{(kutu, 20-10m)}$



$D_{(kutu, 10-5m)}$

**Şekil 3. 15:** Hiyerarşik kutu sayma görselleri (Liang ve diğ., 2013).

Fraktal boyut, sayılan kutu sayısı ile belirlense de, mekanın organizasyonu hakkında çok önemli bilgiler ortaya koyan sayılamayan kutular (boşluklar/lakunarite) bulunmaktadır.



**Şekil 3. 16:** Kent meydanı üzerinde lakunarite sınıflandırması (Liang ve diğ., 2013).

Şekil 3.16'ya göre;

- Eski lakuna: beyaz kutu, önceki kutu sayımında da bulunmaktadır.
- Büyümüş lakuna: kentsel meydanın sınırları içinde yer alan ve eski boşlukla bitişik veya ona bağlı yeni ortaya çıkan beyaz kutu;
- Yeni lakuna: kentsel alanın sınırları içinde yer alan yeni ortaya çıkan beyaz kutu;
- Sınır lakuna: Şekil sınırının dışında bulunan yeni ortaya çıkan beyaz kutu.

Düzgün bir Sierpinski Halı modeli ele alındığında ve lakunarite hesaplamaları yapıldığında kutu boyutu küçüldükçe yeni boşlukların sayısı üstel bir oranda ortaya çıkmaktadır. Fakat, bir yeşil alanın mekansal düzeni bu orana pek uymamaktadır. Çünkü sayım yapılan desenler Sierpinski Halısı kadar düzgün veya simetrik değildir.

Yapılan araştırmada buna göre, mevcut bir katmandaki yeni boşlukların sayısı, önceki katmanın sayısının iki katına eşit veya iki katından fazlaysa, mevcut katmanın yeterli

yeni boşluklara sahip olduğu kabul edilmektedir. Seçilen durumlarda her hiyerarşik ölçekte yeterli boşluk sağlanıp sağlanmadığını anlamak için sırasıyla yeni boşluklar sayılmıştır.

Sonuç olarak kutu sayma yöntemi ile lakunarite ve fraktal boyut hesapları yapan bu araştırmada, fraktal hesapların yeşil alan tasarımının kalitesini artırmak için nicel önlemlerin var olduğu, uygun değerlendirme ve potansiyel geri bildirim sağladığı gözlemlenmiştir (Liang ve diğ., 2013). Bu durumlar için fraktal boyut hesaplarının (D) yetersiz olduğu düşünüldüğü kısımlarda lakunarite hesaplamaları destek olmuş ve daha doğru sonuçlara ulaşılmasında önemli rol oynamıştır.

### **3.3.3 Lakunarite Kullanım Alanları**

Lakunarite kavramı fraktal geometri matematiği kapsamı dışında pek çok alanda da kullanılan bir hesaplama aracı olmuştur. Aşağıda, lakunaritenin önemli rol oynadığı bazı alanların bir listesi ile birlikte, kullanıldıkları alanları gösteren ilgili araştırmalardan örnekler gösterilmiştir.

\* Ekoloji

\*Fizik

\*Arkeoloji

\*Tıbbi görüntüleme

\*Kentsel mekansal analiz

\*Sismik çalışmalar

\*Diş Hekimliği

\*Gıda bilimi

Bu alanlara ek olarak, lakunaritenin kullanıldığı yukarıda bahsedilen bazı spesifik ilgili araştırmalardan örneklerden de şu şekilde bahsedilebilir:

Taş Çitler: Pilipski (2002)'nin yaptığı bir araştırmada, bitişik taşlar arasındaki boşluk miktarını ve dağılımını ölçtüğü taş duvarların lakunaritesine 68 kişinin estetik tepkileri de eklenerek incelenmiştir. Görüntüler, aynı fraktal boyuta sahip ancak 0.1 ile 4.0 arasında değişen farklı lakunarite hesapları olan taş duvarlardan yapılmıştır. Yapılan araştırmada deneklere bu iki lakunariteye sahip olan ayrı ayrı iki resim gösterilmiş ve hangisini tercih ettikleri sorulmuştur. İnsanların daha dokulu görüntüleri tercih ettiğini

ve bazı çok büyük taşların ve daha yatay çizgilerin dahil edilmesinin bir taş duvarı daha çekici hale getireceğini belirten, tercih edilen görüntülerin daha fazla lakunariteye sahip olduğuna dair bir eğilim gözlemlenmiştir.

**Yaralı Dokular:** Bu araştırmada farelerde yara dokusu ile yaralanmamış doku arasında ayırım yapmak için fraktal boyut ve fare dokusunun lakunaritesi hesaplanmıştır. Mikroskop fotoğrafları, ImageJ paketi kullanılarak analiz edilen  $512 \times 512$  piksel görüntülere dönüştürülmüştür. 2.00 fraktal boyut ve lakunarite hesaplarını kullanmanın “Fourier dönüşüm analizi” yöntemine göre daha üstün olduğu keşfedilmiştir.

Fourier dönüşüm analizi sinyalin içindeki bilgilerin elde edilebilmesi için, sinyallerin işlenmesinde kullanılan çok önemli bir yöntemdir. Bir örnekle açıklanacak olursa, hesaplamalı dinlemeye benzetilebilir. Dinleme için kulak, otomatik olarak dönüşümü hesaplayacaktır ancak beynin hesaplamayı yapabilmesi için yıllar süren matematik eğitimi gereklidir. (Url-6)

**İnsan Beyni:** Bu çalışma Katsaloulis ve diğ. (2009) tarafından uygulanarak yöntem olarak lakunarite hesaplama yöntemlerinden biri olan kayar kutu metodu kullanılmıştır. İnsan beyni tomografik görüntülerden de hatırlanacağı üzere beyaz madde ve gri maddeden oluşur; beyaz madde nöronları ifade ederken beynin çeşitli alanlarını demetler halinde birbirine bağlar. Bu yollar beyin yapısını oluşturur ve çeşitli nöro-bilişsel aktivitelerden sorumludur. Bir insan beyninde karmaşık şekillerde birbirine bağlı yaklaşık 100 milyar nöron bulunmaktadır. Bu araştırma kapsamında MRI taramalarından alınan dört görüntü,  $512 \times 512$  piksellik bir diziyle eşleştirilmiş olup 1 ila 64 piksel arasındaki kutu boyutları kullanıldığında, fraktal boyutlarda 1.584 ila 1.720 arasında değişimler gözlenmiştir. Her bir görüntünün lakunaritesini hesaplamak için aynı kutu boyutları kullanılmış olup, her kutu boyutu için hesaplamalar yapılmıştır. İki görüntünün boşluk analizinin, nöronların beynin farklı bölümlerinden kaynaklandığını veya sağlıklı dokuya karşı hasarlı olduğunu gösterebilen daha ince veya ikincil bir ölçü (fraktal boyut hesaplamalarına ek olarak) sağladığı gözlemlenmiştir.

**Hava Kirliliği:** Lakunarite ölçümleri, Meksika'daki hava kirliliğini incelemek için Arizabalo ve diğ. (2011) tarafından kullanılmıştır. Aribalo ve diğ. göre (2011); Atmosferik mikron altı parçacık yoğunlukları, bir “Tarama Hareketliliği Parçacık

Boyutlandırıcı” kullanılarak 16 ila 764 nm arasında değişen parçacık boyutları için ölçölmüştür. Hesaplanan lakunarite değerleri 1.095 ile 2.294 arasında değişmektedir. Düşük boşluklu günlerin bir çekirdeklenme partikölü oluşum sürecini (10–20 nm partiköl çapları ile), orta dereceli lakunaritenin Aitken sürecini (20–100 nm partiköl çapları ile) ve yüksek boşlukluluğun bir birikim sürecini (parçacık çapları ile) gösterdiğini bulmuşlardır. 100–420 nm partiköl çapları). Sonuçlar, boşlukların trafik yoğunluğu, endüstriyel aktivite ve atmosferik koşullar gibi dinamik faktörlerin bir sonucu olarak sırasıyla partiköl konsantrasyonları (pürüzlölük) ve boyut dağılımları ile ilgili önemli değişiklikleri tanımlamak için yararlı bir araç olabileceğini göstermiştir (Arizabalo ve diğ., 2011).



#### **4. KENTSEL DOKUDA FRAKTAL GEOMETRİ VE KULLANILAN YAZILIMLAR**

Kentleri coğrafi olarak ele aldığımızda bir şehrin kentsel dokusu; o şehrin kent planı, sokak planı ve zemin planı akıllara gelmektedir. Bu terimlerin her biri şehirleri ve şehir alanlarını temsil eden harita alanlarını tanımlayacak atıflarda bulunsa da, bu terimlerin kullanımı genellikle bu harita alanları arasında ölçek ve içerik farklılıkları anlamına gelmektedir.

Bir şehrin hem şehir planı hem de zemin planı, sunulan bilgilerle ilgili olarak bir dereceye kadar bütünlüğü ifade eder. Coğrafi amaçlarla, bu bilgiler, bir kentin sokaklarının gridal (ızgara) yapısının içinde işlevsel olarak farklılaştırılmış ve yasal olarak korunan mülkiyeti gösteren arazi bölünme modellerini içerebilir ve arazilerin özel kullanımı için gereken fiziksel yapıların türü, kalitesi ve miktarı gibi başlıklarda kentin yapısı incelenebilir.

Bunların yanında, bir şehrin sokak planı veya benzeri herhangi bir terim, bir kentin şehir planının veya zemin planının bütünlüğünü yansıtmaz. Bu plan şeklinde arazi bölünme örüntüleri, arazi kullanım düzeni veya bina dokusu gibi bilgilerle kent bütünlüğünü tanımlayacak olgular içerisinde kolayca dışarıda bırakılabilir.

Bu nedenle, “kentsel doku” ifadesi, mimarlık, kentsel tasarım, peyzaj mimarlığı ve şehir planlaması gibi mekansal tasarım alanlarının yanı sıra coğrafya, haritacılık ve jeodezi gibi mekansal bilim alanları için yararlı olan uygun esnek şehir içeriğini ve ölçeğini ifade etmek için kullanılabilir.

Diğer birçok harita gibi, kent dokusunun haritaları da şehir için fiziksel, işlevsel, tarihsel, morfolojik, psikolojik veya sosyolojik öneme sahip çeşitli sembolik içeriklere, hiyerarşik ilişkilere ve yapısal kalıplara sahiptir (Rashid, 2017).

##### **4.1 Kentsel Ölçekte Fraktal Kullanımları**

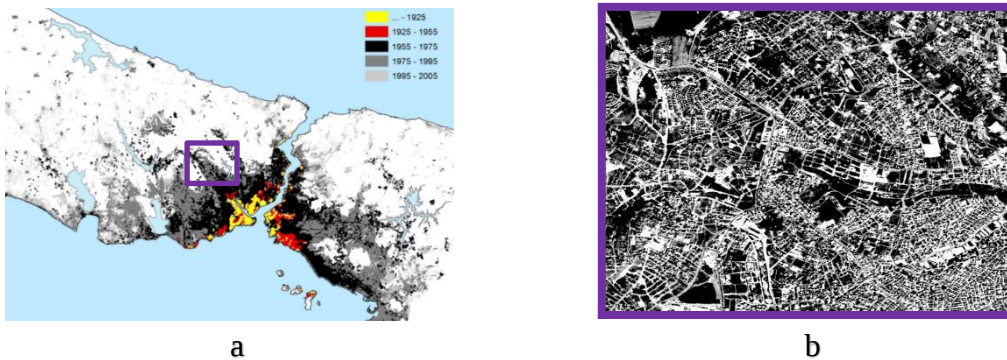
1980'lerden bu yana, fraktal geometriye dayanan bilgisayar modelleme teknikleri, kentlerin mekansal analizlerinde popüler hale gelmiştir. Fraktal geometri, Euclid

geometrisi anlamında düzenli olmayan nesnel mekansal formları ve kalıpları değerlendirmek için bir dizi nicel araç sunar. Kentsel sistemler söz konusu olduğunda, coğrafyanın temel kavramları olarak anlatılan pek çok özellik, fraktal geometri çerçevesi ile kolayca ilişkilendirilebilir duruma gelmiştir.

Sürekli olma durumları ve parçalanma kalıpları, değişen kontraktivite dereceleri, farklı analiz ölçeklerinde benzer yapılar, dış kenarlarda düzensizlik ve doğrusal olmayan dinamikler gibi fraktal geometrinin temel özellikleri kentsel sistemlerin özellikleri ile aynıdır.

Fraktal tabanlı tekniklerin teorik ve analitik güçlerine ve fraktal geometrinin kentsel sistemlerin çoğu özelliği ile uyumluluğuna rağmen, kentsel düzenlerin fraktal çalışmaları kapsam olarak sınırlıdır. Fraktal geometri, kentsel dokunun mekansal organizasyonunu araştırmak için çok ölçekli bir yaklaşım geliştirmek amacıyla da kullanılabilir. Fraktal kullanan pek çok coğrafi çalışmada genellikle kentlerin mekansal kalıpları ve kent sistemi ve kent sınırlarının düzensizliği gibi büyük ölçekli kentsel fenomenlerin morfolojisine odaklanır. Düzensiz görünümüne rağmen, kentsel kalıpların genellikle en azından belirli bir ölçek aralığında, doğal bir fraktal düzen ilkesi tarafından organize edildiği ortaya çıkabilmektedir.

Kentler büyüdükçe, kentsel dokunun “amorfe” yani düzensiz görünmesinin en çarpıcı nedenlerinden biri; binalardan tüm metropol alanlarına kadar çok çeşitli ölçeklere ait unsurlardan oluşmalarıdır. Bu durum Şekil 4.1’de gösterilen İstanbul doku haritalamasından gözlemlenebilmektedir. Tarihsel incelemesine bakıldığında yerleşim alanları, uzayda eşit olmayan bir şekilde dağıtılan, rastgele ve çok farklı boyutlarda birçok kümeden oluşur. Mikro ölçekte de bir kent dokusu parçasını incelediğimizde benzer özelliklerle karşılaşmaktadır.



**Şekil 4. 1:** (a)İstanbul kent dokusunun yıllara göre yayılımı (Kaya, 2003), (b) 2020 yılı detaylı İstanbul kent dokusu.

Bu bakış açısıyla bakıldığında binaların homojen tek bir tipolojiye sahip olmaması, kentsel sistemin mekansal organizasyonunu kavramayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, kentsel sınırları tanımlamak için güvenilir kriterler aranmaktadır. Şekil 4.1a'daki üst ölçekteki haritaya bakıldığında, kentsel sınırın tanımlanabileceği düşünülebilir, ancak gerçekte bu düşünüldüğünden daha zor gerçekleşmektedir. Şekil 4.1b'de belirtildiği gibi, binalar arasındaki mesafeler, özellikle konutların ve dağınık yerleşim modellerinin birbirine karıştığı geniş kentleşmiş alanların arasındaki ilişkiden dolayı tanımlamalarda çeşitli değişiklikler olmaktadır. Bahsedilen bu değişiklikler, kentsel doku ile ilgilenen bütün dallar tarafından farklı tanım yapma ihtiyacına neden olmaktadır.

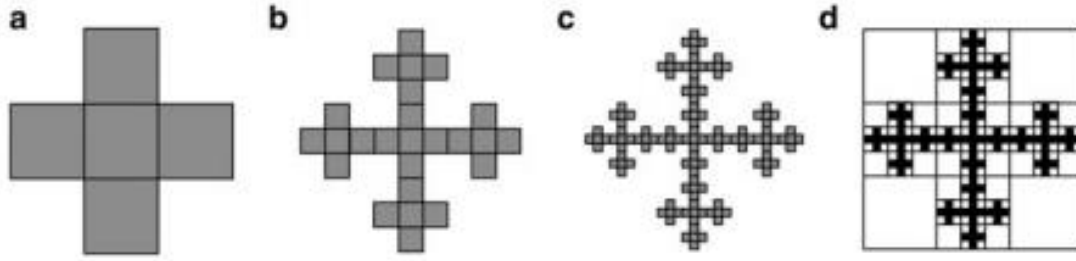
Bununla birlikte, bu sınırların girift ve karmaşık yapısına rağmen, paradoksal görünen bahsedilenlerle paradoks halinde bir düzen tespit edilebilir. Örneğin, kentsel kümelerin sınır uzunlukları ve yüzey alanları, her iki şekildeki gibi kaba taneli bir harita üzerinde ölçüldüğünde, iki haritada da orantılı olma eğilimleri görülmektedir. (Frankhauser, Sadler, 1991). Bu, yüzey alanının çevre uzunluğunun karesiyle orantılı olması gerektiği klasik geometrik varsayımıyla çelişir ve bu da fraktal geometri bakış açısıyla tutarlılık sağlar.

Daha önceki konu başlıklarında da bahsedildiği üzere, daireler veya kareler gibi Euclid geometrisinin sınırları belirli olan nesnelerinden farklı olarak; fraktal geometri, farklı ölçeklerde kümeler oluşturan, tamamen homojen olmayan bir şekilde dağıtılan elemanlardan oluşan alışılmışın dışında geometrik referans modelleri oluşturmamızı sağlar. Bu da parçalanma veya sınırların karmaşık morfolojisi gibi kentsel örgüt tanımlarının belirli yönlerini andıran çeşitli mekansal doku türlerini açıklamayı mümkün kılmaktadır.

Bir kentsel dokuda binaların yerleşim alanlarında nasıl dağıtıldığı sorusuna odaklanıldığında “siyah” olarak tanımlanan yüzeylerde belirli fraktal geometri tanımları kullanılabilir.

Siyah olarak belirlenen bölgeler binaları içeren kısımlarla ilişkilendirirken, boş, yani “beyaz” bölgeler esasen bina ya da bina elemanlarına ait değildir. Bu siyah ve beyaz kavramları oluşturulurken iki çeşit fraktal nesneden (Sierpinski halıları ve Fournier

tozu) yararlanılabilmektedir. Her iki fraktal yaklaşım da birbirlerine entegre bir şekilde oluşan geometriyi açıklamakta kullanılabilmektedir.

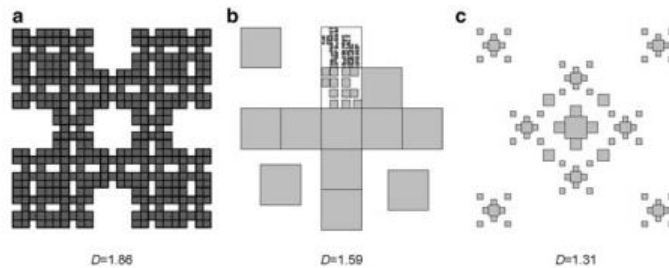


**Şekil 4. 2:** (a-b-c) bir çeşit Sierpinski halısının oluşumu (d) gözeneklilik kapsamında Sierpinski halısının değerlendirilmesi ve kentsel doku ile siyah-beyaz ilişkilendirmesi (Frankhauser, 2015).

$$N^n \times (r^n L)^D = L^D$$

*Sierpinski halısı oluşturulurken kullanılan denklem (r: İterasyon faktörü, N: İterasyon sayısı, L: ilk karenin uzunluğu, D: sabit sayı)*

Sierpinski halısını oluşturan sistemde her iterasyon, artan sayıda daha küçük ve daha küçük gözenekler üretmekte ve bu nedenle hiyerarşik bir gözeneklilik değeri ortaya çıkarmaktadır (Şekil 4.2). Bu, fraktallerin en çarpıcı özelliklerinden biridir. Aynı zamanda, Sierpinski halısının sınır çizgisi uzar, çünkü giderek artan sayıda küçük girintiler oluşturmaktadır. Bu nedenle, sınır uzunluğu sonsuzluğa eğilimliken, yüzey alanı sıfıra eğilimlidir ve limitsiz geometri nesnesi ne bir yüzey gibi iki boyutlu ne de bir çizgi gibi tek boyutludur. Fraktal nesnelerin aksine Euclid nesneleri kompakttır ve sınırları pürüzsüzdür (bazı tekil noktalar, köşeler hariç) fraktal özellik taşımazlar (Frankhauser, 2015).



**Şekil 4. 3:** Sierpinski halısından üretilen gözeneklilik hesaplamaları (Frankhauser, 2015).

(a) Dış sınırın fraktal olduğu, ancak boyutunun halıdan farklı olduğu bir Sierpinski halısı.

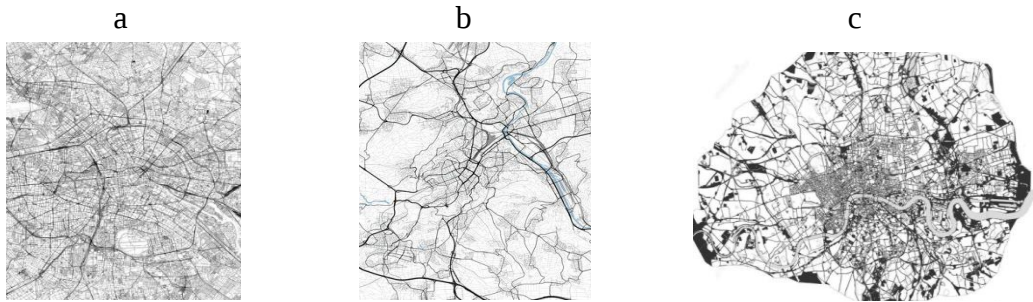
(b) Özellikleri kentsel kalıpları hatırlatan bir fraktal. İterasyon, sadece üst karede üçüncü adıma ve altındaki karede ikinci adıma kadar yapılmıştır (Tannier ve diğ., 2006).

(c) Merkezi bir yerleşim sisteminin mantığını hatırlatan hiyerarşik bir küme sisteminden oluşan bir fraktal.

Şekil 4.3b’de sistemin 4.3a şekline göre daha az düzenli olmasından kaynaklı ikinci ve üçüncü iterasyonlar her seferinde gözeneklilik hiyerarşisine bağlı elemanların konumu değiştirilerek gösterilmiştir. Bu nedenle, oluşmuş olan gözeneklilik diyagramları sokaklar ve iç avlular boyunca evlerin blokları ile örtüştürüldüğünde mikro ölçekte daha şehir dokusu benzeri bir yapı elde edilmiştir. Son olarak, 4.3c şeklinde, iki iterasyon faktörü kullanılarak toplu eleman kümeleri oluşturulmuştur. Bu nedenle, yukarıda belirtilen denklemin genelleştirilmiş bir versiyonu, fraktal boyutun hesaplanmasında etkili olmuştur. Görülen bu çoklu fraktal yapı, şekildeki gibi bir kentsel sistemde merkezi yerlerin dağılımının bir örneği olarak gösterilebilmektedir.

Kentsel dokunun genelde farklı ölçekleme davranışlarının bir karışımı olduğunu ve bu nedenle çoklu fraktal yaklaşımın morfolojilerini tekli olanlardan daha yakın ölçümler yaptığı yaklaşımı gözlenmektedir. Örneğin Chen ve Wang (2013) buna değinmiştir. Bu nedenle, büyük kentsel alanlar göz önüne alındığında, çoklu fraktal davranış ortaya çıkar, çünkü bu ölçekte farklı doku türleri ve yapıları birbirine entegre biçimde gözlemlenmektedir. Burada da esas olarak şehir ölçeğine odaklanılmaktadır.

Kümelenmelerin ve tanecik yığılmalarının çok olduğu metropolitan kentlerin (Örneğin Stuttgart, Londra ve Berlin) fraktal boyutları hesaplanırken özellikle kaba (büyük) taneli yapı içeren kentlerden bahsedilecek olursa yüzeydeki fraktal boyutlar oldukça düşük hesaplanmaktadır (Şekil 4.4).



**Şekil 4. 4:** (a)Berlin , (b) Stuttgart, (c) Londra şehir haritaları.

Bunun yanı sıra aglomerasyonların merkezi küme sınırlarının fraktal boyutu da incelendiğinde Stuttgart ve Berlin için elde edilen değerler, ağsal (dağınık) şehir organizasyonuna rağmen yüksektir. En kompakt şehir yapısı, kentsel büyümeyi durdurmaya çalışan Londra'nın ortasından geçen Thames nehri etrafındaki yeşil vadi politikası ile açıklanabilir.

**Çizelge 4. 1:** Şehirlerin fraktal boyutları (Frankhauser, 2015).

| Metropolitan<br>Bölge | Yüzey<br>F. Boyutu | Merkez Küme<br>sınırlarının<br>F.Boyutu |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| Berlin                | 1.75               | 1.58                                    |
| Stuttgart             | 1.75               | 1.88                                    |
| Londra                | 1.86               | 1.41                                    |

Çizelge 4.1'de gösterilen bu şehirler farklı ülkelerde ve coğrafi durumlarda farklı büyüklükteki şehirlerdir, ancak hepsinde tarihsel bir merkez ve çevreye doğru yoğunluğun kademeli olarak azalması hakimdir. Kaba taneli verilerden elde edilen fraktal boyut hesaplamalarına dayanan bu örnek şehirler kentsel gelişime katkıda bulunan tarihsel bağlamanın fraktal boyut değerlerini etkilediğini göstermektedir. Aglomerasyonlar(kaba taneli yığılmalar) ölçeğinde, vadiler veya ulaşım yolları boyunca ekstenel gelişme, daha yüksek kontrastlı doku oluşumlarına yol açar. Bu aynı zamanda bazı fraktal değerlerin ulusal planlama kurallarından ziyade fiziksel faktörlere veya yerel tarihsel bağlamlara atıfta bulunduğu anlamına gelir.

Thomas ve Frankhauser (2013), bahsedilen faktörlerin öncülüğünde şehirleri 4 gruba ayıran bir sınıflandırma sistemi oluşturmuştur.

1. Fraktal boyutu 1.9 dan büyük olan yüksek yoğunluklu kentler
2. Perisentral bölgelere özgü müstakil konutlardan oluşan (metropolitanların suburbleri) yerleşik mahallelerden oluşur. Bu ilçeler, evlerin sokakların yanında yer aldığı oldukça düzenli bir morfolojiye sahip, düşük veya orta halli bir kentleşme yoğunluğuna sahiptir. Fraktal boyut hesapları burada daha düşüktür.
3. Önceki sınıflarda bina ve bina elemanları sokakları takip ederken burada, bina yerleşimleri dağınıktır ve mutlak bir sokak ağını takip etmezler. Fraktal boyutları yaklaşık 1.67 civarları olarak tanımlanmıştır ve genelde 1950-1980 arası inşa

edilmişlerdir. Binalar rastgele konumlandığı için fraktal boyutları nispeten daha düşüktür.

4. Binaların mekânsal düzenlemeleri ve biçimleri çeşitlidir ve çeşitli büyüklükteki yeşil alanlar, bina ve elemanlarını birbirinden ayırır.

## **4.2 Kent Elemanları Ölçeğinde Fraktal Kullanımları**

Kent elemanları ölçeği kapsamında bulunan fraktaller sokak-bina ölçeği ve bina-bina elemanı ölçeği sınıflarına ayrılabilir. Ancak tez çalışmasına bir katkı sağlamayacağından ötürü bu başlıklara değinilmemiştir.

### **4.2.1 Yeşil alan ölçeğinde fraktal kullanımı**

Şehirlerin özellikle son yıllarda katlanarak büyümesi ile kendilerini daha hızlı bir şekilde yeniden yapılandırmaya başlamıştır. Kentin merkezi iş bölgesinden, ulaşım ve iletişim yollarının hiyerarşisi açısından 'arterler' ve 'damarlardan', yeşil alan açısından 'akciğerlerden' oluştuğu fikri, son 100 yılda kentsel analiz ve şehir planlaması karşısında şehir tanımlamalarına girmeye başlamıştır (Batty ve Longley, 1994).

Gong ve diğ. (2020) yazdığı bir makaleye göre yeşil alanlarda fraktaller kullanılırken farklı coğrafi ve geometrik anlamları temsil eden üç tür fraktal model vardır. Bunlar: Sınır boyutu, yarıçap boyutu ve grid boyutudur.

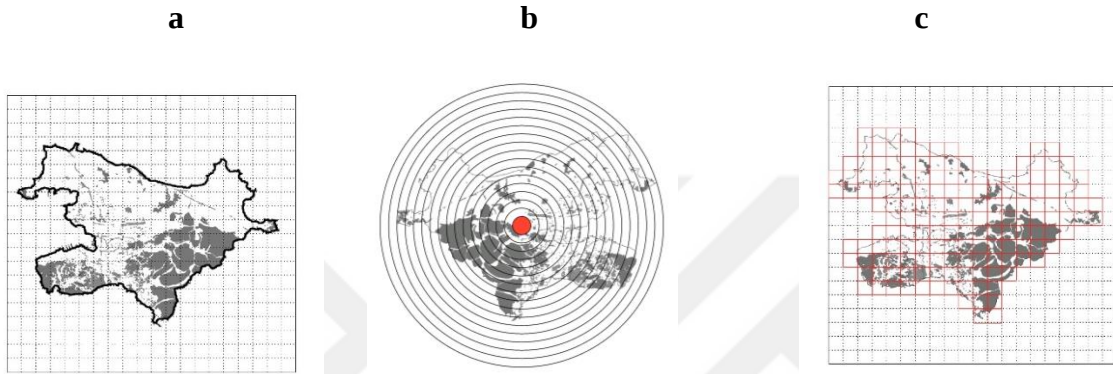
Sınır boyutu; bir şehirdeki veya belirli arazi kullanımı türleri için sınır çizgileri biçiminin karmaşıklığını ölçebilir. İki tip sınır boyutu hesaplama tipi vardır. Bunlardan ilki; çevre ölçeği tarafından tanımlanan sınır boyutu, yalnızca yeşil alan sınır çizgisinin karmaşıklık derecesini ve kıvrımlılığını yansıtır. Daha büyük bir fraktal boyut (D) değeri, sınır çizgisinin daha yüksek bir karmaşıklığının göstergesidir ve genellikle,

$0 < D < 2$  olarak gözlemlenir.

İkincisi de alan çevresi tarafından tanımlanan sınır boyutudur. Buna ek olarak sınır çizgisinin karmaşıklığı, aynı zamanda arazi parçalanma derecesini ve arazi kullanım yapılarının istikrarını da yansıtır. D'nin teorik değeri 1 ile 2 arasındadır.  $D < 1.50$  olduğunda, kentsel yeşil alanların formu basit olma eğilimindedir;  $D = 1.50$  yeşil alanların formunun Brownian hareketine benzer rastgele bir durumda olduğunu gösterir;  $D > 1.5$  olduğunda, kentsel yeşil alanların yapısı daha karmaşıktır.

Yarıçap boyutu; arazi kullanımı dağılımındaki yoğunlaşma derecesini tanımlayabilir. Yarıçap boyutu, mesafe zayıflama yasasına göre tanımlanan fraktal bir boyuttur ve kentsel merkez-kenar mesafe zayıflama ilişkisini temsil eder ve kentsel büyüme özelliklerini yansıtır.

Grid (ızgara) boyutu çeşitli disiplinlerde en yaygın olarak uygulanan metriktir ve kentsel arazi kullanımındaki mekansal dağılımın dengesini ölçebilir. Izgara boyutu, kutu sayma yöntemi kullanılarak ölçülür (Şekil 4.5).



**Şekil 4. 5:** Dalian çalışma alanı üzerinden üç tip fraktal hesaplama modeli.

*a: sınır boyutu b: yarıçap boyutu c: grid boyutu*

Yeşil alanlarda fraktal kullanımına örnek olarak tanıtılabilecek bazı araştırmalar yapılmıştır. Batty ve Longley (1988), Swindon, İngiltere'nin arazi kullanım yapısı üzerine yaptıkları çalışmada, başlangıçta yeşil alanları “açık alanların” bir parçası olarak görmüşler ve sınır boyutları 1.08 olarak hesaplanmıştır.

Zhao ve diğ. (2005) Şanghay'ın arazi kullanım yapısını incelerken yeşil alanları “diğer araziler” olarak saymış ve sınır boyutu 1.11, yarıçap boyutu ise 1.78 olarak hesaplanmıştır. Shenyang Şehrindeki yeşil alanların 1.32 sınır boyutuna, 2.64 yarıçap boyutuna ve 1.32 ızgara boyutuna sahip olduğunu hesaplamışlardır.

Yu ve Yuan 2011'de yaptıkları bir araştırmaya göre, fraktalları Fuzhou Şehrindeki “parklar için yeşil alanların” mekansal modelini ve yarıçap boyutunu özel olarak hesaplamak için kullanmıştır. Hesaplamaların sonucunda 1.27'lik bir ızgara boyutu elde edilmiştir .

Petrisor ve diğer çalışma arkadaşları (2016) yeşil alanda fraktaller konseptinde Romanya'daki 14 şehirde “yeşil altyapının” genel fraktal doğasını inceledi. Yeşil

altyapıyı tarımsal peyzajlar, yeşil alan-ormanlar, spor ve eğlence tesisleri ve su olarak ayırmış ve fraktal boyut sonuçları 0.30 ile 0.90 arasında olmuştur.

Liu ve diğ. (2019) uzun yıllar Şanghay şehir merkezindeki yeşil alan sisteminin genel fraktal boyutunu hesaplamaya çalışmış olup ; ortalama sınır boyutunu 1.78 ve ortalama yarıçap boyutunu 3.04 olarak belirlemişlerdir.

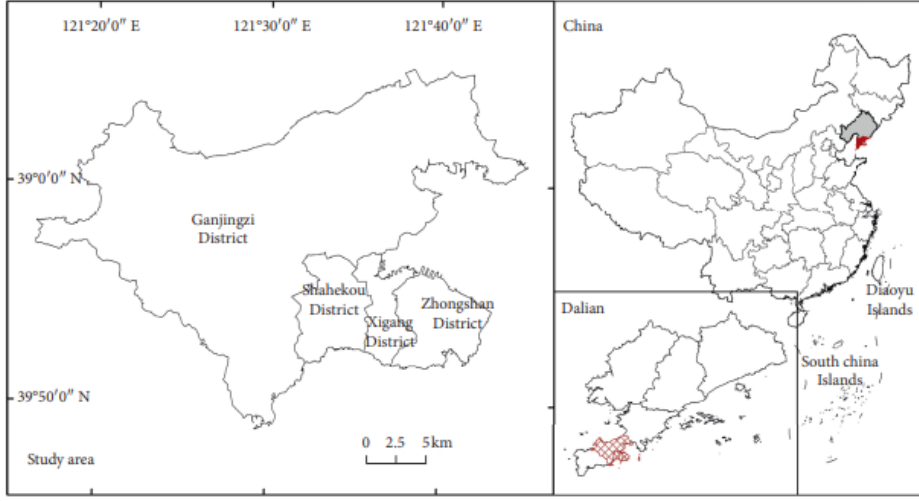
Bu çalışmalara ek olarak Gong ve diğ. (2020) Çin'in Dalian şehrine ait bir yeşil alan fraktal analizi yapmıştır. Bu çalışma, büyük (ormanlar) ve küçük (park ve rekreasyon alanları) ölçeklerde yapılmış olup bir kent dokusunda kentsel alanlarda yeşil alanların planlanması ve inşasına rehberlik etmesi açısından pratik öneme sahiptir.

Çalışmanın içeriği, “kentsel yeşil alanların fraktal doğası, karmaşık kentsel sistemin kendi kendini organize eden evriminin bir ürünüdür” söylemiyle ortaya çıkmıştır (Gong ve diğ., 2020). Kentsel yeşil alanların düzenli örüntüleri ve karmaşık yapıları belli bir aşamaya geldikten sonra ortaya çıkma eğilimindedirler.

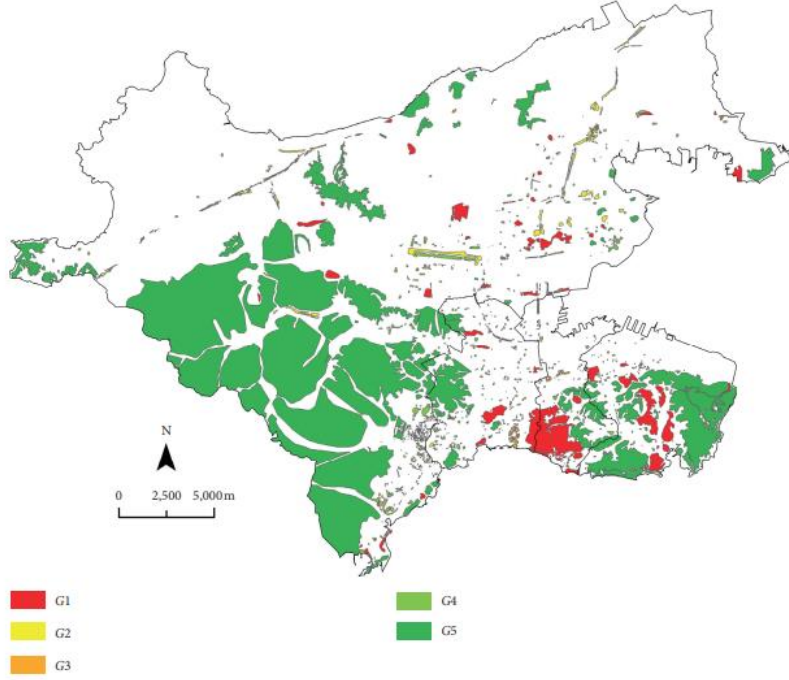
2019'daki GF1 (Çin uydusu) uydu verileri ve yukarıda bahsedilen üç fraktal model temelinde, Çin'in Dalian şehir merkezindeki bir yeşil alan sisteminin formlarının ve yapılarının karmaşıklığı incelenmiştir. Araştırma ve hesaplamalar sonucunda, çevre ölçekli model tarafından ölçülen sınır boyutunun 0.64-1.40 olduğunu ve alan-çevre modeli tarafından ölçülen sınır boyutunun 1.79-1.99 olduğu öğrenilmiş olup; bu sonuçlar yeşil alan sınırlarındaki insan müdahalesinin derecesinin yüksek olduğunu ve yeşil alan mekansal yapılarının stabilitesinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Izgara alan ölçekli model tarafından ölçülen boyut 0,49-1,42 ve alan yarıçaplı model tarafından ölçülen ortalama yarıçap boyutu 0,35-0,76; bu sonuçlar yeşil alanların mekansal dağılım dengesinin düşük olduğunu ve yeşil alanların şehir merkezinde aşırı yoğunlaştığını öne sürmektedir.

Çeşitli yeşil alan türleri arasında ölçeklendirme aralığının karşılaştırılması yoluyla, yeşil alan büyümesini ve yeşil alan yerleşiminin kalitesini yansıtabilen kentsel yeşil alanların mekansal dağılımının karakteristik aralığı (gradyan yapısı) keşfedilmiştir. Dalian'daki yeşil alanların gradyan yapısı, 0–4000 m, 4000–8000 m ve 8000–16.000 m olmak üzere üç gradyan ile gruplandırılarak büyümelerdeki oran farklılıklarını ortaya koymuştur. Ortaya koyulan hipoteze göre en verimli alan büyümesi 0-4000 m aralığında gerçekleşmiş olup diğer bölgelerde de olumlu gelişimler gözlemlenmiştir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4. 6: Dalian çalışma alanı (Gong ve diğ., 2020).



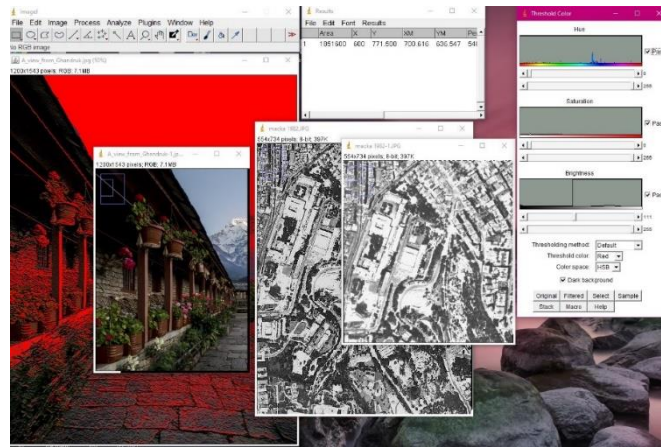
Şekil 4. 7: Çalışma yapılan yeşil alanların gruplandırılması (Gong ve diğ., 2020).

**Çizelge 4. 2:** Yeşil alan sınıflandırmaları (Gong ve diğ., 2020).

| Alan Numarası | Tip                      | İçerik ve kapsamı                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G             | Genel yeşil alan sistemi | Bütün yeşil alan tanımlarını içermektedir.                                                                                                                                          |
| G1            | Yeşil park alanları      | Temel işlevi rekreasyon olan, ekoloji, peyzaj, kültür eğitim ve acil durum risklerinden kaçınma işlevleriyle ve belirli rekreasyon ve hizmet tesisleriyle halka açık yeşil alanlar. |
| G2            | Korunmuş yeşil alanlar   | Arazi bağımsızdır. Sanitasyon, izolasyon, güvenlik ve ekolojik koruma işlevlerine sahiptir ve ziyaretçilerin yeşil alana girmesi uygun değildir.                                    |
| G3            | Yeşil meydanlar          | Rekreasyon, anma, toplanma ve riskten kaçınma gibi işlevlere sahip kentsel kamusal etkinlik mekanları için yeşil alan.                                                              |
| G4            | Yardımcı yeşil alanlar   | Kent içerisinde yukarıdaki tanımlara ait olmayan alanlardır(Patiolar, endüstriyel alanların içerisindeki yeşil alanlar vs.)                                                         |
| G5            | Ormanlık alanlar         | Ağaç ormanları da dahil olmak üzere ağaçların, bambuların ve çalıların büyüdüğü araziye ifade eder.                                                                                 |

### 4.3 ImageJ Programı ve Kentsel Analiz Uygulamaları

ImageJ, ABD Ulusal Sağlık Enstitüleri'nde geliştirilen ücretsiz bir halk kullanımına açık görüntü işleme yazılımıdır. Gücü ve esnekliği, tıptan astronomiye kadar birçok disiplindeki bilim adamları tarafından bir araştırma aracı olarak kullanılmasına olanak tanır (Url-7). Windows, MacOS,OSX ve Linux işletim sistemleri mevcuttur. ImageJ tarama (satır ve sütun) görüntü verilerini görüntülemek, açıklama eklemek, düzenlemek, kalibre etmek, ölçmek, analiz etmek, işlemek, yazdırmak ve kaydetmek için kullanılabilir. ImageJ ayrıca animasyon ve analiz için yığınları (tek bir pencerede birden fazla görüntü) destekler (Şekil 4.8).



**Şekil 4. 8:** ImageJ Windows İşletim sistemi arayüz görünümü örneği.

ImageJ programı kullanıcı tanımlı seçimlerin alan ve piksel değeri istatistiklerini hesaplayabilir. Mesafeleri ve açıları ölçebilir. Yoğunluk histogramları ve çizgi profili grafikleri oluşturabilir. Kontrast işleme, keskinleştirme, yumuşatma, kenar algılama ve medyan filtreleme gibi standart görüntü işleme işlevlerini destekler. Ölçekleme, döndürme ve çevirme gibi geometrik dönüşümler yapılabilir (Url-7).

Program, yalnızca kullanılabilir bellekle sınırlı olmak üzere, aynı anda istenildiği kadar görüntünün açılmasını destekler. Milimetre gibi birimlerde gerçek dünya boyutlu ölçümler sağlamak için mekansal kalibrasyon mevcuttur. Yoğunluk veya gri skala kalibrasyonu da mevcuttur (Url-7).

ImageJ, açık kaynaklı bir yazılım olarak, Richard Stallman tarafından 1986'da kullanıcı hizmetine sunulmuştur. Şekil 4.9'da gösterildiği gibi "ImageJ" penceresi bir menü çubuğu, araç çubuğu, durum çubuğu ve bir ilerleme çubuğu içerir. Resimler, histogramlar, çizgi profili vb. ek pencerelerde görüntülenir. Histogramlar ve grafikler, panoya kopyalanabilen, düzenlenebilen, yazdırılabilen ve kaydedilebilen sıradan görüntü pencereleridir (Url-7).



**Şekil 4. 9:** ImageJ menü çubuğu.

Menü çubuğundaki araçlar:

- \*1 Dikdörtgen Seçim Aracı↓ ve Yuvarlatılmış Dikdörtgen Seçim Aracı↓
- \*2 Oval Seçim Aracı↓, Eliptik Seçim Aracı↓ ve Fırça Seçim Aracı↓
- \*3 Çokgen Seçim Aracı↓
- \*4 Serbest Seçim Aracı↓
- \*5 Düz Çizgi Seçim Aracı↓, Parçalı Çizgi Seçim Aracı↓, Serbest Çizgi Seçim Aracı↓
- \*6 Açı Aracı↓
- \*7 Nokta aracı↓ ve çok noktalı araç↓
- \*8 Değnek Aracı↓
- \*9 Metin Aracı↓
- \*10 Büyüteç↓
- \*11 Kaydırma Aracı↓

**\*12 Renk Seçici Aracı↓**

**\*13 Diğer Araçlar Menüsü↓**

ImageJ bir sağlık enstitüsü tarafından yaratıldığı için öncelikle sağlık alanındaki pragmatist yaklaşım tarafından şekillendirildiğini vurgulamak önemlidir. ImageJ'in mevcut kullanıcı topluluğunun çoğu, biyobilimler ve ilgili yaşam bilimleri alanlarında toplanmıştır ve temel ImageJ geliştiricileri ve katkıda bulunanlar, baş araştırmacılar, personel, öğrenciler, danışmanlar vb. olarak biyogörüntüleme laboratuvarlarının bir parçasıdır. Bu nedenle, ImageJ'in şu anki gelişimi yönergeler biyogörüntülemedeki sorunları ele alma eğilimindedir. Bununla birlikte, çoğu görüntü işleme algoritması genel olarak uygulanabilir olmasıyla beraber diğer bilimsel alanlarda da ImageJ kullanımı popülerlik kazanmaya başlamıştır. Bu nedenle, yazılımı yalnızca biyogörüntü analizi için bir araç olarak kullanmaktan ziyade başka bilim dallarında da kullanımı hedeflenmektedir.

Programın oluşturulmasının temel sebeplerinden biri, bilimsel disiplinler arasındaki ortaklığı kullanmak ve diğerlerinin işbirliği yapması ve bunun faydalı olduğu durumlarda ImageJ'yi geliştirmesi için kapıyı açık bırakmaktır (Rueden ve diğ., 2017). ImageJ'in matematiksel analiz yapabilen algoritmasını kullanan bazı çalışmalardan örnek verecek olursak: Vrekousis ve diğ. (2009) yaptığı bir çalışmada ImageJ programını bir antikanser araştırmasında kullanmıştır.

ImageJ'in işlevselliği Java ile yazılmış eklentiler kullanılarak genişletilebilir. Eklentiler, yeni dosya biçimleri için destek ekleyebilir, görüntüleri filtreleyebilir veya analiz edebilir. ImageJ'in "eklentiler" klasöründe bulunan eklentiler, Eklentiler menüsüne otomatik olarak yüklenmiş bulunur veya Eklentiler/Kısayol Tuşları/Eklenti Yükle kullanılarak diğer menülere kurulabilirler. Şu an ImageJ veritabanında 150'den fazla eklenti paketi bulunmaktadır ve bu çalışmada analiz aracı olarak kullanılacak FracLac eklentisi, fraktal analizler üzerine üretilmiş bir çözümleme yöntemidir.

#### **4.3.1 ImageJ ile kentsel analiz uygulamaları**

ImageJ, sağladığı imaj analizleri ile kentsel tasarım ve çözümlemelere de katkıda bulunur.

Yapılmış olan örnek çalışmalardan bahsedilecek olursa;

2021 yılında İlhan ve Gürsakar'ın yayımladığı bir makalede Türkiye'deki tüm şehirlerin fraktal boyutları ve boşluk katsayıları(lakunarite değerleri), ImageJ yazılımı ve bir FracLac eklentisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre 81 Türkiye şehri 10 kümeye ayrılmıştır.

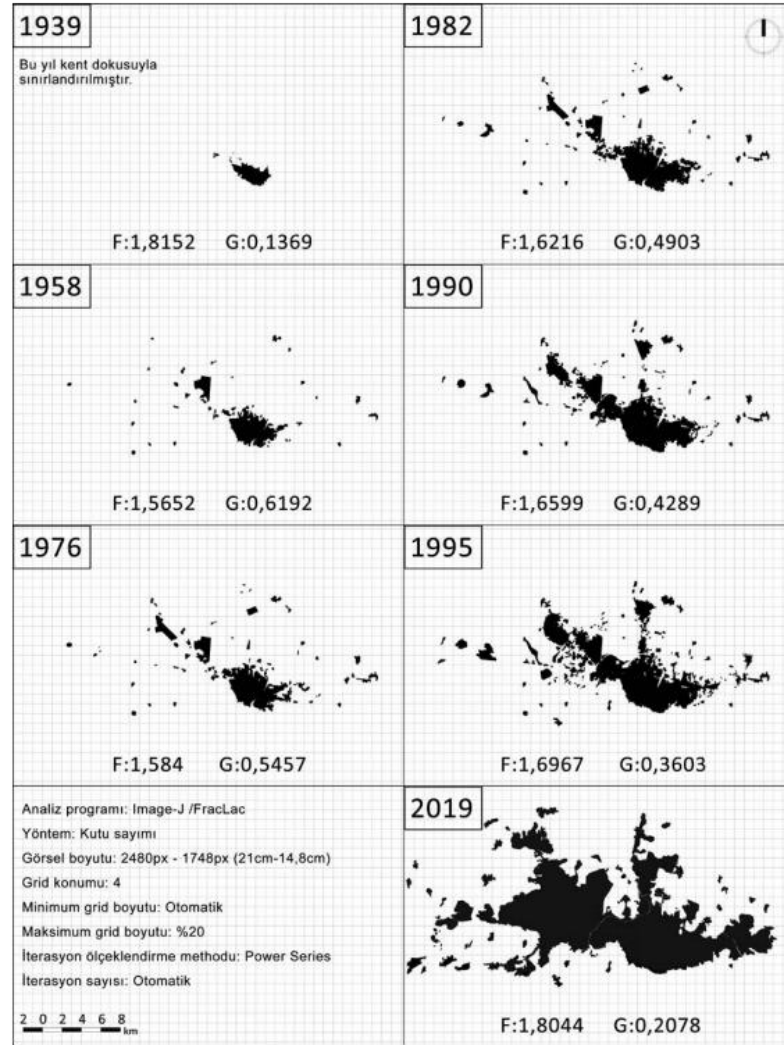
“Genel olarak büyük şehirler birbirine benzemektedir” diye belirtilmiş olsa da, Türkiye şehirlerinin benzerliklerini fraktal boyutlar ve lakunarite katsayıları kullanarak çok değişkenli bağlamda incelendiğinde, küçük şehirlerin daha çok birbirine benzediği ortaya çıkmıştır. Araştırmanın sonunda fraktal ve lakunarite analizlerinin kentsel dokuların fiziksel sınıflandırmasında tutarlı sayısal veriler sağladığı bulunmuştur (İlhan ve Gürsakar, 2021). Bu kapsamda tamamı yazarlar tarafından hazırlanan, kentsel doku karakterini en detaylı ve güvenilir şekilde yansıttığı düşünülen ve baz olarak Google Maps haritaları kullanılan “yol ağı” desenleri oluşturulmuştur. Bu oluşturulan desenlere göre ImageJ uygulaması ve FracLac eklentisi kullanılarak analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bir çizelge oluşturulmuştur (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4. 3:** Fraktal boyutların ve boşluk katsayılarının ilk 10 ve son 10 değerleri. (İlhan ve Gürsakar, 2021).

| Cities    | Fractal dimension | Cities    | Lacunarity |
|-----------|-------------------|-----------|------------|
| Ankara    | 1,7708            | Kırşehir  | 1,0879     |
| Kocaeli   | 1,7431            | Hakkari   | 1,0455     |
| Antalya   | 1,7308            | Çanakkale | 1,0449     |
| Adana     | 1,7299            | Izmir     | 1,0232     |
| İstanbul  | 1,7199            | Batman    | 0,9978     |
| Bursa     | 1,7113            | Nevşehir  | 0,9903     |
| Düzce     | 1,7013            | Bilecik   | 0,9464     |
| Kayseri   | 1,6959            | Çankırı   | 0,9323     |
| Konya     | 1,6939            | Manisa    | 0,9277     |
| Denizli   | 1,6926            | Gaziantep | 0,9271     |
| ...       | ...               | ...       | ...        |
| ...       | ...               | ...       | ...        |
| ...       | ...               | ...       | ...        |
| Mardin    | 1,4889            | Niğde     | 0,6233     |
| Bayburt   | 1,4856            | Trabzon   | 0,6075     |
| Kırşehir  | 1,4806            | Giresun   | 0,6012     |
| Çanakkale | 1,4771            | Edirne    | 0,5930     |
| Tunceli   | 1,4581            | Sinop     | 0,5851     |
| Gümüşhane | 1,4580            | Ardahan   | 0,5726     |
| Kars      | 1,4467            | Artvin    | 0,5506     |
| Bilecik   | 1,4220            | Düzce     | 0,5467     |
| Çankırı   | 1,3899            | Zonguldak | 0,4578     |
| Bitlis    | 1,3425            | Kocaeli   | 0,4450     |

Araştırma ve hesaplamalar sonucu ortaya çıkan fraktal boyut ve lakunarite değerlerine göre şehirler hiyerarşik kümeleme diyagramları içerisine yerleştirilmiştir. Kümelere bakıldığında, benzer hesaplamalara sahip şehirlerin büyük ve küçük ölçekli olduğu söylenmiştir. Buna istinaden orta-büyük, küçük ve orta büyüklüktekilerin aynı kümede yer almasının muhtemel olduğu gözlemlenmiştir.

Başka bir zamansal ve kentsel morfolojik çalışmada, Şekil 4.10'da Bursa'nın 1939-2019 yılları arasındaki gelişimi kentsel ölçekte yedi şehir haritası üzerinden araştırılmış; farklı kentsel konumlara sahip dokuz alt bölgenin 2006-2019 haritalarının bölgesel ölçekte fraktal ve lakunarite analizleri yapılmıştır. Tüm değerlere bakıldığında kent dokusunun farklı ölçeklerinde benzer süreçlerin yaşandığı (fraktal boyutların arttığı, lakunarite katsayılarının azaldığı) görülmüştür (İlhan ve Ediz, 2019).



**Şekil 4. 10:** Bursa kent dokusunun farklı yıllardaki fraktal ve gözeneklilik değerleri (İlhan ve Ediz, 2019).

#### 4.3.2 FracLac eklentisi

FracLac, ImageJ için tasarlanmış yaklaşık 150 adet eklentiden biridir. Avustralya, Charles Sturt Üniversitesi Fen Fakültesi Toplum Sağlığı Okulu'ndaki bir laboratuvar tarafından geliştirilen ve sürdürülen ücretsiz bir yazılımdır. Temel kutu sayma

algoritması, orijinal olarak ImageJ'in kutu sayma algoritmasından ve H. Jelinek'in NIH Image eklentisinden değiştirilerek geliştirilmiştir. NIH Image, MacOS için kamuya açık bir görüntü işleme ve analiz programıdır. ABD Ulusal Sağlık Enstitüleri'nin (NIH) bir parçası olan ABD Ulusal Ruh Sağlığı Enstitüsü'nün (NIMH) Araştırma Hizmetleri Şubesi'nde (RSB) geliştirilmiştir. Açık kaynaklı bir yazılım olan FracLac, bir dizi fraktal analiz ve morfoloji işlevinin analizinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

FracLac eklentisinin temel yaklaşımı şu şekildedir: Hangi tür fraktal analiz yapıyorsa yapılsın, her zaman bir tür fraktal boyuta dayanır. Fraktal boyutun pek çok türü vardır, ancak hepsi tek bir kategoride toplanabilir, bu da kaos yani karmaşıklık terimidir. Fraktal analizde karmaşıklık, ölçekteki değişikliklerle birlikte ayrıntıdaki değişikliklerdir.

Ölçek ve ayrıntı arasındaki ilişkiyi bulmak için bir fraktal boyutu hesaplamak her zaman kolay değildir, çünkü ölçek ve detay arasındaki ilişki her zaman kolayca gözlemlenebilir değildir. Bu nedenle, fraktal analistler tarafından fraktal boyut hesaplamalarını dolaylı olarak değerlendirmek için yöntemler geliştirilmiştir (bkz. Fraktal Hesaplama Yöntemleri).

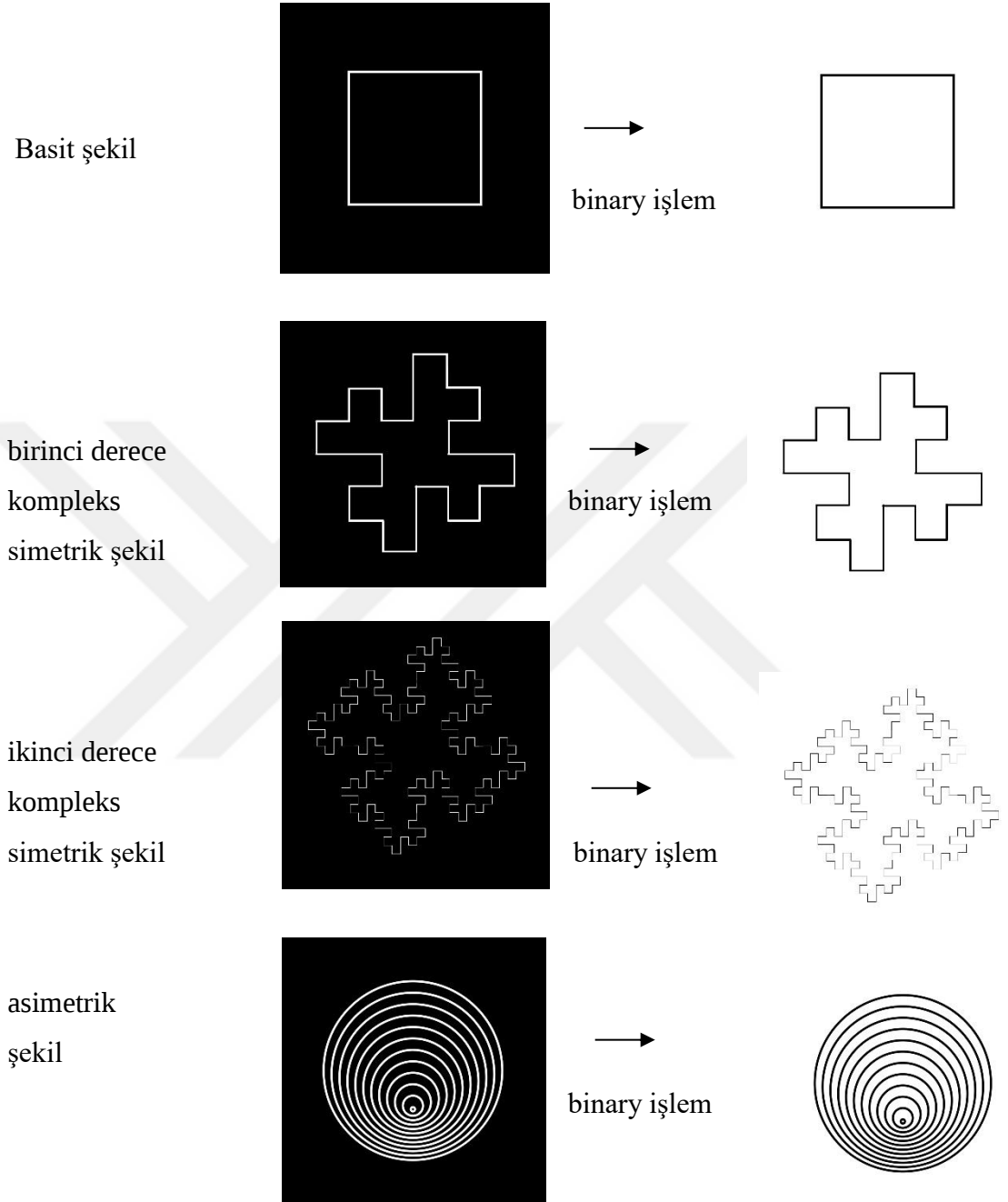
Geliştirilen bu yöntemlerin birinde karmaşıklığın değerini, değişen ölçekle (örneğin, büyütme veya mikroskopide çözünürlük) elde etme oranından çıkarımlar yapmanın yolları aranmış olup ve fraktal boyutuna yeterince yakın olduğu düşünülen bir boyut rakamı atanmıştır. Bu da yeni bir fraktal boyut hesaplama yöntemi olan Kutu Sayma Yöntemini doğurmuştur (Url-8). FracLac'te kutu sayma boyutu Db olarak ifade edilir. FracLac tarafından kullanılan, ölçek ve ayrıntıya yaklaşan bu tür verilerden fraktal bir boyut bulmak için temel denklem, ölçeklendirme kuralı şu şekildedir:

$$Db = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} [\log N_{\epsilon} / \log \epsilon]$$

N: bölünen kutu sayısı    ε: iterasyon sayısı(?)

FracLac hesaplamalarında temel prosedür, bir görüntü üzerine bir dizi azalan kalibre ızgarasını (kutular) sistematik olarak yerleştirmek ve ardışık her kalibre için verileri kaydetmektir. Kutu sayma işlevi genellikle her ızgaradaki kutulardan kaçının içinde görüntüdeki ayrıntıların herhangi bir parçasına sahip olduğunu saymak olarak tanımlanabilmektedir.

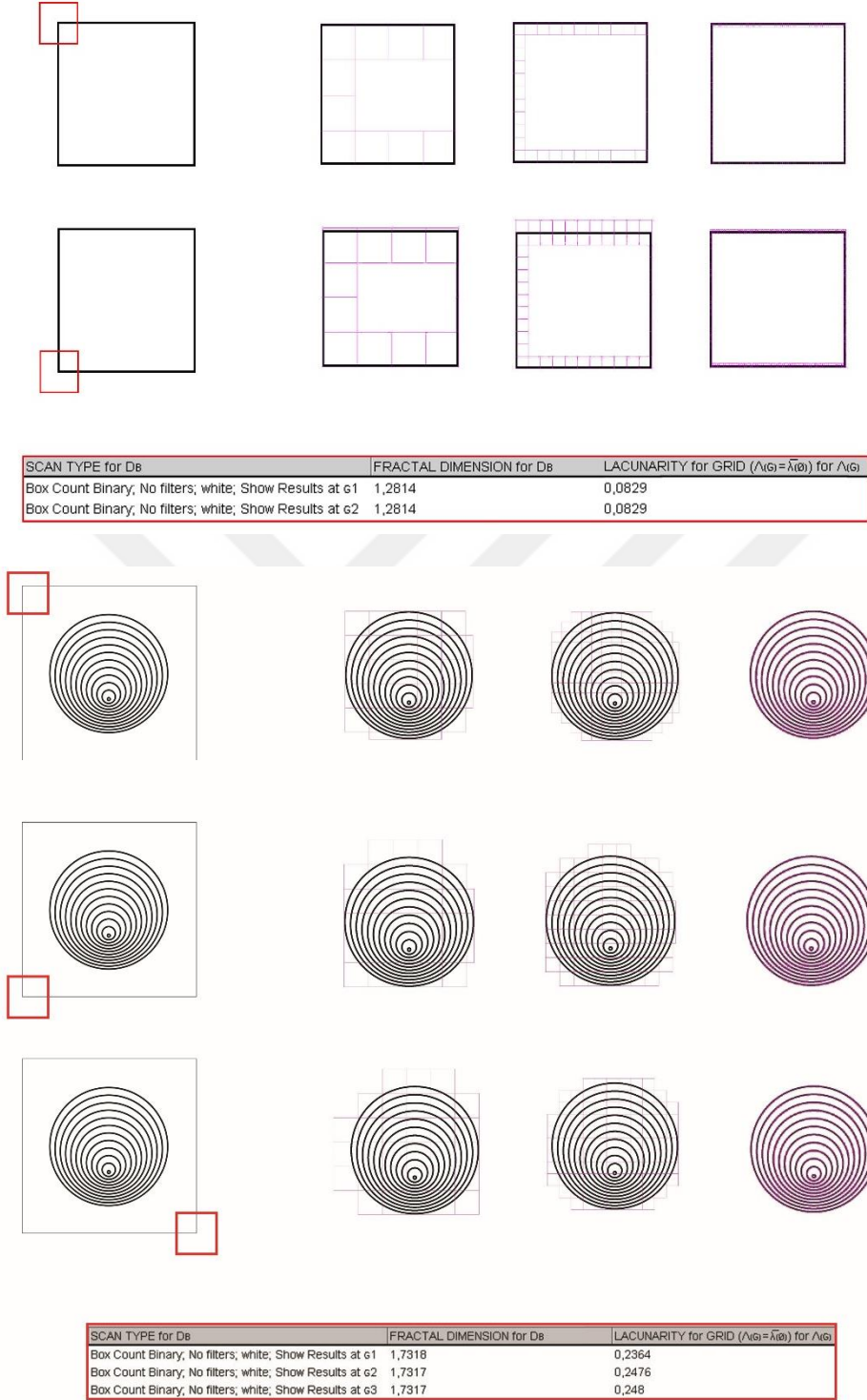
FracLac'in tez kapsamında kullanılma şemaları (Şekil 4.11):



**Şekil 4. 11:** FracLac binary işlem diagramı.

Binary (iki bileşenli) dönüşümü, FracLac eklentisinin doğru ve analitik çalışması için gerekli bir işlemdir. İşlem binary adını dönüştürdüğü imajları sadece siyah-beyaz renklerde tanımladığı için almıştır. Siyah-beyaz tanımlaması da alan çalışmalarında kullanılacak olan lakunarite hesaplamaları yapmak için kullanılmıştır. İki boyutlu

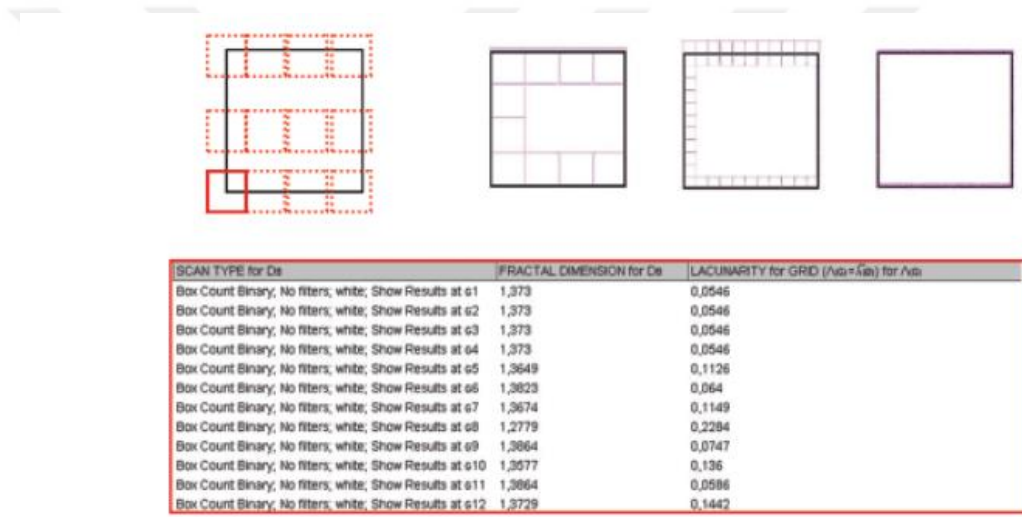
düzlemde yapılacak çalışmalar için analizler bu hesaplamalara dayandığından bu süreç için önemli bir faktördür.



**Şekil 4. 12:** Image J tabanlı Fractal eklentisinin çalışma prensibi.

Yapılan ilk deneysel hesaplamada basit şekil olarak adlandırılan bir kare şekil analiz edilmiştir. İki farklı hesaplama biçimi olarak ifade edilen bu imajlar arasındaki farklılık, kutu sayma işleminin başlangıç noktalarının farklı olmasından

kaynaklanmaktadır. (Başlangıç noktaları kırmızı kare kutu ile ifade edilmiştir, G1-G2)(Şekil 4.12). Fakat gözlemlendiği üzere bu şeklin fraktal boyut hesaplamaları ve lakunarite sonuçlarında bir farklılık yoktur. Bunun yanı sıra ikinci deneysel çalışmada 3 farklı başlangıç noktası (G1-G2-G3) denenmiştir. Ancak burada elde edilen sonuçlarda farklılık görülmüştür. Bu farklılığın temel sebebi analiz edilen şeklin tamamen simetrik olmamasından kaynaklıdır. Bu yüzden de başlangıcın nereden yapıldığı bu analiz sonuçlarını etkilemiştir. Bunlara ek olarak simetrik bir şekle 4 ten daha fazla başlangıç noktası tanımladığında, simetrik şekillerde de hesaplamalarda ufak da olsa farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu da kutu sayımına nereden başlandığı ile alakalıdır. Şekil 4. 13'te bununla ilgili şematik çizimlere yer verilmiştir. Belirtilmiş olan başlangıç noktaları sembolize edilerek gösterilmiştir.



**Şekil 4. 13:** Fractal eklentisinin çoklu başlangıç noktalı çalışma prensibi.

Bunlarla beraber bu grafiklerle anlatılmak istenen başka bir FracLac özelliği de istenilen kadar başlangıç noktası atanabilmesidir. Bu noktada FracLac kullanıcıya 12 başlangıç noktasına kadar hesaplama yapmayı önermektedir. Çünkü bu noktaların sayısı arttıkça programın hesaplama süreleri uzamaktadır (Tez çalışmaları sırasında maksimum 32 başlangıç noktası denenmiştir).

Buna ek olarak tez kapsamında yapılacak olan alan çalışmaları kent olgusunun önemli bir parçası olan yeşil alanlar olduğu ve bu alanlar da asimetrik desenler gibi davrandığı için programın örnek şemada görüldüğü üzere başlangıç noktalarına istinaden birbirlerine her ne kadar yakın olsalar da farklı sonuçlar ortaya süreceğini gözlemlemekteyiz. Bu durumlar karşısında yapılacak hesaplamalar için bazı kabuller yapılması gerekmektedir. Ön görülen 2 alternatif kabul vardır: Birincisi, farklı

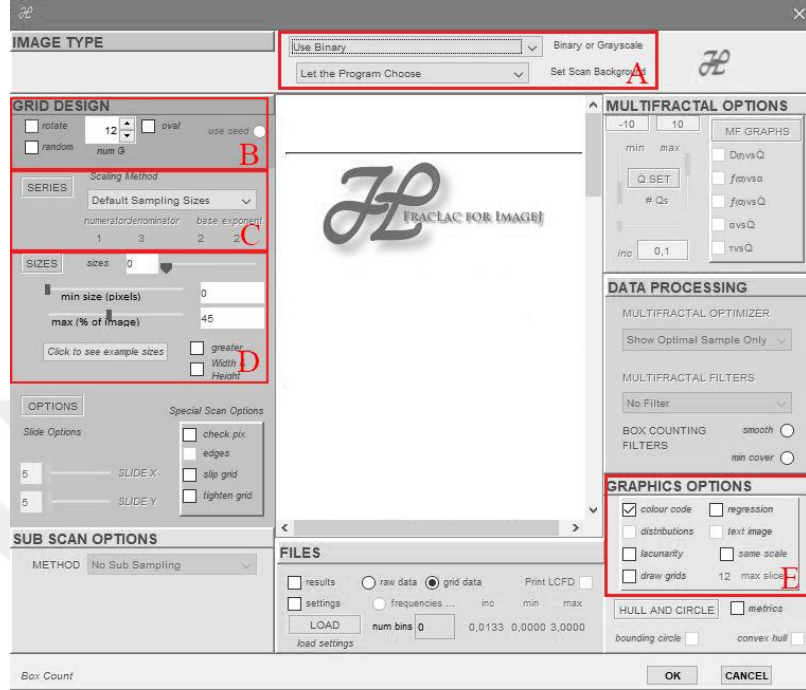
başlangıç noktalarından elde edilen farklı hesaplamaların ortalamasını alıp bu şekilde tek bir fraktal boyut belirlemektir. İkincisi de belirli bir başlangıç noktası belirleyip o nokta üzerinden yapılan hesaplamaları göz önünde bulundurarak çalışmaların devam ettirilmesidir.

Bir önceki paragrafta belirtildiği üzere her haritanın programda belirtilen sayıda grid pozisyonu ile taranması ve elde edilen değerlerin ağırlıklı ortalamasının ana değer olmasıdır. Bahsedilen her iki alternatif fraktal boyut belirleme yönteminden birisi seçilmiş olup her bir ölçüm dört farklı grid pozisyonu ile yapılmıştır. Ağırlıklı ortalama olarak bahsedilen tanım, bu 4 farklı grid pozisyonu için ortaya çıkan hesaplama değerlerinin ortalamasıdır.

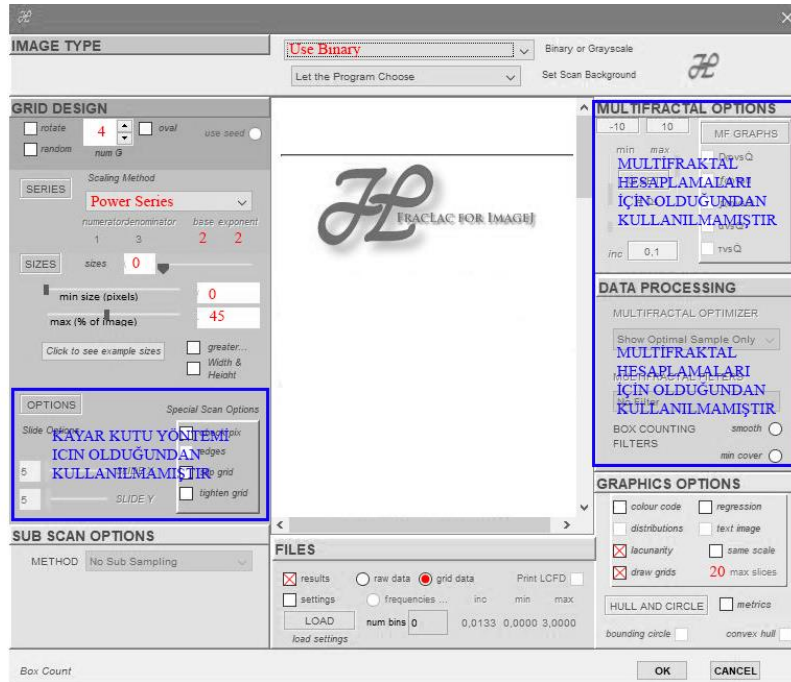
FracLac eklentisinin temel kullanım sebeplerinden biri de görüntüyü tarama yöntemine göre maksimum ve minimum kutu boyutları tanımlandıktan sonra yineleme sayısını otomatik olarak ayarlamasıdır.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda, kutu sayma tarama yöntemi olarak en büyük kutunun tamsayı çarpanları anlamına gelen bağıl boyutları belirlenmiş; haritanın %45'i kadar maksimum kutu boyutu; min kutu boyutu %0 olarak programın anlamlı en küçük kutu boyutunu otomatik olarak belirlemesi için tanımlanmıştır (program dahilinde 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 gibi piksel cinsinden bir ızgara boyutu dizesi elde edilmektedir).

FracLac eklentisi hesaplamalar yaparken yukarıda bahsedilen parametrelerin belirlenmesine ihtiyaç duymaktadır. Bunlar program ara yüzünde şu şekilde ifade edilmektedir (Şekil 4.14):



Şekil 4. 14: FracLac eklentisi arayüzü.



Şekil 4. 15: FracLac değişen parametreler.

Şekil 4.15' te hesaplamalar için kullanılacak olan parametre sekmelerine yer verilmiştir.

İmaj/Desen Tipi:

A: Piksellere gri tonlama ya da 2 modlu tonlama ile ulaşmayı sağlar.

Izgara tasarımı:

B: Başlangıç noktası: Başlangıç noktası sayısını ve başlangıç noktasının konumunun rastgele seçilip seçilmeyeceğini belirler.

C: Seriler: Bir görüntüde kutu sayım yöntemi kullanılırken ölçeklemeyi tanımlamak için kullanılır.

D: Boyutlar: Ölçeklendirme tipi seçildikten sonra görüntünün bir seride kullanılacak olan ızgara kalibrelerinin sayısını ve ilk kutuda kapsayacakları alanı belirlemek için kullanılır.

Grafik seçenekleri:

E: Görüntülerin renklendirilmesi ya da farklı grafiksel göstergelerin sağlanabilmesi için kullanılır.

Şekil 4.15'te hesaplamalar için kullanılacak olan değişkenlerin nasıl kullanıldığına dair bilgilendirme yapılmıştır.

A: İmajların fraktal boyut ve lakunarite hesaplarını doğru yapabilmesi için iki modlu (siyah-beyaz) olan görüntü modeli seçilmiştir.

B: Başlangıç noktası olarak en optimum sonuç ve ağırlıklı ortalamayı sağlayabilecek olan 4 farklı noktadan kutu saymaya başlaması belirlenmiştir.

C: Power Series adı verilen piksellerin üslü bir şekilde program hesaplamalarına dahil edilmesini sağlayan ve ona göre sayılan kutu boyutlarını ölçeklendiren ölçeklendirme tipi seçilmiştir. Örnek:  $2^2$  ,  $(2^2)^2$  ,  $((2^2)^2)^2$ ...

D: Olabilecek en küçük piksel boyutu 2 ve görüntülerde en az 2 kutu görmemizi sağlayacak olan görüntünün maksimum kutu değeri görüntü boyutu x %45 olarak belirlenmiştir.

E: Renk kodları analiz yöntemlerine dahil edilmediğinden o seçenek etkisizleştirilmiştir. Ek olarak programdan lakunarite hesapları yapılması ve kutu sayma yönteminin bir parçası olan ızgara tiplerinin görülmesi aktifleştirilmiştir. Maksimum grid oluşturma sayısı 20 olarak belirlenmiştir (20 kutu sayım ızgara tipini ifade eder.).

Bunlara ek olarak sonuçların kaydedilebilmesi için ızgara verileri ve sonuçlar kısmı aktive edilmiştir.

## 5. FRAKTAL BOYUT VE LAKUNARİTE HESAPLAMALARI İLE PARKLARIN ANALİZLERİ

Tez kapsamında yapılmış olan alan çalışmalarında dört farklı park seçilmiş olup bu parklara ait fraktal boyut ve lakunarite hesaplamaları yapılmıştır. Bu dört parkın seçilmesinin öncelikli nedeni yapım dönemlerinin birbirlerinden farklı olmasıdır. Çalışma içerisinde dönemsel hesaplamalardan yararlanılacağı için bu parametreye dikkat edilmiştir. Daha sonrasında birbirinden farklı büyüklüklerde alanlar olması da göz önünde bulundurulmuştur. Bunlara ek olarak, parkların işlevsel olarak da farklılıkları göz önünde bulundurulmuş olup, konum çeşitliliğine de yer verilmek istenmiştir. Bunların sayesinde farklı parklara ait sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldığında elde edilmiş hesaplamaların farklı olabileceği varsayılmıştır.

Daha önceden de bahsedildiği üzere tez kapsamındaki tüm hesaplamalar için Image-J programı ve FracLac eklentisi kullanılmıştır. Fraktal boyut için karmaşık dokuların fraktal analizi yapılırken en sık kullanılan kutu sayma yöntemi tercih edilmiş ve kutu sayım taraması sırasında lakunarite olarak tanımlanan boşluklar da otomatik olarak hesaplanmıştır. Algoritma gereği kutu sayma yönteminde, dolulukların siyahla ve boşlukların beyazla temsil edildiği ikili (binary) görüntü, her yinelemede farklı kutu boyutlarına sahip bir ızgara ile kaplanır. Her iki iterasyonda hesaplanan verilerle dolu kutu sayısı ve harita ile çakışan gridin kutu boyutu değişiminin logaritmik oranı kutu sayma fraktal boyutunu (Db) vermektedir (Ediz ve Ostwald, 2012).

Program kapsamında kullanılan denklem:

$$D_{B(1-2)} = [\log(N_{(S_2)}) - \log(N_{(S_1)})] / [\log(1/S_2) - \log(1/S_1)]$$

Denklemde;

$N_{(S_2)}$ : Bir sonraki iterasyonda veri içeren kutuların sayısı;

$N_{(S_1)}$ : Bir önceki iterasyonda veri içeren kutu sayısı;

$1/S_2$ : Sonraki iterasyonda kutu boyutu;

$1/S_1$ : Önceki iterasyondaki kutu boyutudur.

Seçilen analiz yöntemi olan kutu sayma metodunda, hesaplamaların doğruluğu ve objektif sonuçlara ulaştırması nedeniyle Gong ve diğ. (2020) tarafından belirlenen 3 fraktal boyut modelinden “grid” model üzerinden ilerlenmiş bulunmaktadır (şekil 4.8c).

### 5.1 Park Alanları ve Kullanılan Kısıtlamalar

Yapılan alan çalışmalarında öncelikli olarak kutu sayma yöntemi uygulanırken kent parklarının iki boyutlu bir plana dönüştürülmesi gerekmektedir. Google Earth ve Global Human Settlement Layer tarafından sağlanan havadan görüntü ve ölçeğe dayalı olarak AutoCAD ve AllPlan programları tabanlı iki boyutlu çizimler üretilmiştir. İnternet üzerinden toplanan ve yerinde çekilen fotoğraflar da günümüzdeki görüntü ayrıntılarını doğrulamak için kullanılmıştır.

'Yeşil alan' genellikle kaldırım, heykeller ve küçük bina yapıları gibi sert zemin öğelerinin aksine imen, alılar, iek tarhları ve ağaçlar gibi 'yumuşak peyzaj' öğelerinden oluşan bir alanı ifade eder. Hesaplamalar yapılırken standart sapma gibi komplikasyonları önlemek aşağıdaki kısıtlamalar kullanılmıştır:

- a. Araştırmanın niteliği, parklardaki yeşil alan ve diğer zemin tanımlarının ayrımını esas aldığından, yalnızca zemindeki yumuşak peyzaj ve sert peyzaj arasındaki sınıra dikkat edilir. Tüm bitkilendirmelerin içinde olduğu bir çim alanın kapalı taslağı, tek bir yeşil alan varlığı olarak kabul edilir.
- b. Kaynak görüntünün çözünürlüğü ve doğruluğu ile sınırlı olan piksel detayları dikkate alınmadan hesaplamalar yapılacaktır. En uzun boyutu 0,5 m'den az olan herhangi bir izole yeşil alanın göz ardı edilmesine karar verilmiştir. Aynı kural yeşil alan içerisinde izole edilmiş sert zeminler için de geçerlidir. Böyle bir detay yeşil alanın genel dağılımında küçük bir rol oynadığından analizler üzerindeki etkisi hesaba katılmayacaktır.
- c. Çalışma sadece yerdeki iki boyutlu özelliklerle ilgilidir. Herhangi bir yumuşak zemine ait ağaç glgesiği gibi yerden yükseltilmiş elemanların Z düzlemindeki etkileri araştırılmayacaktır. Bununla birlikte, kaldırımda bir ağaç veya çalı dikim çukuru olabilir. Boyutları 0,5 m'den büyükse yeşil alan olarak kabul edilecektir.
- d. Su elementleri yeşil alandan hariç tutulmuştur.

e. Yeşil bir alanda yer alan aydınlatma armatürleri, dış mekan mobilyaları, sert malzemelerle çevrili çiçeklikler, çöp kutuları ve rögar kapakları, boyutları ne olursa olsun dikkate alınmamıştır. Kaldırım alanlarında geçici olarak sergilenecek süs saksıları da dikkate alınmayacaktır.

Bu çalışmada ele alınan dört park şunlardır:

\*Bebek Parkı

\*Göztepe 60. Yıl Parkı

\*Emirgan Parkı

\*Maçka Parkı.

### 5.1.1 Bebek Parkı

Bebek Parkı, İstanbul'un Beşiktaş ilçesinde olup Mısır Konsolosluğu'nun yanında halk kullanımına açık bir durumdadır. Park ilk olarak 18. yy Hümayunabad Kasrı'nın bahçesi olarak düzenlense de 1908 II. Meşrutiyet döneminde kamu parkı fonksiyonunu kazanmıştır. Daha sonrasında 2008 yılında Sakıp Sabancı Vakfı tarafından park yenilenmiş olup tekrar kamu hizmetine sunulmuştur. Bu yenilemeyle beraber Türkan Sabancı Bebek Parkı ismini almıştır.

Türkan Sabancı Bebek Parkı 8.800 m<sup>2</sup> yeşil alan, 5.500 m<sup>2</sup> yürüme yolu, 1.000 m<sup>2</sup> oyun alanı ve 820 m<sup>2</sup> köpek gezdirmeye yeri olmak üzere toplam 16.000 m<sup>2</sup> arazi üzerinde düzenlenmiştir. Yeni düzenlenen park, İtalyan Mimar Ermanno Casasco ve ekibinin çalışmasıyla hizmete açılmıştır. Park içerisindeki mevcut yaşları yüzyılları geçen ağaçlık alanlar korunurken yapılan peyzaj düzenlemeleri sonucunda süs bitkileri de ilave edilmiştir. Bebek Parkı'na ait uydu fotoğrafları Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 1: GoogleEarth 2002 yılı Bebek Parkı uydu fotoğrafı.



**Şekil 5. 2:** GoogleEarth 2010 yılı Bebek Parkı uydu fotoğrafı.



**Şekil 5. 3:** GoogleEarth 2021 yılı Bebek Parkı uydu fotoğrafı.

#### **5.1.2 Göztepe 60. Yıl Parkı**

Göztepe 60. Yıl Parkı İstanbul'un Kadıköy ilçesine ait olup Caddebostan mevkinde yer almaktadır. Park açılmadan önce bulunduğu alanda pek çok yapı ve onarım çalışması gerçekleştirilmiştir. Park 1983 yılında adından anlaşılacağı üzere Cumhuriyet'in kuruluşunun 60. Yıl dönümüne istinaden hizmete açılmıştır.

Park 2013 yılında tematik bir park halinde tekrar tasarlanmıştır. Total alanı  $80.473 \text{ m}^2$  olup bunun  $53.142 \text{ m}^2$  si tamamen yeşil alana ayrılmıştır. Tematik park konseptiyle beraber park içerisindeki fonksiyon dağılımları şu şekilde gerçekleşmiştir; yeşil alan:  $53.142 \text{ m}^2$  ( $39.882 \text{ m}^2$  çim alan), gül bahçesi:  $8.600 \text{ m}^2$ , sert zemin:  $27.332 \text{ m}^2$ , iki adet çocuk oyun alanı:  $3.350 \text{ m}^2$ , egzersiz alanı:  $176 \text{ m}^2$ , kuru havuz:  $1.250 \text{ m}^2$ , biyolojik gölet:  $1.000 \text{ m}^2$ , süs havuzu:  $21 \text{ m}^2$ . Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait uydu fotoğrafları Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'te gösterilmiştir.



**Şekil 5. 4:** GoogleEarth 2009 yılı Göztepe 60. Yıl Parkı uydu fotoğrafı.



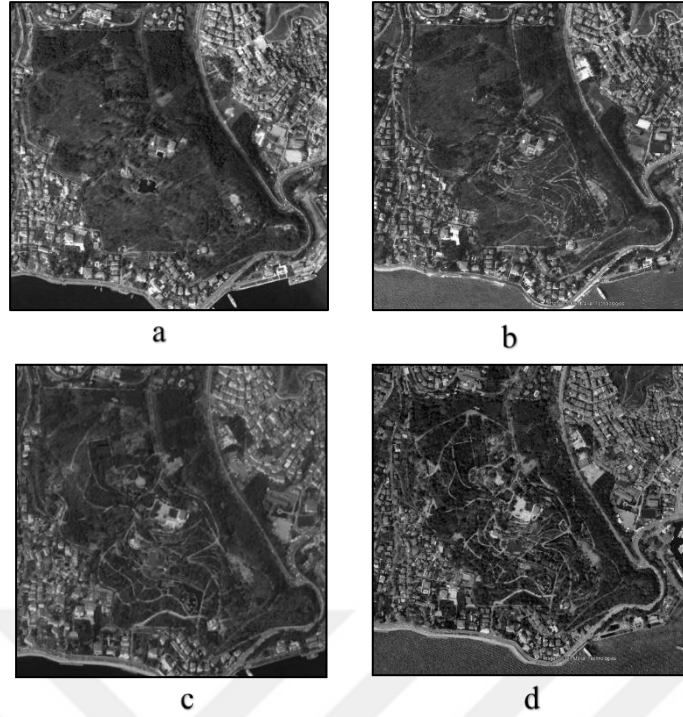
**Şekil 5. 5:** GoogleEarth 2017 yılı Göztepe 60. Yıl Parkı uydu fotoğrafı.



**Şekil 5. 6:** GoogleEarth 2021 yılı Göztepe 60. Yıl Parkı uydu fotoğrafı.

### 5.1.3 Emirgan Parkı

Emirgan Parkı ya da Emirgan Korusu olarak da bilinen park, Bizans döneminde “Kyparates” adıyla anılmaktadır. İstanbul ilinin en eski korusu özelliğini taşıyan bu park takribi 472.000 m<sup>2</sup> alana sahiptir. İlçenin ismi ve dolayısıyla da parkın ismi de 17. yy’da IV. Murat’ın İranlı Emir Güne Han’a hediye edilmesinden dolayı “Emirgan”a dönüşmüştür. 1871-1878 yılları arasında korunun içerisine 3 köşk inşa edilmiştir. Günümüze ulaşan bu köşkler Sarı Köşk, Pembe Köşk ve Beyaz Köşk olarak isimlendirilmişlerdir. 1940 yılında da park, kamulaştırılıp halkın hizmetine açılmıştır. Emirgan Parkı’na ait uydu fotoğrafları Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 5. 7:** (a) GoogleEarth 2002 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı, (b) GoogleEarth 2010 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı, (c) GoogleEarth 2017 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı, (d) GoogleEarth 2021 Emirgan Parkı uydu fotoğrafı.

#### 5.1.4 Maçka Parkı

Maçka Demokrasi Parkı olarak bilinen bu park, Kadırgalar Vadisi'nde yer almakta olup, parka ait bilgilere 19. Yüzyıl ortalarında rastlanmaktadır. Maçka Demokrasi Parkı'nda pek çok donatı alanı bulunmaktadır. Bu donatı alanlarına ek olarak Maçka'yı ve Taşkışla'yı bağlayan bir teleferik hattı da varlığını sürdürmektedir. Yaklaşık 156.000 m<sup>2</sup> hizmet alanı sunan park, 1993 yılında bir yenilenme süreci geçirmiştir. Bu süreç içerisinde ismine "Demokrasi" kelimesi eklenmiş olup daha önce bahsedilen teleferik hattı da inşa edilmiştir. Bu renovasyon sonrasında kullanıcı yoğunluğunda artış gözlenmiştir. Maçka Parkı'na ait uydu fotoğrafları Şekil 5.8 Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



**Şekil 5. 8:** GoogleEarth 2002 yılı Maçka Parkı uydu fotoğrafı.



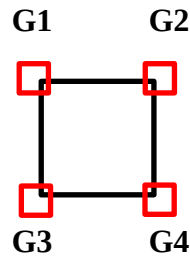
**Şekil 5. 9:** GoogleEarth 2014 yılı Maçka Parkı uydu fotoğrafı.



**Şekil 5. 10:** GoogleEarth 2021 yılı Maçka Parkı uydu fotoğrafı.

## 5.2 Tarihsel Süreç İçerisinde Parkların Fraktal Boyut ve Lakunarite Değerlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması

Alan çalışmalarındaki hesaplamalar, Şekil 5.11’deki anlatıma istinaden yapılmış olup iki boyutlu ayarlanmış park çizimlerinde dört farklı kutu sayım başlangıç noktası (G1, G2,G3,G4) belirlenmiştir. Sonuç hesaplamaları dönemsel hesaplamalarda bu dört noktadan elde edilen verilerin ağırlıklı ortalamasından belirlenmiştir.



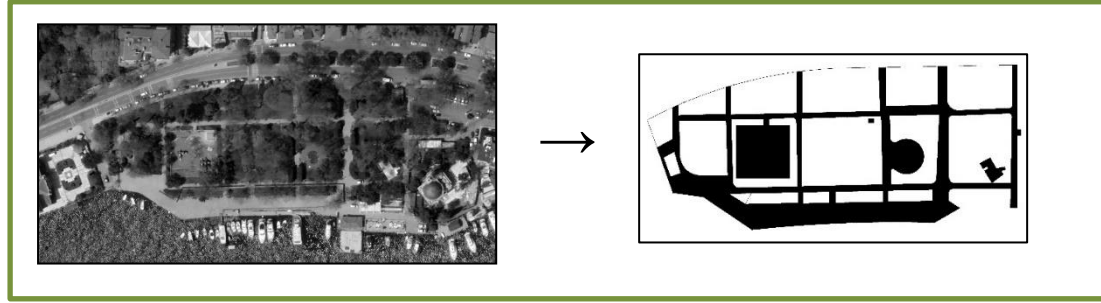
**Şekil 5. 11:**Kutu sayım başlangıç noktaları.

### 5.2.1 Bebek Parkı hesaplamaları

Bebek Parkı için yapılmış olan analizlerde dönemsel hesaplamalara yer verilmiştir. Parka ait olan 2002, 2010 ve 2021 yıllarına ait uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Bu tarihlerde hesaplama yapılmasının amacı parka ait değişiklik ve düzenlemelerin

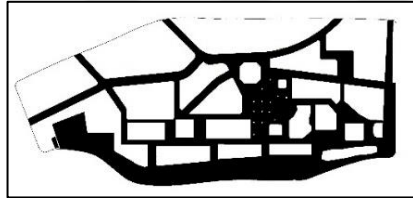
daha net bir şekilde gözlemlenebilmesidir. Park iki boyutlu çizimlere aktarılarak hesaplamaların kısıtlama ve kurallara uygunluğu ile analiz edilmiştir.

2021 yılına ait yapılan örnek ve her park haritası için uygulanan analizlerde Şekil 5.12’de gösterildiği gibi uydu fotoğrafları 2 boyutlu imajlar haline getirilmiştir.

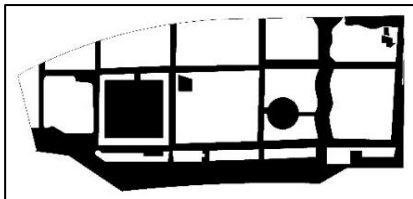


**Şekil 5. 12: Binary İşlem.**

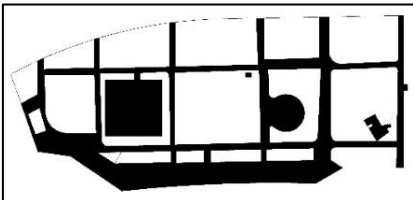
Şekilde gösterilen (Şekil 5.13) iki boyutlu haritalandırmalarda bazı dönemler arasında göze batan farklılıklar olmasıyla birlikte ilk bakışta gözlemlenemeyen değişiklikler de bulunmaktadır. Bu farklılıklara istinaden yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan çeşitlilikler, oluşturulan dönemsel fraktal boyut ve lakunarite sonuçlarına göre tablolanmıştır.



2002 yılına ait iki boyutlu harita



2010 yılına ait iki boyutlu harita



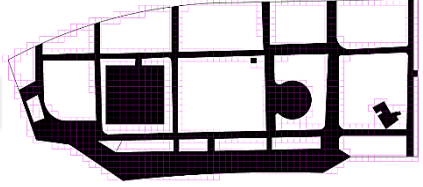
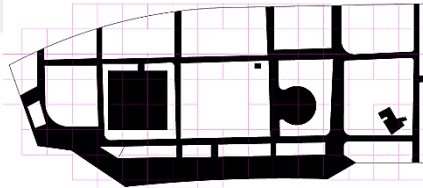
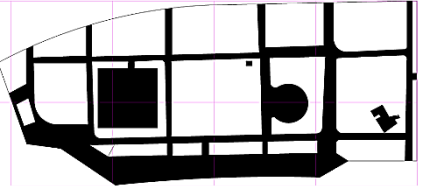
2021 yılına ait iki boyutlu harita

**Şekil 5. 13: Dönemsel Bebek Parklarına ait 2 boyutlu çizimler.**

Çizelge 5.1’de belirtildiği üzere, sayılan kutuların boyutları FracLac uygulamasının sağladığı seri özelliklerinden biri olan “üssel seri” moduyla belirlenmiştir. Bu moda

göre kutu boyutları 2 pikselden 256 piksele kadar değişiklik göstermektedir. Hesaplamalar yapılırken kutu boyutu değiştikçe taranan park çizimlerindeki sayılan kutu miktarı da değişmiştir. Hesaplamalar yapılırken 16 piksel ile 256 piksel arasındaki kutu boyutları dikkate alınmıştır. Çünkü 2 ve 4 piksel boyutları çok küçük olduğundan sadece çizgi taraması yapmış olup hesaplamalardaki doğruluğu etkileyebileceği gözlemlenmiştir. Bu çizelgede sadece 2021 yılına ait 3 adet kutu sayım işlemi gösterilmesiyle beraber, diğer bütün işlemler Ek A'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5. 1:** 2021 yılı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 16                      | 10289                         |    |
| 64                      | 94                            |  |
| 256                     | 9                             |  |

**Çizelge 5. 2:** Bebek Parkı 2002 yılı hesaplamaları.

| Başlangıç<br>Noktası | Fraktal Boyut<br>(Db)  | Lakunarite(Gözeneklilik)<br>Değeri ( $\lambda$ ) |
|----------------------|------------------------|--------------------------------------------------|
| G1                   | 1,7895                 | 0,2129                                           |
| G2                   | 1,7871                 | 0,2348                                           |
| G3                   | 1,7886                 | 0,2319                                           |
| G4                   | 1,7892                 | 0,2136                                           |
|                      | <b>Ağ. Ort.:1,7886</b> | <b>Ağ. Ort.: 0,2233</b>                          |

**Çizelge 5. 3:** Bebek Parkı 2010 yılı hesaplamaları.

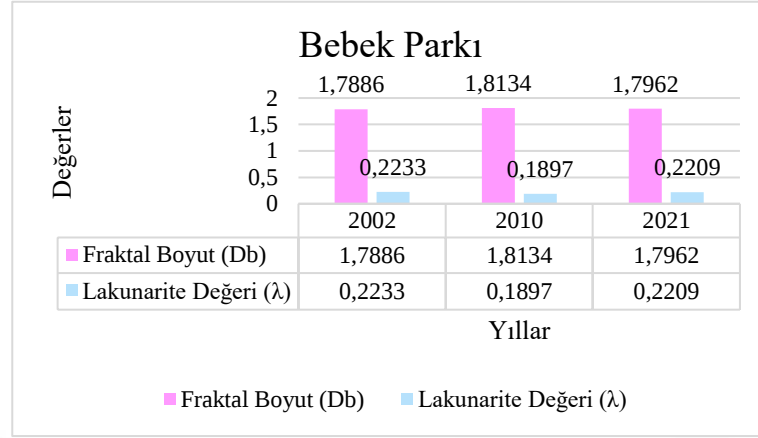
| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,8219                    | 0,1784                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,8068                    | 0,2041                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,8044                    | 0,1999                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,8152                    | 0,1763                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,8134</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,1897</b>                                       |

**Çizelge 5. 4:** Bebek Parkı 2021 yılı hesaplamaları.

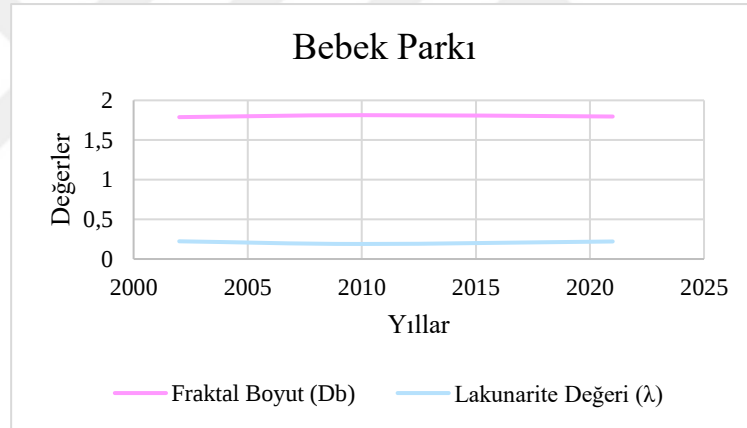
| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,7971                    | 0,2284                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,7943                    | 0,2154                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,7914                    | 0,2170                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,8019                    | 0,2228                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,7962</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,2209</b>                                       |

Yukarıdaki Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te gözlemlendiği üzere farklı kutu sayım başlangıç noktalarına ait yapılmış olan hesaplamalara yer verilmiştir. Sonuçlardaki çeşitliliklerden dolayı program dahilinde ortalama hesaplamaları yapılmıştır. Bebek Parkına ait olan dönemsel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldığında 2010 yılındaki haritada 2002 yılına göre fraktal boyutlarda artış, lakunarite değerlerinde de düşüş gözlemlenmiştir. Bunun ifade ettiği durum; desen daha karmaşıklaşmış olup gözeneklilik (lakunarite) durumu azalmıştır. Gözeneklilik durumunun azalmasıyla beraber park deseni daha sıkı ve homojen bir imaj haline dönüşmüştür. Buna istinaden 2010 ve 2021 yıllarına ait haritalar karşılaştırıldığında, fraktal boyutta azalma, lakunarite değerlerinde artış görülmektedir. Bu üç tablo aynı anda karşılaştırıldığında her iki değer için de dalgalı bir değişim olduğu gözlemlenmiştir(Şekil 5.14). Bu da fraktal boyut için belirli bir yıl aralığında önce

yükseliş daha sonra düşüş, gözeneklilik değerleri için de aynı aralıklarda öncelikle düşüş ardından yükseliş grafiğine geçtiğini göstermektedir (Şekil 5.15).



**Şekil 5. 14:** Bebek Parkına ait hesaplamaların sütun grafiği.

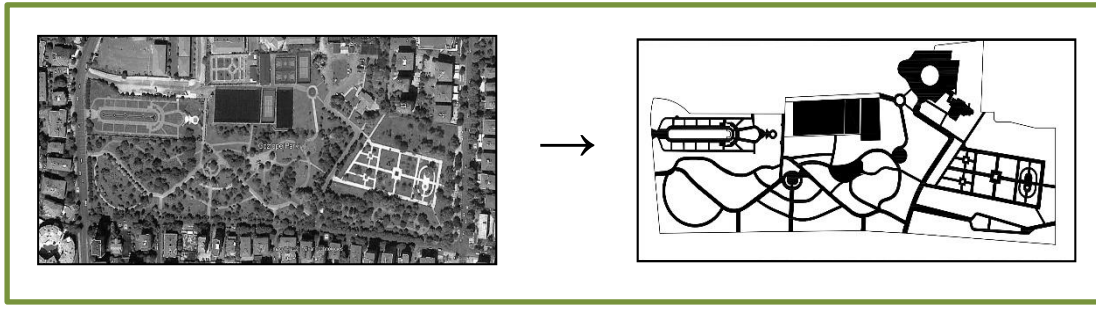


**Şekil 5. 15:** Bebek Parkına ait hesaplamaların çizgi grafiği.

### 5.2.2 Göztepe 60. Yıl Parkı hesaplamaları

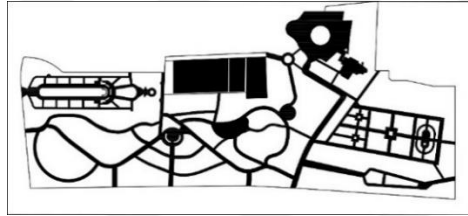
Göztepe 60. Yıl Parkı için yapılmış olan analizlerde dönemsel hesaplamalara yer verilmiştir. Parka ait olan 2009, 2017 ve 2021 yıllarına ait uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Bu tarihlerde hesaplama yapılmasının amacı parka ait değişiklik ve düzenlemelerin daha net bir şekilde gözlemlenebilmesidir. Park iki boyutlu çizimlere aktarılarak hesaplamaların kısıtlama ve kurallara uygunluğu ile analiz edilmiştir.

2021 yılına ait yapılan örnek ve her park haritası için uygulanan analizlerde Şekil 5.16’da gösterildiği gibi uydu fotoğrafları 2 boyutlu imajlar haline getirilmiştir.

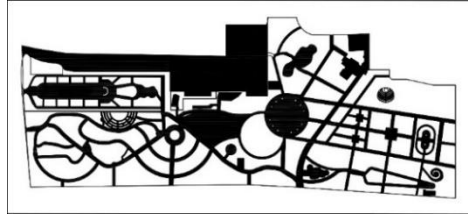


**Şekil 5. 16:** Binary İşlem.

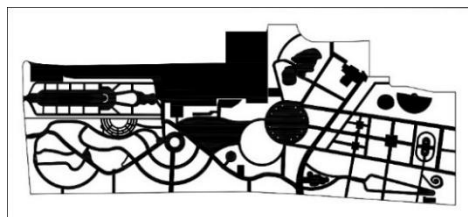
Şekil 5.17’de iki boyutlu haritalandırmalarda bazı dönemler arasında göze batan farklılıklar olmasıyla birlikte ilk bakışta gözlemlenemeyen değişiklikler de bulunmaktadır. Bu farklılıklara istinaden yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan çeşitlilikler, oluşturulan dönemsel fraktal boyut ve lakunarite sonuçlarına göre tablolanmıştır.



2009 yılına ait iki boyutlu harita



2017 yılına ait iki boyutlu harita



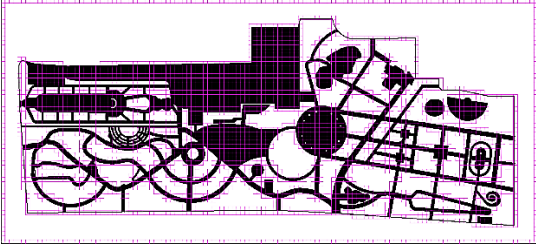
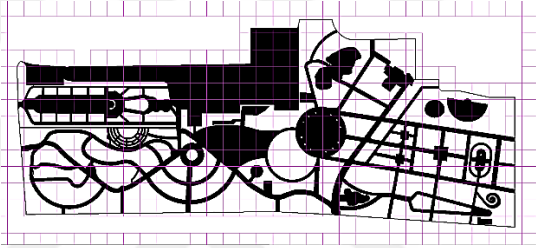
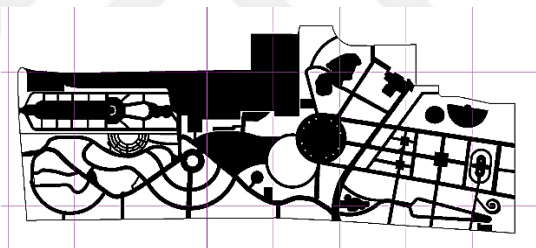
2021 yılına ait iki boyutlu harita

**Şekil 5. 17:** Dönemsel Göztepe 60. Yıl Parklarına ait 2 boyutlu çizimler.

Çizelge 5.5’te, sayılan kutuların boyutları FracLac uygulamasının sağladığı seri özelliklerinden biri olan “üssel seri” moduyla belirlenmiştir. Bu moda göre kutu boyutları 2 pikselden 256 piksele kadar değişiklik göstermektedir. Hesaplamalar yapılırken 16 piksel ile 256 piksel arasındaki kutu boyutları dikkate alınmıştır. Çünkü 2 ve 4 piksel boyutları çok küçük olduğundan sadece çizgi taraması yapmış olup hesaplamalardaki doğruluğu etkileyebileceği gözlemlenmiştir. Bu çizelgede sadece

2021 yılına ait 3 adet kutu sayım işlemi gösterilmesiyle beraber, diğer bütün işlemler Ek B’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5. 5:** 2021 yılı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları (pxl) | Toplam Sayılan Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 16                   | 3790                       |    |
| 64                   | 413                        |   |
| 256                  | 36                         |  |

**Çizelge 5. 6:** Göztepe Parkı 2009 yılı hesaplamaları.

| Başlangıç Noktası | Fraktal Boyut (Db)     | Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri ( $\lambda$ ) |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| G1                | 1,6182                 | 0,5608                                        |
| G2                | 1,6178                 | 0,4966                                        |
| G3                | 1,6174                 | 0,5082                                        |
| G4                | 1,6188                 | 0,5381                                        |
|                   | <b>Ağ. Ort.:1,6181</b> | <b>Ağ. Ort.: 0,5259</b>                       |

**Çizelge 5. 7:** Göztepe Parkı 2017 yılı hesaplamaları.

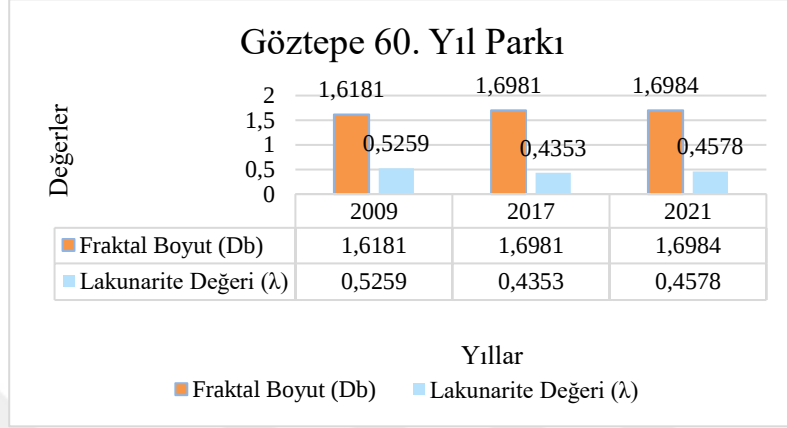
| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,6988                    | 0,4318                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,6973                    | 0,4397                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,6969                    | 0,4453                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,6994                    | 0,4243                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,6981</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,4353</b>                                       |

**Çizelge 5. 8:** Göztepe Parkı 2021 yılı hesaplamaları.

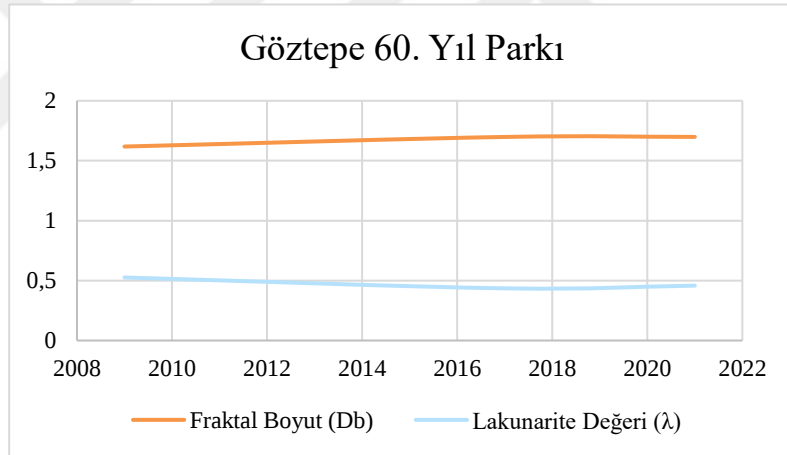
| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,6986                    | 0,4717                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,6982                    | 0,4431                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,6977                    | 0,4470                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,6990                    | 0,4693                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,6984</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,4578</b>                                       |

Yukarıdaki Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de gözlemlendiği üzere farklı kutu sayım başlangıç noktalarına ait yapılmış olan hesaplamalara yer verilmiştir. Sonuçlardaki çeşitliliklerden dolayı program dahilinde ortalama hesaplamaları yapılmıştır. Göztepe 60. Yıl Parkı’na ait olan dönemsel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldığında 2017 yılındaki haritada 2009 yılına göre fraktal boyutlarda artış, lakunarite değerlerinde de düşüş gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 2017 ve 2021 yıllarına ait haritalar karşılaştırıldığında, fraktal boyutta çok az bir artış gözlenmesiyle birlikte lakunarite değerlerinde artış görülmektedir. Bu da park yapısının bu dönem içerisinde karmaşıklık yapısının neredeyse aynı kalmasına rağmen heterojenliğin arttığını ifade etmektedir. Yani park deseni daha boşluklu ve gevşek bir imaj haline dönüşmüştür. Üç tablo aynı anda karşılaştırıldığında 2009’dan 2021’e kadar olan dönemde fraktal boyut değerinin arttığı bununla birlikte lakunarite değerinin azaldığı

gözlemlenmektedir (Şekil 5.18). Sonuçlardaki farklılıklar 2017 ile 2021 yılları arasında büyük değişiklik göstermese de yine de grafikler doğrusallık göstermektedir (Şekil 5.19).



Şekil 5. 18: Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait hesaplamaların sütun grafiği.

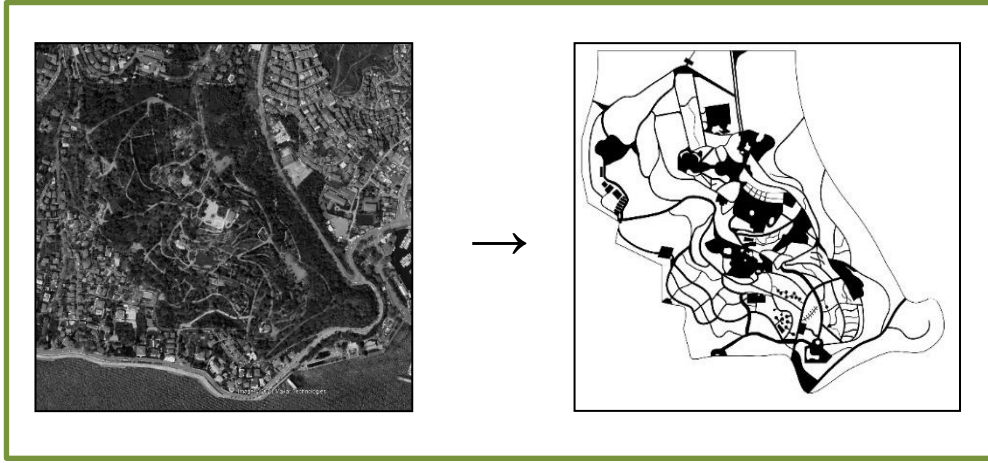


Şekil 5. 19: Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait hesaplamaların çizgi grafiği.

### 5.2.3 Emirgan Parkı hesaplamaları

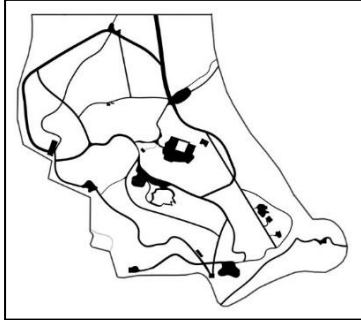
Emirgan Parkı (Korusu) için yapılmış olan analizlerde dönemsel hesaplamalara yer verilmiştir. Parka ait olan 2002, 2010, 2017 ve 2021 yıllarına ait uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Bu tarihlerde hesaplama yapılmasının amacı parka ait değişiklik ve düzenlemelerin daha net bir şekilde gözlemlenebilmesidir. Park iki boyutlu çizimlere aktarılarak hesaplamaların kısıtlama ve kurallara uygunluğu ile analiz edilmiştir.

2021 yılına ait yapılan örnek ve her park haritası için uygulanan analizlerde Şekil 5.20'de gösterildiği gibi uydu fotoğrafları 2 boyutlu imajlar haline getirilmiştir.

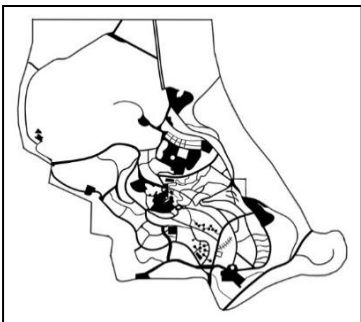


**Şekil 5. 20:** Binary İşlem.

Şekil 5.21’de iki boyutlu haritalandırmalarda bazı dönemler arasında göze batan farklılıklar olmasıyla birlikte ilk bakışta gözlemlenemeyen değişiklikler de bulunmaktadır. Bu farklılıklara istinaden yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan çeşitlilikler, oluşturulan dönemsel fraktal boyut ve lakunarite sonuçlarına göre tablolanmıştır.

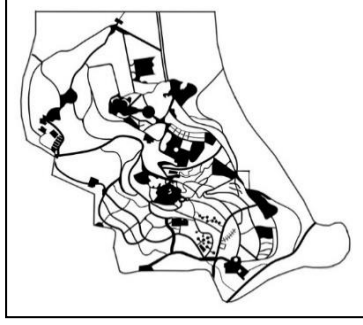


2002 yılına ait iki boyutlu harita

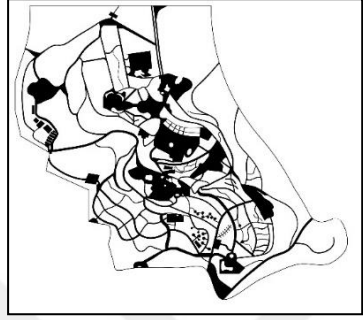


2010 yılına ait iki boyutlu harita

**Şekil 5. 21:** Dönemsel Emirgan Parklarına ait 2 boyutlu çizimler



2017 yılına ait iki boyutlu harita



2021 yılına ait iki boyutlu harita

**Şekil 5. 22 (devam):** Dönemsel Emirgan Parklarına ait 2 boyutlu çizimler

**Çizelge 5. 9:** 2021 yılı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 16                      | 4344                          |                        |
| 64                      | 496                           |                        |
| 256                     | 45                            |                        |

Çizelge 5.9’da diğer kutu sayım diagramlarında olduğu gibi sayılan kutuların boyutları FracLac uygulamasının sağladığı seri özelliklerinden biri olan “üssel seri” moduyla belirlenmiştir. Bu moda göre kutu boyutları 2 pikselden 256 piksele kadar değişiklik göstermektedir. Hesaplamalar yapılırken 16 piksel ile 256 piksel arasındaki kutu boyutları dikkate alınmıştır. Çünkü 2 ve 4 piksel boyutları çok küçük olduğundan sadece çizgi taraması yapmış olup hesaplamalardaki doğruluğu etkileyebileceği gözlemlenmiştir. Bu çizelgede sadece 2021 yılına ait 3 adet kutu sayım işlemi gösterilmesiyle beraber, diğer bütün işlemler Ek C’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5. 10:** Emirgan 2002 yılı hesaplamaları.

| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,4751                    | 0,5925                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,4719                    | 0,5721                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,4728                    | 0,5936                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,4741                    | 0,5919                                                        |
|                          | <b>Ağ. Ort.:1,4735</b>    | <b>Ağ. Ort.:0,5875</b>                                        |

**Çizelge 5. 11:** Emirgan 2010 yılı hesaplamaları.

| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,5450                    | 0,4811                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,5371                    | 0,4555                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,5373                    | 0,4707                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,5407                    | 0,4760                                                        |
|                          | <b>Ağ. Ort.:1,5400</b>    | <b>Ağ. Ort.: 0,4708</b>                                       |

**Çizelge 5. 12:** Emirgan 2017 yılı hesaplamaları

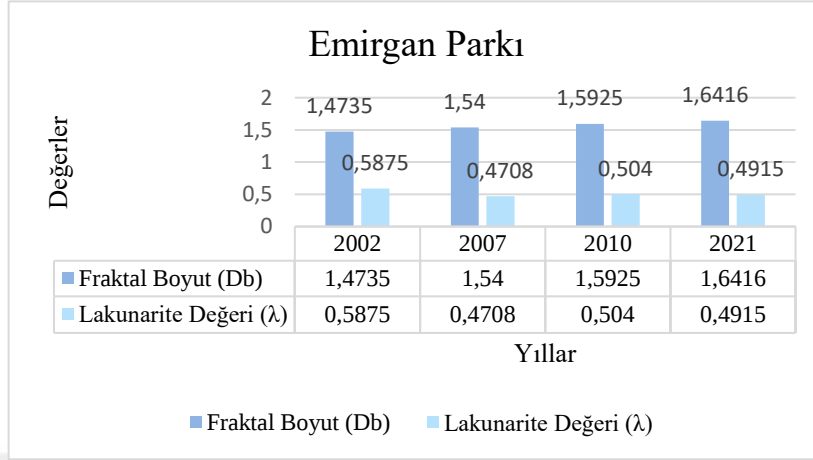
| Başlangıç Noktası      | Fraktal Boyut (Db) | Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri ( $\lambda$ ) |
|------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| G1                     | 1,5956             | 0,4983                                        |
| G2                     | 1,5905             | 0,5162                                        |
| G3                     | 1,5906             | 0,5021                                        |
| G4                     | 1,5938             | 0,4993                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,5925</b> |                    | <b>Ağ. Ort.: 0,5040</b>                       |

**Çizelge 5. 13:** Emirgan 2021 yılı hesaplamaları.

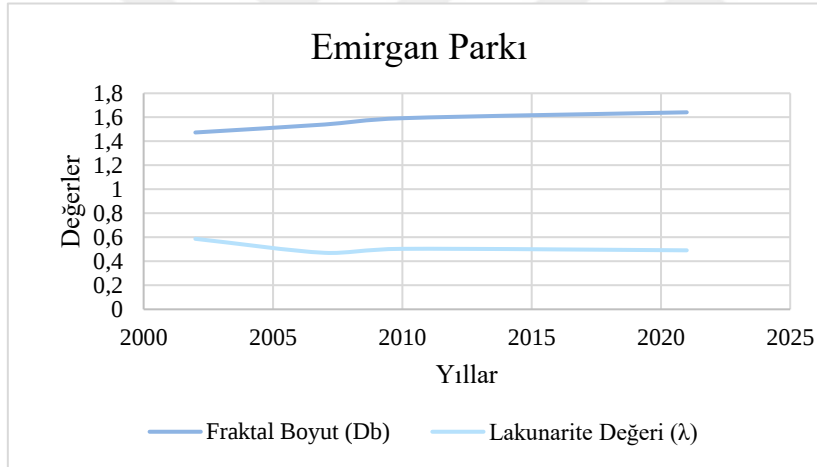
| Başlangıç Noktası      | Fraktal Boyut (Db) | Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri ( $\lambda$ ) |
|------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| <b>G1</b>              | 1,6407             | 0,4970                                        |
| <b>G2</b>              | 1,6377             | 0,4986                                        |
| <b>G3</b>              | 1,6419             | 0,4909                                        |
| <b>G4</b>              | 1,6422             | 0,4795                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,6416</b> |                    | <b>Ağ. Ort.: 0,4915</b>                       |

Emirgan Parkı'na ait dönemsel hesaplamaların yapıldığı Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'te görüldüğü üzere farklı kutu sayım başlangıç noktalarına ait yapılmış olan hesaplamalara yer verilmiştir. Sonuçlardaki çeşitliliklerden dolayı program dahilinde ortalama hesaplamaları yapılmıştır. Emirgan Parkı'na ait olan dönemsel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldığında 2010 yılındaki haritada 2002 yılına göre fraktal boyutlarda artış, lakunarite değerlerinde de düşüş gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 2017 ve 2021 yıllarına ait haritalar karşılaştırıldığında, fraktal boyutta belirgin bir artış gözlenmesiyle birlikte lakunarite değerlerinde düşüş görülmektedir. Bu da park yapısının bu dönem içerisinde karmaşıklık durumu artmasına rağmen gözenekliliğinde az da olsa bir düşüşü ifade etmektedir (Şekil 5.22). Dört tablo aynı anda karşılaştırıldığında (Şekil 5.23), 2002'den 2021'e kadar olan dönemde fraktal boyut değeri sürekli artarken, lakunarite

değerlerinde 2010 yılında bir düşüş ile beraber daha sonraki dönemlerde hafif dalgalanma gözlemlenmektedir.



**Şekil 5. 23:** Emirgan Parkı'na ait hesaplamaların sütun grafiği

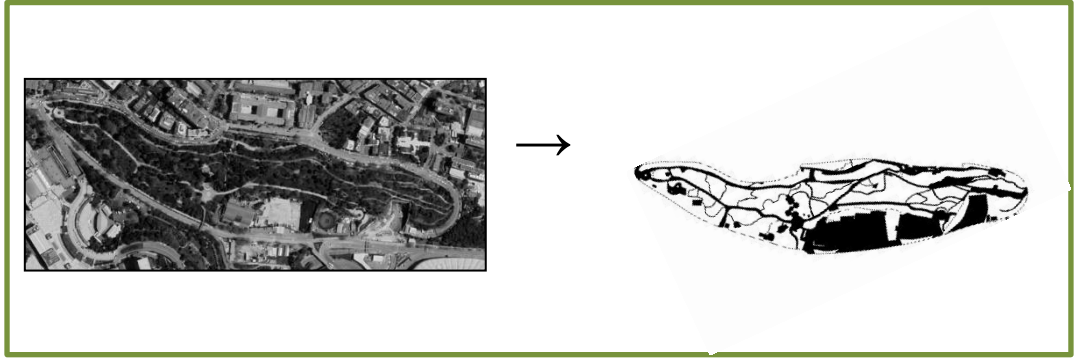


**Şekil 5. 24:** Emirgan Parkı'na ait hesaplamaların çizgi grafiği

#### 5.2.4 Maçka Parkı hesaplamaları

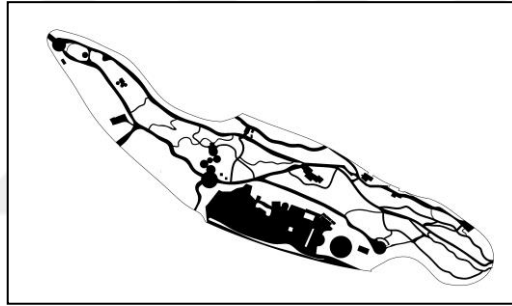
Maçka Parkı için yapılmış olan analizlerde dönemsel hesaplamalara yer verilmiştir. Parka ait olan 2002, 2014 ve 2021 yıllarına ait uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Bu tarihlerde hesaplama yapılmasının amacı parka ait değişiklik ve düzenlemelerin daha net bir şekilde gözlemlenebilmesidir. Park iki boyutlu çizimlere aktararak hesaplamaların kısıtlama ve kurallara uygunluğu ile analiz edilmiştir.

2021 yılına ait yapılan örnek ve her park haritası için uygulanan analizlerde Şekil 5.24'te gösterildiği gibi uydu fotoğrafları 2 boyutlu imajlar haline getirilmiştir.

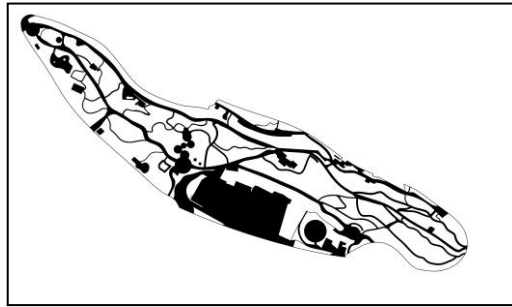


**Şekil 5. 25: Binary İşlem**

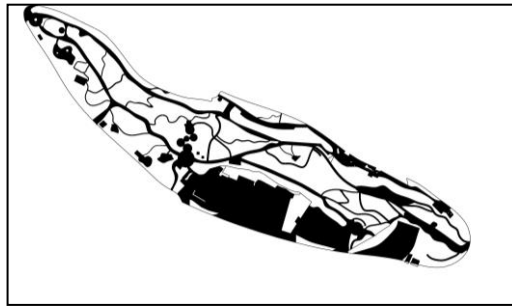
Şekil 5.25’de iki boyutlu haritalandırmalarda bazı dönemler arasında göze batan farklılıklar olmasıyla birlikte ilk bakışta gözlemlenemeyen değişiklikler de bulunmaktadır. Bu farklılıklara istinaden yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan çeşitlilikler, oluşturulan dönemsel fraktal boyut ve lakunarite sonuçlarına göre aşağıdaki gibi tablolannmıştır.



2002 yılına ait iki boyutlu harita



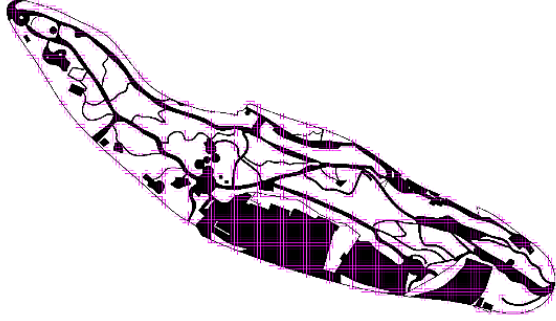
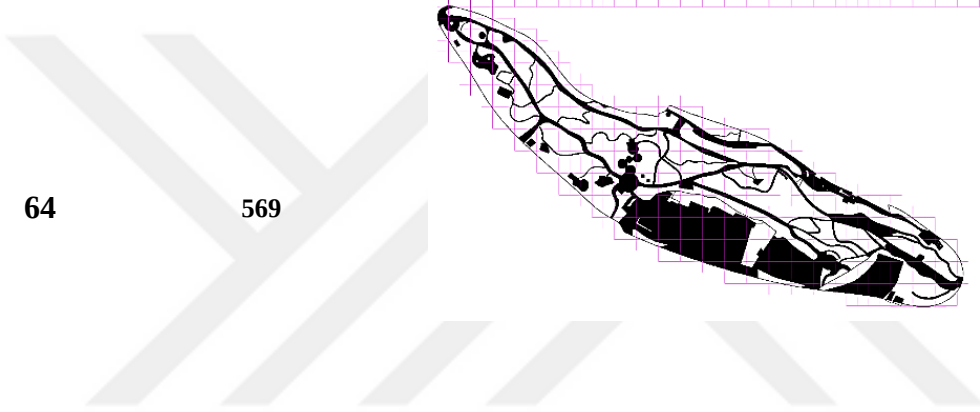
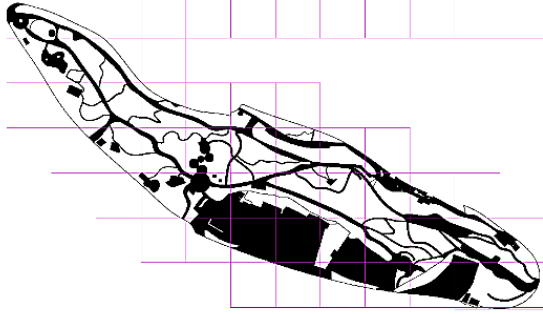
2014 yılına ait iki boyutlu harita



2021 yılına ait iki boyutlu harita

**Şekil 5. 26: Dönemsel Maçka Parklarına ait 2 boyutlu çizimler**

**Çizelge 5. 14:** Piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları (pxl) | Toplam Sayılan Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 16                   | 5168                       |    |
| 64                   | 569                        |   |
| 256                  | 59                         |  |

Çizelge 5.14’te diğer bütün parklarda kullanılan kutu sayım diagramlarında olduğu gibi sayılan kutuların boyutları FracLac uygulamasının sağladığı seri özelliklerinden biri olan “üssel seri” moduyla belirlenmiştir. Bu moda göre kutu boyutları 2 pikselden 256 piksele kadar değişiklik göstermektedir. Hesaplamalar yapılırken 16 piksel ile 256 piksel arasındaki kutu boyutları dikkate alınmıştır. Çünkü 2 ve 4 piksel boyutları çok küçük olduğundan sadece çizgi taraması yapmış olup hesaplamalardaki doğruluğu etkileyebileceği gözlemlenmiştir. Bu çizelgede sadece 2021 yılına ait 3 adet kutu sayım işlemi gösterilmesiyle beraber, diğer bütün işlemler Ek D’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5. 15:** Maçka Parkı 2002 yılı hesaplamaları.

| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,6683                    | 0,4709                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,6747                    | 0,4550                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,6680                    | 0,4736                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,6736                    | 0,4467                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,6711</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,4615</b>                                       |

**Çizelge 5. 16:** Maçka Parkı 2014 yılı hesaplamaları.

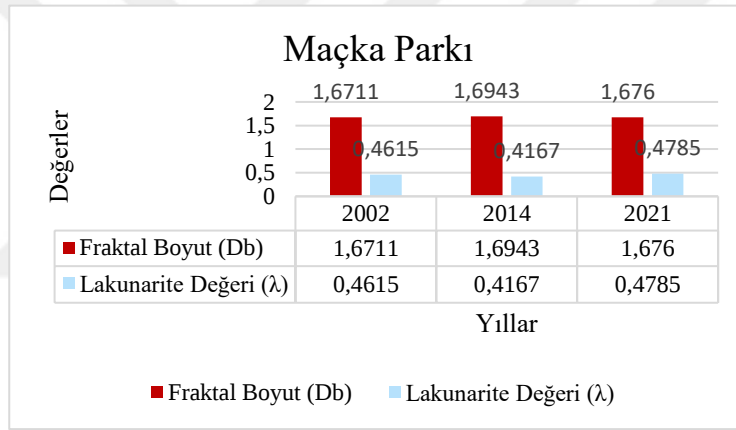
| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,6915                    | 0,4239                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,6983                    | 0,4085                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,6913                    | 0,4223                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,6960                    | 0,4122                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,6943</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,4167</b>                                       |

**Çizelge 5. 17:** Maçka Parkı 2021 yılı hesaplamaları.

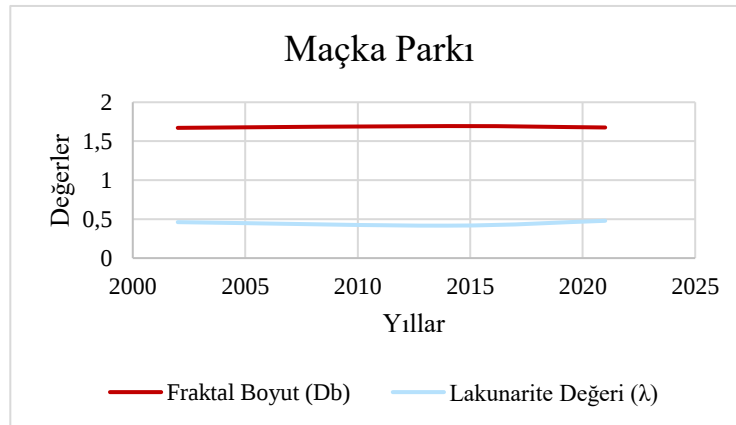
| <b>Başlangıç Noktası</b> | <b>Fraktal Boyut (Db)</b> | <b>Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri (<math>\lambda</math>)</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>G1</b>                | 1,6749                    | 0,4885                                                        |
| <b>G2</b>                | 1,6739                    | 0,4771                                                        |
| <b>G3</b>                | 1,6772                    | 0,4794                                                        |
| <b>G4</b>                | 1,6780                    | 0,4691                                                        |
| <b>Ağ. Ort.:1,6760</b>   |                           | <b>Ağ. Ort.: 0,4785</b>                                       |

Maçka Parkı'na ait dönemsel hesaplamaların yapıldığı Çizelge 5.15, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17'de görüldüğü üzere farklı kutu sayım başlangıç noktalarına ait yapılmış

olan hesaplamalara yer verilmiştir. Sonuçlardaki çeşitliliklerden dolayı program dahilinde ortalama hesaplamaları yapılmıştır. Maçka Parkı'na ait olan dönemsel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldığında 2014 yılındaki haritada 2002 yılına göre fraktal boyutlarda artış, lakunarite değerlerinde de düşüş gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 2014 ve 2021 yıllarına ait haritalar karşılaştırıldığında, fraktal boyutta az da olsa bir düşüş, lakunarite değerlerinde de yükselme gözlemlenmektedir (Şekil 5.26). Bu da park yapısının bu dönem içerisinde karmaşıklık durumu biraz daha azalmasına rağmen parkın daha boşluklu ve delikli bir yapıya sahip olduğu ve daha heterojen bir dokunun oluştuğunu ifade etmektedir. Maçka Parkı'na ait oluşturulmuş olan bütün tablolar aynı anda karşılaştırıldığında 2002'den 2021'e kadar olan dönemde fraktal boyut değeri dalgalı bir yol izlerken, lakunarite değerleri de aynı yolu izlemektedir (Şekil 5.27).



**Şekil 5. 27:** Maçka Parkı'na ait hesaplamaların sütun grafiği



**Şekil 5. 28:** Maçka Parkı'na ait hesaplamaların çizgi grafiği

### 5.2.5 Parkların fraktal boyut ve lakunarite değerlerinin karşılaştırılması

Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere her parka ait grafik ve çizelgeler oluşturulmuş olup bu parklar için kendi içlerinde değerlendirmelerine yer verilmiştir. Park özelinde yapılan değerlendirmelere ek olarak üzerinde çalışılan parklar için genel bir karşılaştırma ve değerlendirme gerekmektedir. Bunun için de yapılan hesaplamalar sonunda parkların da birbirleriyle karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlara göre çizelge ve grafikler oluşturulmuştur. Buradaki karşılaştırma aşağıda yorumlanmıştır:

Yapılacak olan karşılaştırmalar için güncel durum olan 2021 yılına ait hesaplamalara yer verilmiştir. Güncel veri sağlamasına ek olarak, bütün parklar için yapılmış olan analiz çalışmalarında kullanılan tek ortak yıl “2021” yılı olmuştur.

Yapılan analiz dönemlerindeki yıl farklılıkları örneğin: Bebek Parkı için 2002, 2010, 2021 iken Göztepe 60. Yıl Parkı için analiz yapılan dönemler 2009, 2017 ve 2021 gibidir. Bu farklılıkların nedeni her parkın aynı tarihte değişimler geçirmemiş olmasıdır. Her parkın özelinde maksimum değişimlerin gözlenebileceği yıllar seçilmiştir.

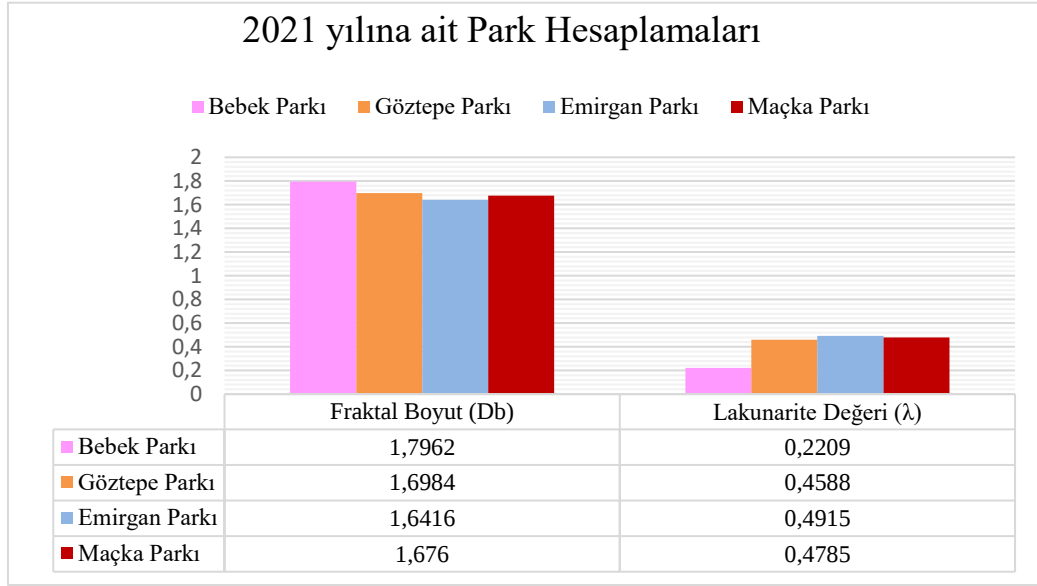
2021 yılına ait parkların genel değerlendirme grafiğine bakıldığında en büyükten en küçüğe fraktal boyut sıralamaları şu şekildedir (Şekil 5.28):

Bebek Parkı > Maçka Parkı > Göztepe Parkı > Emirgan Parkı

2021 yılına ait parkların genel değerlendirme grafiğine bakıldığında en büyükten en küçüğe lakunarite değerlerinin sıralamaları şu şekildedir (Şekil 5.28):

Emirgan Parkı > Maçka Parkı > Göztepe Parkı > Bebek Parkı

İncelenen parklara ait fraktal boyut ve lakunarite değerlerini içeren bir grafik oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikte fraktal boyut sıralaması lakunarite değerlerinin sıralamasıyla benzerlik taşımasına rağmen aynı gitmemektedir. Çünkü fraktal boyutlar desen karmaşıklığını ifade ettikleri için lakunariteyi etkilememektedir.



**Şekil 5. 29:** 2021 yılına ait bütün parkların hesaplama değerlerinin grafiği

Bunlara ek olarak park yapım tarihleri göz önüne alındığında seçilmiş olan parkların pek çok farklı döneme ait olduğu görülmektedir. Seçilmiş olan parklar incelenirken göz önünde bulundurulan nedenlerden birisi de tarihsel ve dönemsel farklılıkları içermeleridir. Bu şekilde yapılma tarihlerinin ya da yenilenme ve değişim süreçlerinin elde edilen hesaplama verilerine etkisi olup olmadığının incelenmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19 birlikte incelendiğinde, en eski yapılma tarihine sahip olan Emirgan Parkı'nın en düşük fraktal boyut değerine, en yeni yapılma yılına sahip Göztepe Parkı'nın sondan bir önceki fraktal boyuta sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Parkların değişim geçirdiği ya da restore edildiği tarihlere bakıldığında ise yine aynı sonuç gözlemlenmiştir. Bu da grafiksel anlamda yapıldıkları dönemlerin parkın fraktal özelliklerinde hesaplamalarına çok etkili olmadığını göstermektedir.

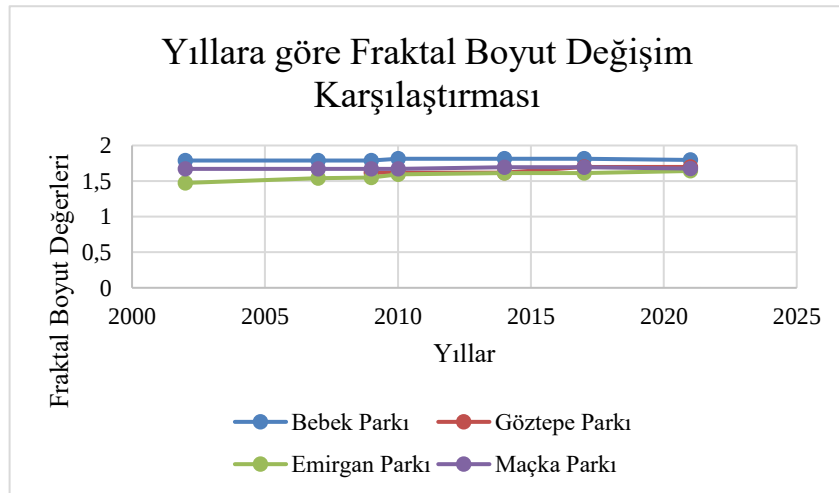
**Çizelge 5. 18:** Parkların yapıldığı ve değişim geçirdiği tarihler.

| Parklar       | Yapıldığı Tarih         | Değişim Geçirdiği Tarih |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Bebek Parkı   | 1700’lü yıllar          | 2008                    |
| Göztepe Parkı | 1983                    | 2013                    |
| Emirgan Parkı | Bizans Dönemi(Servilik) | 1940                    |
| Maçka Parkı   | 1800’lü yıllar          | 1993                    |

**Çizelge 5. 19:** Parklara ait 2021 yılı hesaplama sonuçları

| Parklar       | Fraktal Boyut (Db) | Lakunarite(Gözeneklilik) Değeri ( $\lambda$ ) |
|---------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| Bebek Parkı   | 1,7962             | 0,2209                                        |
| Göztepe Parkı | 1,6984             | 0,4588                                        |
| Emirgan Parkı | 1,6416             | 0,4915                                        |
| Maçka Parkı   | 1,6760             | 0,4785                                        |

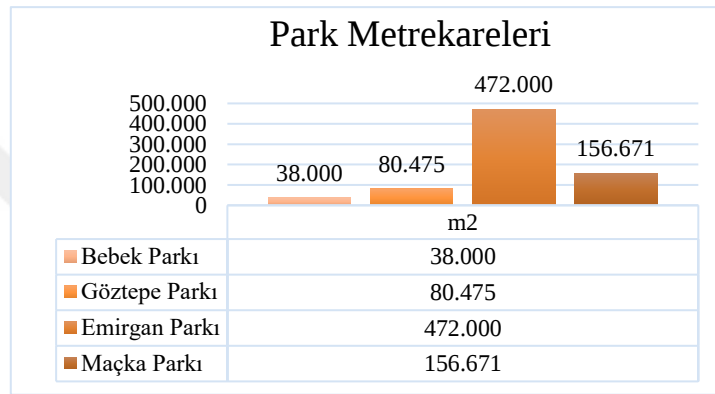
Bir başka üzerinde durulan konu da parkların fraktal boyutlarının yıllar içerisinde gösterdikleri değişimlerin karşılaştırılmasıdır. Şekil 5.29’da elde edilmiş grafik incelendiğinde Bebek ve Emirgan Parklarında 2002 yılı ve 2010 yılı aralığında fraktal boyutlarda artış eğilimi gözlemlenmektedir. 2010 yılı ve 2017 yılları arasında bütün parklarda genel bir fraktal boyut artış eğilimi gözlemlenmektedir.



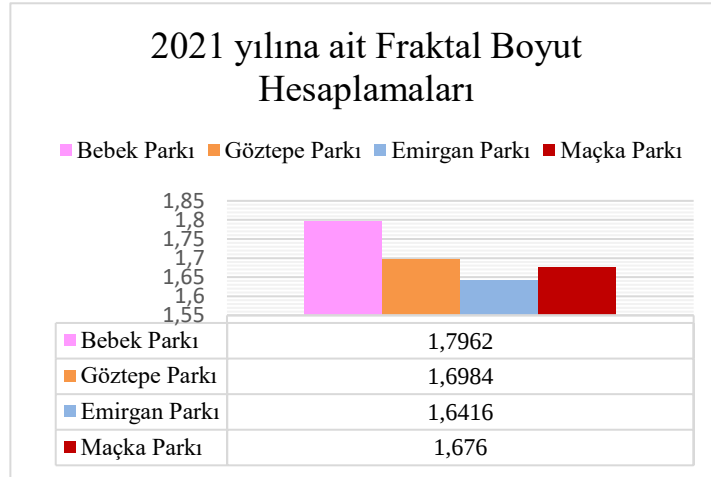
**Şekil 5. 30:** Yıllara göre fraktal boyut değişim grafiği

Grafikten ve daha önce yapılmış olan analizlerden de görüldüğü üzere Göztepe 60.Yıl Parkı haricinde geriye kalan parklarda yapılan analizler 2002 yılına kadar dayanmaktadır. Ancak Göztepe 60. Yıl Parkı için en eski dönemsel veriler 2009 yılında elde edilebildiği için analizleri o yıldan itibaren yapılmıştır.

Bunlara ek olarak, Şekil 5.30'da gösterilen alan boyut grafiği ile Şekil 5.31'in ifade ettiği 2021 yılına ait bütün parkların hesaplama değerleri karşılaştırıldığında park metrekaresinin, fraktal boyut ve lakunarite hesaplamalarıyla ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Yani, park boyutu artarken fraktal boyut küçülmüş ve lakunarite değerleri yükselmiştir.



**Şekil 5. 31:** Parklara ait metrekare karşılaştırmaları



**Şekil 5. 32:** Parklara ait fraktal boyut karşılaştırması

Yukarıdaki grafiklere göre metrekare hesaplamaları ile fraktal boyut hesaplamaları ilişkilendirildiğinde metrekare hesaplarının fraktal boyutlar ile ters orantılı bir şekilde değiştiği gözlemlenmiştir.

## 6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde klasik geometri olarak bildiğimiz Euclid geometrisinin yanı sıra farklı bir matematiksel alan tanımlayan fraktal geometri ile karşılaşmaktayız. Fraktal geometrinin temeli, Euclid geometrisinin tanımlamakta yeterli olmadığı boyut ve kavramları içine almaktadır. Bu geometri çok yeni bir matematik dalı olmasına rağmen kullanıldığı alanlarla beraber çok hızla gelişen ve her sektörde yer edinen bir bilim alanı olmuştur.

Tez konusu seçilirken, kentsel bir öge olarak tanımlanan yeşil alanların en önemli parçalarından biri olan “park” mekanlarının günümüzdeki durumu ile birlikte zamana bağlı değişimlerinin farklılaştığını gözlemlemek amaç edinilmiştir. Bu amaçla fraktal geometri aracılığı ile objektif verilerden yararlanabilmek için hesaplamalı ve matematiksel yöntemler kullanmıştır.

Kentlerde yaşayan insanlar için parklar önemli yeşil alanlardır. Çalışma alanı olarak İstanbul iline ait dört adet park belirlenmiştir. Bu parkların belirlenmesinde özellikle yapıldıkları dönemler, bulundukları konum ve boyutsal olarak farklılıkların olmasına dikkat edilmiştir. Böylece bu farklılıkların fraktal boyut ve lakunarite değerleri ile değişimi analiz edilmiştir hesaplama yöntemi olarak kutu sayım metodu kullanılmış olup parklara ve parkların dönemlerine ait fraktal boyut ve lakunarite değerleri hesaplanarak kıyaslanmıştır.

Hesaplamalar için Bebek Parkı, Göztepe 60. Yıl Parkı, Emirgan Parkı ve Maçka parkı kullanılmıştır. Bu parklardan üçünde (Bebek, Göztepe ve Maçka) sadece üç yıldaki analiz verilerinden faydalanılırken, Emirgan Parkı’nda dört yıldaki analizler yapılmıştır. Bu farklılığın sebebi, diğer parklardaki yapısal değişimlerin üç yılda göze çarpması, Emirgan Parkı’nda ise bu yapısal değişimlerin dört yılda gözlenmiş olmasıdır.

Yapılmış olan hesaplamalar sonucunda Bebek Parkı’na ait elde edilen verilere göre fraktal boyut grafiksel trendi öncelikle yükselip sonrasında alçalarak devam etmekte, lakunarite değerleri ise önce düşüş gösterip daha sonrasında yükselmektedir. Bu

noktada 2010 yılında yapılmış olan analizlerin grafiksel anlamda bir kırılma noktası olduğu göze çarpmaktadır. Bu gerçekleşen değişimlerin kaynağının Bebek Parkı'nın 2008 yılında geçirmiş olduğu değişim olduğu düşünülmektedir. Daha sonrasında park üzerinde zaman içerisinde yapılan ufak düzenlemelerin de 2021 yılındaki hesaplamalarda etkili olduğu gözlemlenmektedir.

Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait verilerde, 2017 yılına ait yapılmış hesaplamalarda 2009 yılına göre bir sıçrayış yaşanmıştır. Bebek Parkı'nda elde edilmiş veriler de göz önüne alınarak bunun nedeni, parkın 2013 yılında geçirdiği yenileme olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında ise 2021 yılındaki güncel durum için incelemeler yapıldığında lakunarite değerlerinde yükseliş ve fraktal boyutun neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Bu da parkın güncel durumunun değişimden sonra karmaşıklık değerinin çok etkilenmediğini fakat yapılmış olan düzenlemelerle daha boşluklu ve heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Emirgan Parkı'na ait hesaplamalı analizlerde fraktal boyut grafiğinin trendi sürekli artış gösterirken, lakunarite verilerinde dalgalı bir grafik gözlenmektedir. Bu da en son tanımlanmış değişim 1940 yılında olsa bile 2002'den bu yana yapılmış olan düzenli müdahalelerle birlikte park yapısının karmaşıklaştığını ve özellikle 2007 yılında yapılmış olan analiz verilerine istinaden en büyük değişimin 2002-2007 yılları arasında olduğunu göstermektedir.

Son olarak Maçka Parkı hesaplamalarına bakıldığında fraktal boyut değerlerinde yani parkın yapısındaki karmaşıklıkta çok fazla bir değişim olmamakla birlikte lakunarite değerlerinde 2014 yılında parka yapılan müdahalelerle birlikte gözeneklilik durumu azalmış yani, daha homojen ve sıkı bir doku olduğu görülmektedir. Fakat buna ek olarak 2018 yılında başlamış olan Dolmabahçe-Levazım Tüneli çalışmaları ile 2021 yılına ait yapılmış olan çizimlere göre parkın mevcut durumunun etkilendiği ve etkiden ötürü de hesaplamalarda değişimler olduğu görülmektedir. Tünel inşaatı ile beraber parkın 2002 yılında elde edilen verilerine çok yakın veriler elde edildiği gözlemlenmektedir.

Genel olarak tez çalışması kapsamında bir değerlendirme yapılacak olduğunda, belirlenmiş parametreler de göz önüne alınarak parkların yapılış dönemlerinin hesaplamalara fazla bir etkisi gözlemlenmemiştir. Ancak, en eski park olan Emirgan Parkı'nın eskiden bir servi ormanı olmasının da etkisiyle ortalamaya vurulduğunda en

yüksek lakunarite değerlerine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Fakat park özelinde sonuçlar elde edilmiş olsa da belirli zaman aralıklarında yapılmış olan restorasyon ve yenileme çalışmaları hesaplamalarda etkili olmuş ve yapılmış olan düzenlemelerin ne anlamda etki ettiği gözlemlenmiştir.

Bunlara ek olarak parkların analiz verilerindeki değişimler bütünüyle ele alındığında 2002 yılından bugüne ve Göztepe 60. Yıl Parkı için de 2009'dan günümüze çeşitli iniş çıkış ya da dalgalanmalar olsa da fraktal boyutlarda artış eğilimi gözlemlenmektedir. Bu da yapılan müdahalelerin zaman içerisinde aradaki süreçteki müdahaleler hesaba katılmadan parklardaki karmaşıklık değerlerinin arttığını vurgulamaktadır.

Ayrıca boyutsal analizlere bakıldığında büyükten küçüğe doğru parklar sıralandığında aynı zamanda lakunarite değerlerinde ve fraktal boyutlarında da aynı sıralamanın geçerli olduğu gözlemlenmiştir. Bu da hesaplamalarda ilgili parkların boyutlarının etkisi olduğunu ve parklar büyüdükçe fraktal boyutun azaldığı ve gözeneklilik değerlerinin arttığını göstermektedir.

Son olarak da seçilmiş olan parkların işlev ve konumları göz önüne alındığında, Bebek Parkı'nın bir kıyı parkı özelliği taşıması, Göztepe 60. Yıl Parkı'nın tematik bir kent içi parkı, Emirgan Parkı'nın tarihi koruma içerisinde yer alan bir park ve Maçka Parkı'nın da yoğun yerleşim bölgesi içerisinde yer alan kent parkı olması gibi özellikler gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda zaman içerisinde yapılmış olan müdahalelerin fraktal boyut ve lakunarite değerlerine etkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Emirgan Parkı'nın en yüksek lakunarite değerlerine sahip olmasının nedenlerinden biri olarak, parkın tarihi özelliğinden ötürü insan müdahalesine incelenen diğer parklar kadar açık olmamasından kaynaklandığı da gösterilebilmektedir.

Fraktal boyut ve lakunarite değeri analizlerinde kullanılan yöntemlerin yeni araştırma alanlarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. İleriye dönük olarak söz konusu parklarda yapılabilecek kullanıcı memnuniyeti anketleriyle, fraktal boyut ve lakunarite değerlerinin, kullanıcı memnuniyeti ile ilişkisine bakılarak analizler yapılabilir. Elde edilecek sonuçlar, bir kent ögesi olan yeşil alanların önemli bir parçasını oluşturan parkların tasarımında veri olarak kullanılabilir. Bununla birlikte parkların işlevsel ve konum özellikleri ile ilgili yapılan değerlendirmelerde bir hipotez açığa çıkarabilmek için ileride yapılabilecek başka bir araştırma konusu olarak aynı özelliklere sahip daha

çok parkın analiz edilmesi gerektiği düşünölmektedir. Bu sayede bu özelliklerin etkileri tasarıma ya da mevcut parkların korunmasına istinaden yeni önerileri de beraberinde getirebileceği ön görölmektedir. Edinilecek bu bilgilerin parametreye dönüştürölmesiyle birlikte bir model tasarımının da önemli bir değışkeni olabileceği var sayılmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Addison, P. S.** (1997). *Fractals and chaos: an illustrated course*. CRC Press.
- Allain, C. & Cloitre, M.** (1991). "Characterizing the Lacunarity of Random and Deterministic Fractal Sets", *Phys. Rev. A* 44, pp. 3552–3558
- Alonso-Marroquin, F., Huang, P., Hanaor, D. A., Flores-Johnson, E. A., Proust, G., Gan, Y. & Shen, L.** (2015). Static friction between rigid fractal surfaces. *Physical Review E*, 92(3), 032405.
- Alves, L.** (2017). Monofractal and Multifractal Approach for the Fractal Modeling of the Porous Structure of the Trabecular Bone Matrix. *Orthopedics & Rheumatology*. 7. 10.15406/mojor.2017.07.00271.
- Arizabalo, R.D., Gonz'alez-Avalos, E., Iglesias, G.** (2011). "The Hurst Coefficient and Lacunarity Applied to Atmospheric Sub-micron Particle Data", *Latin-American Journal of Physics Education* 5 ss. 450–456
- Batty, M.** (2013). *New science of cities*. MIT Press, Cambridge.
- Batty, M. & Longley, M.** (1994). *Fractal Cities - A Geometry of Form and Function*. Academic Press, London.
- Batty, M. & Longley, M.** (1988). "Morphology of urban land use," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 15, no. 4, pp. 461–488
- Bettencourt, A. M. L., Lobo, J., Strumsky, D., & West, B. G.** (2010). Urban Scaling and Its Deviations: Revealing the Structure of Wealth, Innovation and Crime across Cities. *PLOS ONE*, 5(11). Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013541>
- Bird, R. J.** (2003). *Chaos And Life*, New York: Columbia University Press,
- Bovill, C.** (1996). *Fractal geometry in architecture and design*. Part of the Design Science Collection book series.
- Bovill, C.** (2000). Fractal geometry as design aid. *Journal for geometry and graphics*, 4(1), 71-78.
- Britannica.** (2020). *Fractal mathematics*, <https://www.britannica.com/science/fractal>, (Erişim Tarihi: 19.09.2020).
- Bunde, A. & Havlin, S.** (1994). *Fractals in Sience*, Springer-Verlag, Berlin.
- Campos, A., Carneiro de Oliveira, E. & Silva, P.** (2010). Design of Miniaturized Frequency Selective Surfaces Using Minkowski Island Fractal. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*. 9. 43-49.

- Chen, Y. & Wang, J.** (2013). Multifractal characterization of urban form and growth: the case of Beijing. *Environ Plan B* 40:884–904
- Chovanec, F.** (2010). Cantor sets. *Science & Military Journal*, 5(1), 5.
- Cınbarcı, A.** (2016). Fraktal geometri ve evrim. *Deneyisel Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6(11), 101-108.
- Clayton, K.** (1996). "Fractals and the Fractal Dimension," *Basic Concepts in Nonlinear Dynamics and Chaos* (workshop), Society for Chaos Theory in Psychology and the Life Sciences annual meeting, June 28, 1996, Berkeley, California.
- Cooper, J.** (2005). Assessing urban character: the use of fractal analysis of street edges. *Urban Morphology*, 9(2), 95.
- Cramer, F.** (1998). Kaos ve düzen: Sırat köprüsündeki hayat (Çev. V. Ataman). İstanbul: Alan Yayınları.
- Dallas G.** (2014). *What are Fractals and why should I care?*, <https://georgemdallas.wordpress.com/2014/05/02/what-are-fractals-and-why-shouldcare/#:~:text=Fractal%20geometry%20is%20a%20field,example%20of%20a%20fractal%20shape>. (ErişimTarihi: 19.09.2020).
- Diacu, F. & Holmes, P.** (1999). *Celestial encounters: the origins of chaos and stability* (Vol. 22). Princeton university press.
- Dönmez, A.** (2002). *Dünya Matematik Tarihi Ansiklopedisi, Matematik Sözlüğü* 1. Cilt. İstanbul: Toplumsal Dönüşüm Yayınları.
- Ebert, D.S., Musgrave F.K., Peachey D., Perlin, K. & Worley, S.** (1994). *Texturing and Modeling: A Procedural Approach*, Academic Press Professional, Cambridge, MA.
- Ediz, Ö.** (2003). *Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ediz, Ö. ve Çağdaş, G.** (2010). Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım. *İTÜDERGİSİ/a*, 4(1), 71-83
- Ediz, Ö. & Ostwald, J. M.** (2012). The Süleymaniye Mosque: A Computational Fractal Analysis of Visual Complexity and Layering in Sinan's Masterwork. *Architectural Research Quarterly (ARQ)*, 16(2), 171-182. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/S1359135512000474>
- Ewing, R. & Handy, S.** (2009) Measuring the unmeasurable: urban design qualities related to walkability. *J Urban Des* 14(1):65–84
- Falconer, K.** (1997). *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Falconer, K.** (2004). *Fractal geometry: mathematical foundations and applications*. John Wiley & Sons.
- Ferreirós, J.** (1999). *Labyrinth of Thought: A History of Set Theory and Its Role in Modern Mathematics*. Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag. pp. 162–165.

- Foroutan-pour, K., Dutilleul, P., & Smith, D. L.** (1999). Advances in the implementation of the box-counting method of fractal dimension estimation. *Applied mathematics and computation*, 105(2-3), 195-210.
- Frame, M., Mandelbrot, B. & Neger, N.** (2005). Fractal Geometry, Erişim Tarihi Ocak 2021, <http://classes.yale.edu/fractals/>
- Frame, M., & Urry, A.** (2016). Fractal Worlds : Grown, Built, and Imagined. Yale University Press.
- Frankhauser, P.** (2015). From fractal urban pattern analysis to fractal urban planning concepts. Computational approaches for urban environments (pp. 13-48)[https://0-doi-org.divit.library.itu.edu.tr/10.1007/978-3-319-11469-9\\_2](https://0-doi-org.divit.library.itu.edu.tr/10.1007/978-3-319-11469-9_2)
- Frankhauser, P. & Sadler, R.** (1991). Fractal analysis of agglomerations. In: Hilliges M (ed) *Natural structures: principles, strategies, and models in architecture and nature*. University of Stuttgart, Stuttgart, pp 57–65
- Feder, J.** (1988) Fractals, Plenum Press, New York
- 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.
- Gleick, J.** (1997). *Kaos*, Ankara: TÜBİTAK yayınları.
- Gong, Y., Li, H., Cong, X. & Liu, H.** (2020). Research on the Complexity of Forms and Structures of Urban Green Spaces Based on Fractal Models. Complexity. 2020. 1-11. 10.1155/2020/4213412.
- Gneiting, T., řevčíková, H., & Percival, D. B.** (2012). Estimators of fractal dimension: Assessing the roughness of time series and spatial data. *Statistical Science*, 247-277.
- Gözübüyük G.** (2007) *Farklı Mimari Dillerde Fraktallere Dayalı Form Üretimi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürsakal, N.** (2007). Sosyal Bilimler Karmaşıklık Ve Kaos. 1.bs. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Grau, J., Méndez, V., Tarquis, A. & Saa, A.** (2006). Comparison of gliding box and box-counting methods in soil image analysis. *Geoderma*. 134. 349-359. 10.1016/j.geoderma.2006.03.009.
- Hadamard, J.** (1898). Les surfaces à courbures opposées et leurs lignes géodésique. *J. Math. pures appl.*, 4, 27-73.
- Hingee, K., Baddeley, A., Caccetta, P. & Nair, G.** (2009, Haziran). *Journal of Agricultural, Biological & Environmental Statistics (JABES)*. Vol. 24 Issue 2, p264-288. 25p. DOI: 10.1007/s13253-019-00351-9.
- Hughes, J., Attwell, G.** (1999). Vet in Chaos, [www.itb.uni-bremen.de/Projekte forum / Callforpapers /CHAOS\\_GA.DOC](http://www.itb.uni-bremen.de/Projekte/forum/Callforpapers/CHAOS_GA.DOC)
- Iannaccone, P. M. & Khokha, M.** (1996). *Fractal geometry in biological systems: an analytical approach*. CRC Press. Birleşik Krallık.

- Ibrahim, M. & Krawczyk, R. J.**, (2000). Generating Fractals Based on Spatial Organizations, Illinois Institute of Technology College of Architecture, Chicago, IL USA.
- İlhan, C. & Gürsakal, N.** (2021). Fractality and Lacunarity of Turkish Cities . GRID - Architecture Planning and Design Journal, 4 (1) , 74-100 . DOI: 10.37246/grid.823235
- İlhan, C. ve Ediz, Ö.** (2019). Kent Dokusu Morfolojik Değişiminin Fraktal Geometri Aracılığıyla Hesaplanması: Bursa Örneği. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*.(4).1. 117-140.
- Jackson, W. J.** (2004). *Heaven's fractal net: retrieving lost visions in the humanities* (Vol. 2). Indiana University Press.
- Kahn, J.** (2001). The Mandelbrot Set is Connected: a Topological Proof,
- Karakaş, E.** (2008). Kentsel Gelişmede Konut Kooperatiflerinin Rolü, Elazığ Örneği. *V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu* s. 281-290.
- Katsaloulis, P., Verganelakis, D.A. & Provata, A.** (2009) “Fractal Dimension and Lacunarity of Tractography Images of the Human Brain”, *Fractals* 17, 181–189
- Kaya, H. S., Terzi, F. ve Bölen, F.** (2009). Kentsel Doku ile Şehirselleşme Biçimi Arasındaki İlişkinin Mekânsal Analizi: İstanbul Örneği. *3. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*.
- Kaya, H. S.** (2003). Kentsel mekan zenginliğinin kaos teorisi ve fraktal geometri kullanılarak değerlendirilmesi. İTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi.
- Kelley, P.** (1999). Build a Sierpinski Pyramid. *Mathematics Teacher*, 92(5), 384–386.
- Kelly, S. & Allison, M. A.** (1999). *The complexity advantage: How the science of complexity can help your business achieve peak performance*. New York: McGraw-Hill.
- Klonowski, W.** (2000). Signal and image analysis using chaos theory and fractal geometry. *Machine Graphics and Vision*, 9(1/2), 403-432.
- Lapidus, M. & Van Frankenhuijsen, M.** (2000). Fractal Geometry and Number Theory. 10.1007/978-1-4612-5314-3.
- Larry R.** (2014). Classic Iterated Function Systems: Koch Snowflake, *Agnes Scott College e-Academy (online)*, accessed 5 March 2020.
- Lauwerier, H.** (1991). *Fractals: endlessly repeated geometrical figures*. Penguin Books.
- Liang, J., Hu, Y. & Sun, H.** (2013). The Design Evaluation of the Green Space Layout of Urban Squares Based on Fractal Theory. *Nexus Netw J* 15, 33–49 <https://doi.org/10.1007/s00004-012-0135-3>.
- Liu, J. Z., Zhang, L. D. & Yue, G. H.** (2003). Fractal dimension in human cerebellum measured by magnetic resonance imaging. *Biophysical Journal*, 85(6), 4041-4046.
- Liu, J. Z., Zhang, L. D., Ji, Y. W. & Zhang, Q. P.** (2019). *Spatial-temporal evolution analysis of urban green space system based on fractal model:*

*a case study of downtown Shanghai*, Modern Urban Research, vol. 10, pp. 12–19

- Lorenz, W. E.** (2009). Fractal geometry of architecture: Implementation of the box-counting method in a CAD-software. *Computation: The New Realm of Architectural Design*. 27. eCAADe Konferansı / ISBN 978-0-9541183-8-9. Istanbul.
- Lornell, R. & Westerberg, J.** (1999). Fractals in high school: Exploring a new geometry. *The Mathematics Teacher*, 92(3), 260.
- Lynch, K. (1960).** *The Image of the City*, New York: M.I.T. Press.
- Mandelbrot B. B.** (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman and Co. New York.
- Mandelbrot B.B.** (1988) An Introduction to Multifractal Distribution Functions. In: Stanley H.E., Ostrowsky N. (eds) Random Fluctuations and Pattern Growth: Experiments and Models. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), vol 157. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2653-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2653-0_40)
- Matthews, L.** (2020). The Qualitative Image: Urban Analytics, Hybridity and Digital Representation. In: Biloría N. (eds) Data-driven Multivalence in the Built Environment. S.M.A.R.T. Environments. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12180-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12180-8_13)
- McIntyre, N.E. & Wiens, J.A.** (2000). A novel use of the lacunarity index to discern landscape function. *Landscape Ecology* **15**, 313–321 <https://doi.org/10.1023/A:1008148514268>
- Mihashi, H., Shaikh, F., Mizukami, T. & Nishiwaki, T.** (2006). Quantification of Crack Formation Using Image Analysis and its Relationship with Permeability. *Restoration of Buildings and Monuments*. 12. 335-348. 10.1515/rbm-2006-6068.
- Milne, B. T.** (1991). The utility of fractal geometry in landscape design. *Landscape and Urban Planning*, 21(1-2), 81-90.
- Monnier, S.** (2020). Algorithmic worlds, <http://www.algorithmic-worlds.net/>, (Erişim Tarihi: 29.09.2020).
- Myint, S.W., Mesev, V. & Lam, N.S.** (2006). Urban Textural Analysis from Remote Sensor Data: Lacunarity Measurements Based on the Differential Box Counting Method. *Geographical Analysis*, 38, 371-390.
- Nogin, A.** (1998). Mathematical Interpretation of Fractal Dimension, <http://www.cs.cornell.edu/courses/cs212/1998sp/handouts/Fractals/similar.html>, (Erişim Tarihi: 19.09.2020).
- Ostwald, M. J.,** (2001). Fractal Architecture: Late Twentieth Century Connections Between Architecture and Fractal Geometry. *Nexus Network Journal*, 3(1), 73-83.
- Peitgen, H. O., Jürgens, H., & Saupe, D.,** (2004). *Chaos and fractals: new frontiers of science*. Springer Science & Business Media.
- Peitgen, H. O., Jürgens, H. & Saupe, D.** (1993). *Chaos and Fractals, New frontiers of Science*, Springer-Verlag Presss, New York.

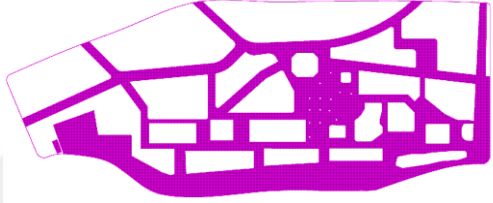
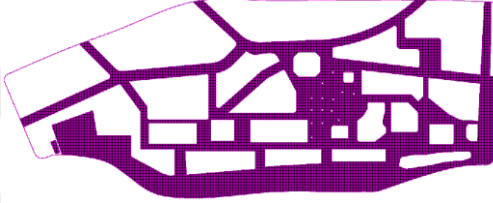
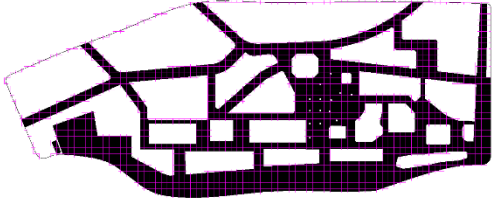
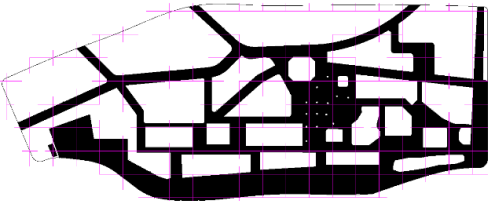
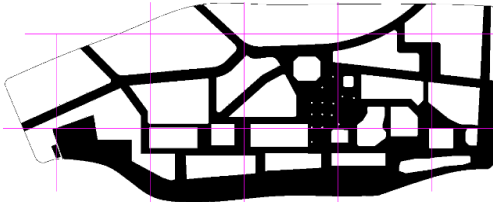
- Peitgen, H.O.** (1988). Fantastic deterministic fractals. *The Science of Fractal Images*. Springer, New York, NY.
- Penner, T., Meyer, J. & Dittler, A.** (2020). Characterization of mesoscale inhomogeneity in nonwovens and its relevance in the filtration of fine mists. *Journal of Aerosol Science*. 151. 10.1016/j.jaerosci.2020.105674.
- Petrisor, A.I., Andronache, I. C., Petrisor, L. E., Ciobotaru, A.M., Peptenatu, D.** (2016). Assessing the fragmentation of the green infrastructure in romanian cities using fractal models and numerical taxonomy, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 32, pp. 110–123
- Pickover, C. A.** (1995), The pattern book: fractals, art and nature, World Scientific, Singapore
- Pilipski, M.** (2002). The Fractal Lacunarity of Dry Walls and Their Matrix Stones: Why Some Walls Look Good and Others Do Not, *Proc. 8th International Drystone-Walling Congress in Visp – Valais (CH)*, Ağustos.
- Plotnick, R.E., Gardner, R.H. & O'Neill, R.V.** (1993). Lacunarity indices as measures of landscape texture. *Landscape Ecol* **8**, 201–211. <https://doi.org/10.1007/BF00125351>
- Poincaré, H.** (2017). *The three-body problem and the equations of dynamics: Poincaré's foundational work on dynamical systems theory* (Vol. 443). Springer.
- Prunet, N. & Duncan, K.** (2020). Imaging flowers: A guide to current microscopy and tomography techniques to study flower development. *J. Exp. Bot.* **71**, 2898–2909
- Prigogine, I.** (1999). *Kesinliklerin Sonu: Zaman, Kaos ve Doğa Yasaları*, çev. Süheyla Şen, İstanbul: Sarmal Yayınevi.
- Rashid, M.** (2017). The Geometry of Urban Layout. *A global comparative study*. Springer International Publishing. İsviçre.
- Rian I. M. & Asayama, S.** (2016). Computational Design of a nature-inspired architectural structure using the concepts of self-similar and random fractals, *Automation in Construction*, Volume 66, s. 43-58.
- Rian, I. M. & Sassone, M.** (2014). Fractal-Based Generative Design of Structural Trusses Using Iterated Function System. *International Journal of Space Structures*, 29(4), 181–203. <https://doi.org/10.1260/0266-3511.29.4.181>
- Rosenberg E.** (2020). Lacunarity. In: *Fractal Dimensions of Networks*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43169-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43169-3_19)
- Rueden, C. T., Schindelin, J., Hiner, M. C., DeZonia, B. E., Walter, A. E., Arena, E. T., & Eliceiri, K. W.** (2017). ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC bioinformatics*, 18(1), 529. <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>

- Samantray, P. K., Karthikeyan, P., & Reddy, K. S.** (2006). Estimating effective thermal conductivity of two-phase materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49(21-22), 4209-4219.
- Sankaralingam, S., Dhar, S., Bag, A.K. Kundu, A. & Gupta, B.** (2014). Use of Minkowski Fractal Geometry for the Design of Wearable Fully Fabric Compact Antenna. *Journal of Physical Sciences*.18. 07-13.
- Sardar, Z. I. A.** (1999). Introducing Chaos, Allen and Unwin Pty, Avustralya,
- Smith Jr, T. G., Lange, G. D., & Marks, W. B.** (1996). Fractal methods and results in cellular morphology—dimensions, rity and multifractals. *Journal of neuroscience methods*, 69(2), 123-136.
- Stamps, A. E.** (2002). Fractals, skylines, nature and beauty. *Landscape and urban planning*, 60(3), 163-184.
- Stewart, I.** (1997). *Does God play dice?: The new mathematics of chaos*. Penguin UK.
- Tannier, C., Frankhauser, P., Houot, H. & Vuidel, G.,** (2006) Optimisation de l'accessibilité aux aménités urbaines et rurales à travers le développement de modèles fractals d'urbanisation. *In: XIIème colloque de l'ASRDLF, XIIème colloque du Grerbam, Sfax.*
- Tanrıbir, E. ve Akten, M.** (2020). Isparta Kent Merkezinin Mekânsal Algı Değerlendirmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 165-180. DOI: 10.30785/mbud.695520
- Thomas, I., & Frankhauser, P. (2013).** Fractal dimensions of the built-up footprint: buildings versus roads. Fractal evidence from Antwerp (Belgium). *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(2), 310–329. <https://doi.org/10.1068/B38218>
- Tolle, C. H., McJunkin, T. R., & Gorsich, D. T.** (2008). *An efficient implementation of the gliding box lacunarity algorithm*, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Volume 237, Baskı 3,s. 306-315, ISSN 0167-2789.
- Türk Dil Kurumu (TDK).** <https://sozluk.gov.tr/>, Kaos, (Erişim Tarihi: 20.09.2020) <<http://classes.yale.edu/Fractals/Panorama/Architecture/AfricanArch/Balla.html>>, (Erişim Tarihi: 20.09.2020).
- Uçar, S.** (2015). Kaos Teorisine Felsefi bir Bakış, *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi*, Sayı 27, Mart 2015, s. 293-308
- Url-1:** <[https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/3000/3796/land\\_at\\_ataturk\\_24\\_aug02\\_57m.jpg](https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/3000/3796/land_at_ataturk_24_aug02_57m.jpg)>, erişim tarihi 29.09.2020.
- Url-2:** <<https://mathworld.wolfram.com/SierpinskiCarpet.html>>, erişim tarihi 21.02.2021.
- Url-3:** <<http://www.snowcrystals.com/branching/branching.html>>, erişim tarihi 29.09.2020.
- Url-4:** <<https://fractalfoundation.org/resources/what-is-chaos-theory/>>, erişim tarihi 19.11.2020.
- Url-5:** <<https://arch574bilgi.blogspot.com/2016/11/dogann-geometrisi-ve-fraktallar.html>>, erişim tarihi 08.06.2020.

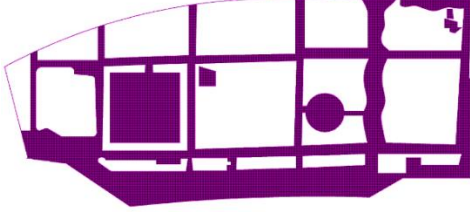
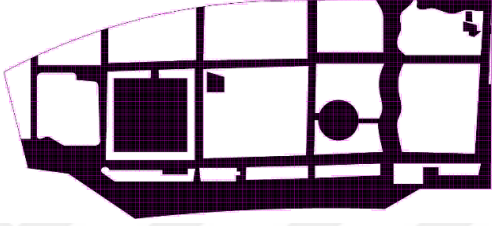
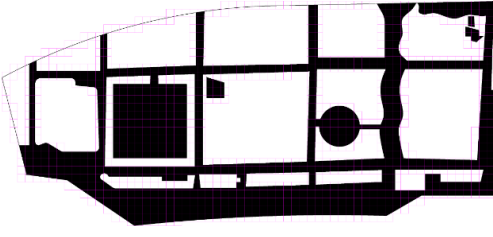
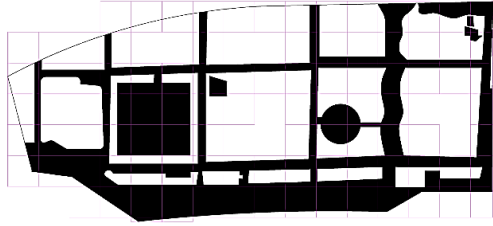
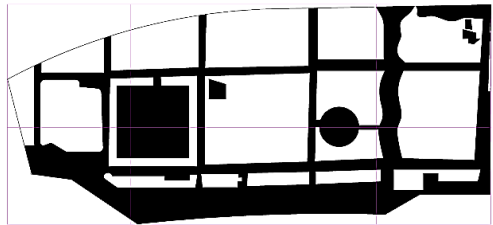
- Url-6:** <<http://www.zafercomert.com/IcerikDetay.aspx?zcms=157>>, erişim tarihi 18.12.2021.
- Url-7:** <<https://imagej.nih.gov/ij/docs/intro.html>>, erişim tarihi 29.10.2021.
- Url-8:** <<https://imagej.nih.gov/ij/plugins/fraclac/FLHelp/FractalDimension.html>>, erişim tarihi 19.10.2021.
- Uyar, A. ve Öztürk, D.** (2017). Fraktal analizin yeryüzü araştırmalarında kullanılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 147-155.
- Vignesh B. & Kavitha K.** (2018). A Survey on Fractal Antenna Design. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol . 120 No. 6 2018, s.10941-10959
- Vrekoussis, T., Chaniotis, V., Navrozoglou, I., Dousias, V., Pavlakis, K., Stathopoulos, E. N., Zoras, O.** (2009). Image analysis of breast cancer immunohistochemistry-stained sections using ImageJ: an RGB-based model. *Anticancer Res.* 29, 4995-4998.
- Wang, H., Xiaodan S., Cuiping W. & Rencai D.** (2011). Fractal analysis of urban form as a tool for improving environmental quality. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 18: 548–552. doi:10.1080/13504509.2011.603760.
- White, R. & 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: Economy and Space*, 25(8), 1175–1199. <https://doi.org/10.1068/a251175>
- Wilkinson, M.** (1997). Nonlinear Dynamics, Chaos-theory, and the “Sciences of Complexity”: Their Relevance to the Study of the Interaction between Host and Microflora.
- Yu, J.S. & Yuan, S.Q.** (2011). Study on the spatial pattern of urban public green space based on grids—a case study of the main urban area of Fuzhou, *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, vol. 27, no. 6, ss. 88–94
- Zhao, J., Xu, J. & Mei A.X.** (2005). Fractal study on land use structure and form change: the case of central areas in Shanghai, *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, vol. 1, ss. 78–8

## EKLER

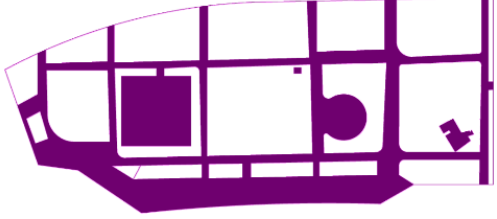
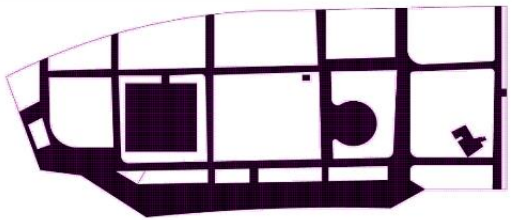
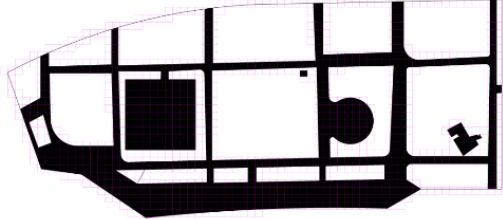
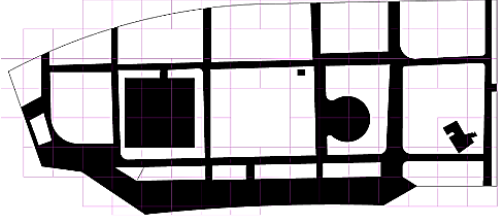
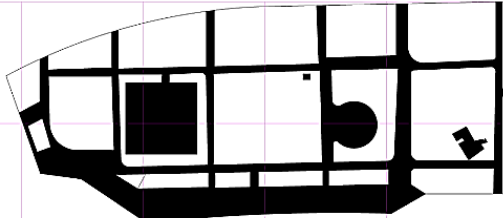
### EK A

| Kutu Boyutları (pxl) | Toplam Sayılan Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                    | 566836                     |    |
| 4                    | 145425                     |   |
| 16                   | 10289                      |  |
| 64                   | 94                         |  |
| 256                  | 17                         |  |

A 1: 2002 yılına göre Bebek Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

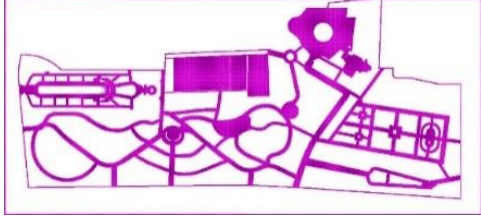
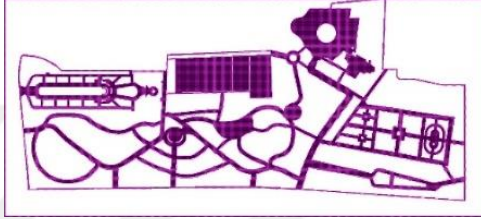
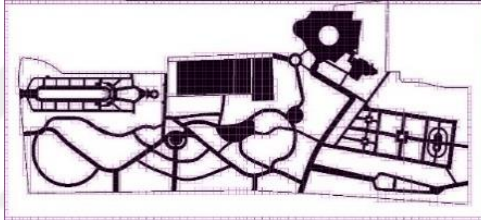
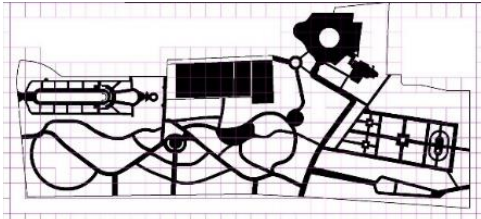
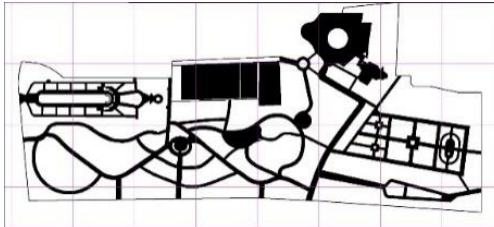
| Kutu Boyutları (pxl) | Toplam Sayılan Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                    | 490199                     |    |
| 4                    | 28980                      |    |
| 16                   | 1827                       |  |
| 64                   | 128                        |  |
| 256                  | 8                          |  |

A 2: 2010 yılına göre Bebek Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

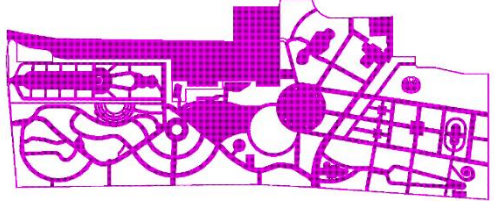
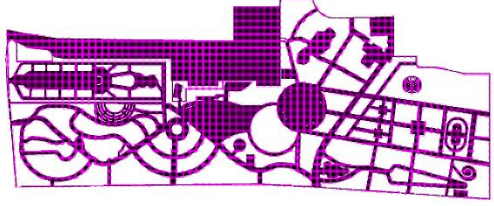
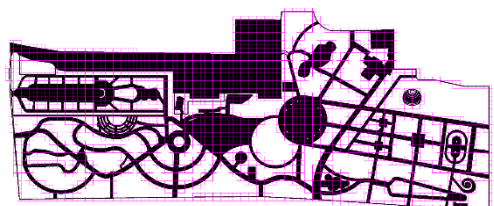
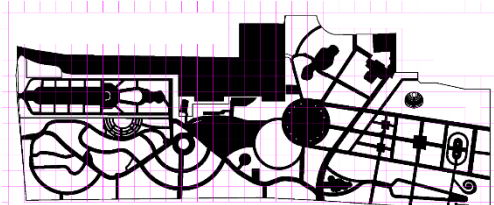
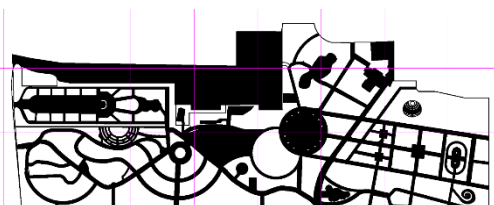
| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam<br>Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 566836                           |    |
| 4                       | 145425                           |    |
| 16                      | 10289                            |   |
| 64                      | 94                               |  |
| 256                     | 9                                |  |

A 3: 2021 yılına göre Bebek Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

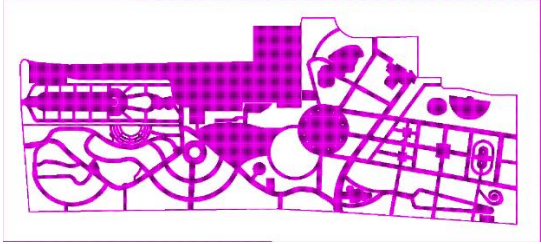
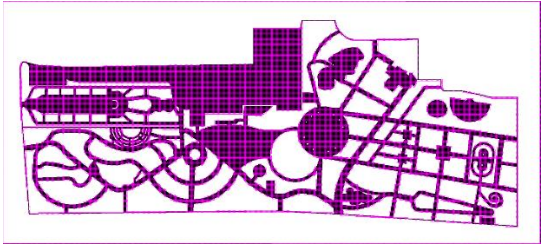
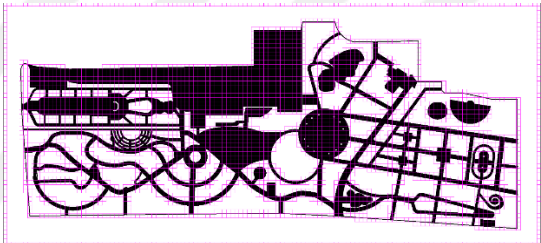
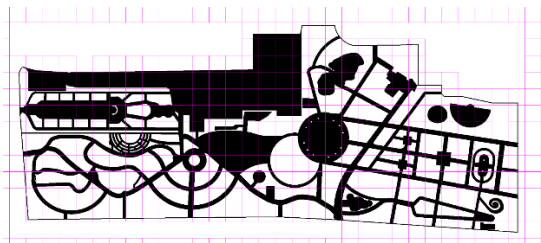
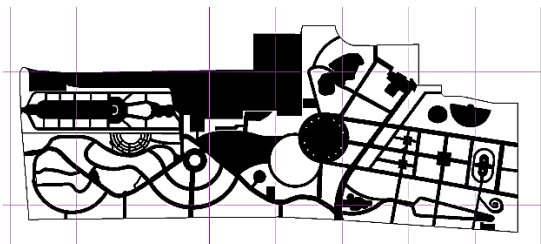
**EK B:** Göztepe 60. Yıl Parkı'na ait diğer yıllara göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 103361                        |    |
| 4                       | 28957                         |    |
| 16                      | 3031                          |   |
| 64                      | 391                           |  |
| 256                     | 36                            |  |

B 1: 2009 yılına göre Göztepe 60. Yıl Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

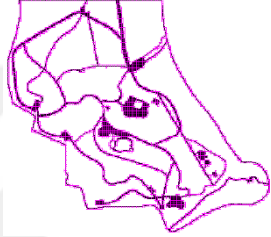
| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 103361                        |    |
| 4                       | 28957                         |    |
| 16                      | 3031                          |  |
| 64                      | 391                           |  |
| 256                     | 36                            |  |

B 2: 2017 yılına göre Göztepe 60. Yıl Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

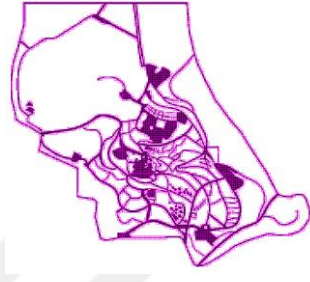
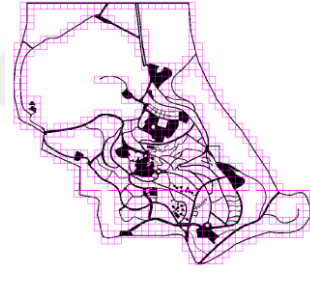
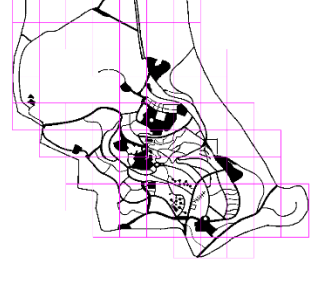
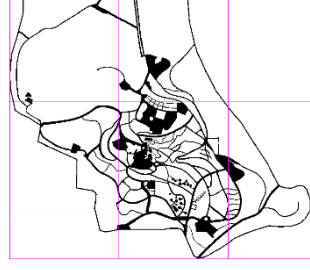
| Kutu Boyutları (pxl) | Toplam Sayılan Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                    | 147942                     |    |
| 4                    | 40414                      |    |
| 16                   | 3790                       |   |
| 64                   | 413                        |  |
| 256                  | 36                         |  |

B 2: 2021 yılına göre Göztepe 60. Yıl Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

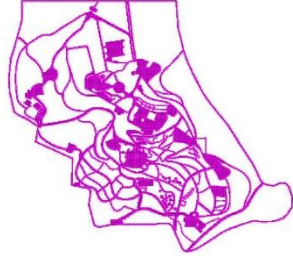
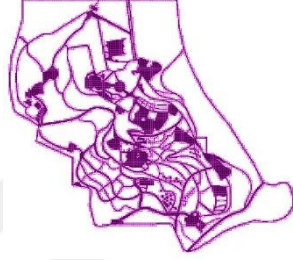
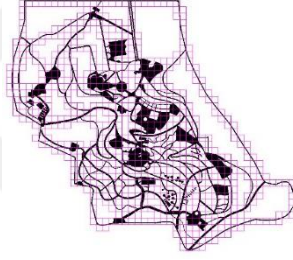
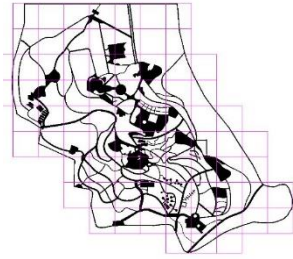
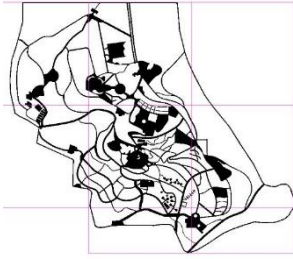
**EK C:** Emirgan Parkı'na ait diğer yıllara göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                                |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 50678                         |    |
| 4                       | 11072                         |    |
| 16                      | 625                           |  |
| 64                      | 78                            |  |
| 256                     | 8                             |  |

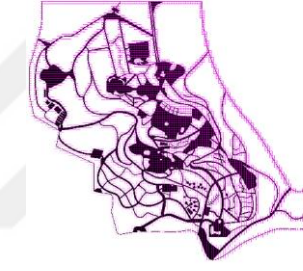
C 1: 2002 yılına göre Emirgan Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 110802                        |    |
| 4                       | 27789                         |    |
| 16                      | 1800                          |   |
| 64                      | 120                           |  |
| 256                     | 9                             |  |

C 2: 2010 yılına göre Emirgan Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

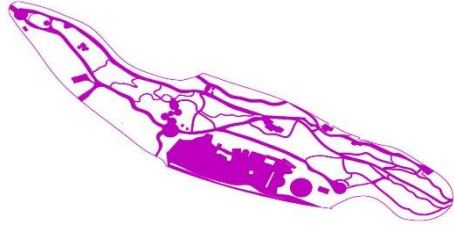
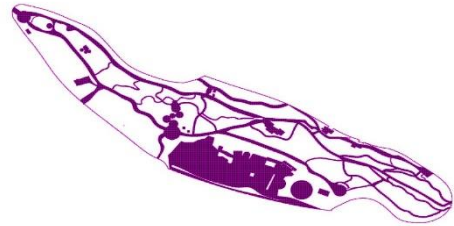
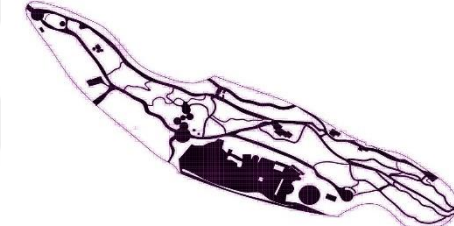
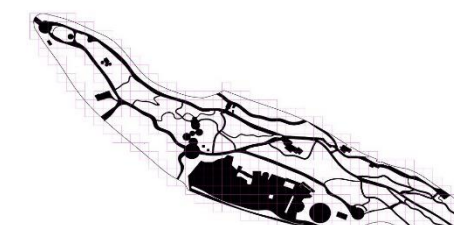
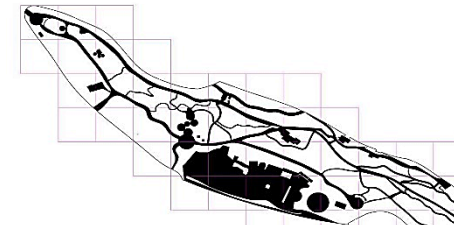
| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                                |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 138280                        |    |
| 4                       | 40083                         |    |
| 16                      | 491                           |   |
| 64                      | 80                            |  |
| 256                     | 8                             |  |

C 3: 2017 yılına göre Emirgan Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

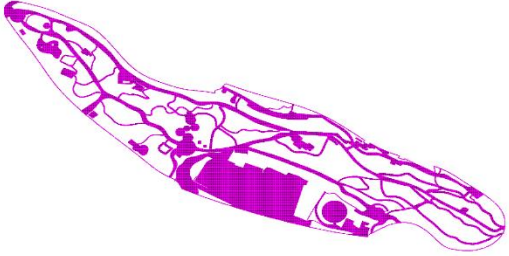
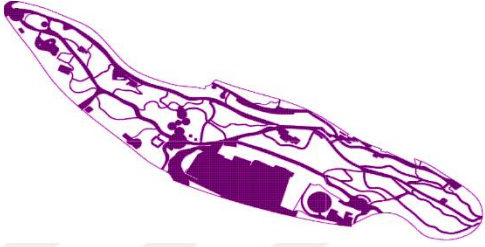
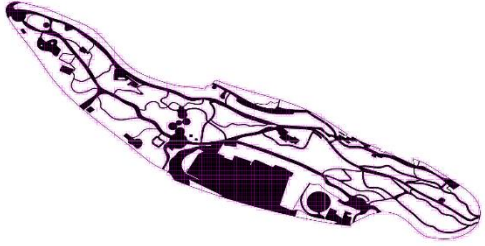
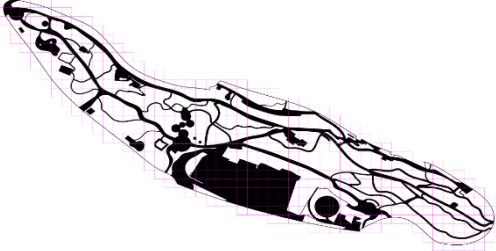
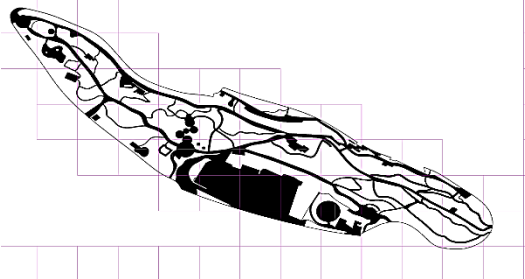
| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 138280                        |    |
| 4                       | 40083                         |    |
| 16                      | 4344                          |   |
| 64                      | 496                           |  |
| 256                     | 45                            |  |

C 4: 2021 yılına göre Emirgan Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

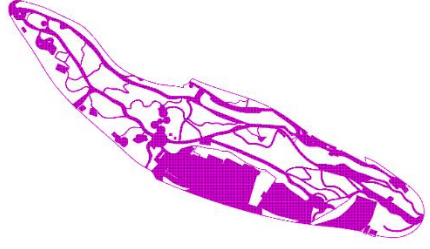
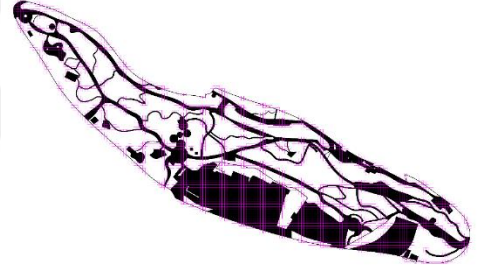
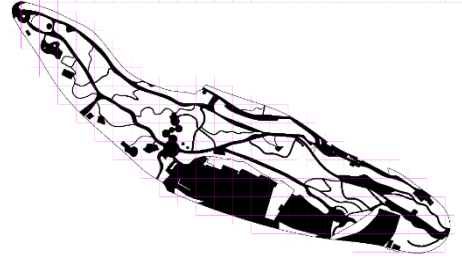
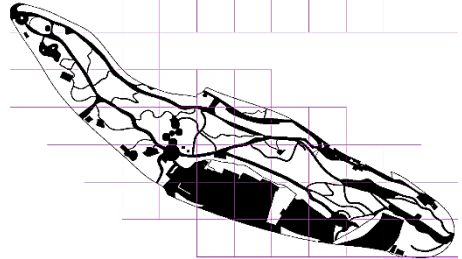
**EK D:** Maçka Parkı'na ait diğ er yıllara göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) 2002 | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                            | 156712                        |    |
| 4                            | 39078                         |    |
| 16                           | 3889                          |   |
| 64                           | 466                           |  |
| 256                          | 46                            |  |

D 1: 2002 yılına göre Maçka Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) 2002 | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                            | 180179                        |    |
| 4                            | 49785                         |    |
| 16                           | 4680                          |   |
| 64                           | 505                           |  |
| 256                          | 46                            |  |

D 2: 2014 yılına göre Maçka Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.

| Kutu Boyutları<br>(pxl) | Toplam Sayılan<br>Kutu Sayısı | Elde edilen görüntüler                                                               |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                       | 209156                        |    |
| 4                       | 56687                         |    |
| 16                      | 5168                          |   |
| 64                      | 569                           |  |
| 256                     | 59                            |  |

D 3: 2021 yılına göre Maçka Parkı piksel boyutuna göre kutu sayım işlemi.



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

:Nazlı Bahar URSAVAŞ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık, Mimarlık  
2015-2016,Universidad Politecnica de Valencia, *Erasmus*

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ocak 2016- Design Together Yarışması: Mansiyon Ödülü
- Kasım 2016- 4. Zeki Yurtbay Seramik Yarışması: Yarı-Finalist
- 2018 Yılı Mimark Mimarlık-Mimar
- 2019- 2022 Mazon Mimarlık- Mimar