



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KUZAY ANADOLU VE SAN ANDREAS FAY
ZONLARINDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL
ANALİZİ**

Ebru AYDINDAĞ

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı

Mühendislik Bilimleri Programı

Danışman

Prof. Dr. Ali Osman ÖNCEL

Aralık, 2015

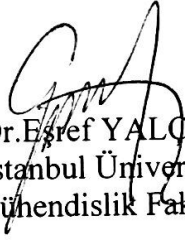
İSTANBUL

Bu çalışma 18/12/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı Mühendislik Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:




Prof.Dr.Ali Osman ÖNCEL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr.Esref YALÇINKAYA
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr.Murat ÖZLER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr.Hayrettin KORAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç.Dr.Serkan ÖZTÜRK
Gümüşhane Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca ihtiyaç duyduğum her anda bilgi ve birikimleri ile her zaman yanımda olan, danışman hocam sayın Prof. Dr. Ali Osman ÖNCEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu zor süreçte her daim beni destekleyen ve yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma da sevgi ve saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Aralık, 2015

Ebru AYDINDAĞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	7
3. MALZEME VE YÖNTEM	22
3.1. KUZEY ANADOLU FAY ZONU	22
3.2. SAN ANDREAS FAY ZONU	25
3.3. KUZEY ANADOLU VE SAN ANDREAS FAY ZONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	28
3.4. FRAKTAL BOYUT	29
3.5. FRAKTAL BOYUT TÜRLERİ	30
3.5.1. Kapasite Boyutu	30
3.5.2. Bilgi Boyutu.....	31
3.5.3. Korelasyon Boyutu	31
3.6.FRAKTAL ANALİZ	31
3.6.1. Kutu Sayma Yöntemi (Box Counting Method)	31
3.7. KUTU SAYMA YÖNTEMİNİN KLASİK UYGULAMASI.....	34
3.8. KUTU SAYMA YÖNTEMİNİN MODERN UYGULAMASI.....	35
3.8.1. Free Box Metodu	36
3.8.2. Grid Metodu.....	36
3.9. KORELASYON ANALİZİ	36
4. BULGULAR	38
4.1. KUZEY ANADOLU FAY ZONUNDA AKTİFFAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ	38

4.2. SAN ANDREAS FAY ZONUNDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ	41
4.3. FRAKTAL BOYUT DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ.....	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	52
KAYNAKLAR	58
EKLER.....	63
EK A: KUZEY ANADOLU FAY ZONUNDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ.....	63
EK B: SAN ANDREAS FAY ZONUNDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	101

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 1.1:** Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarının karşılaştırılması.5
- Şekil 2.1:** San Andreas fayında yapılan ilk fraktal analiz çalışmasından örnek (Orijinal ölçek 1:750.000, Kuvaterner ve genç faylar şekilde yer almaktadır. Salton Denizi ve Parkfield bölgesi 6 bölüme (30 km genişliğinde) ayrılarak incelenmiştir. Fay zonunun tümü ve her bölümü için hesaplanan fraktal boyut değerleri gösterilmektedir (Okubo ve Aki, 1987'den değiştirilerek alınmıştır).10
- Şekil 2.2:** San Andreas Fay Zonunda yapılan ilk fraktal analiz çalışması örneği. Q ve R bölümleri boyunca fay uzunluğunu örten minimum sayıda daireler gösterilmektedir (1/24:000). Q bölümü $r < 400m$ için $D=1.2$, $r > 400m$ için $D=1$ olarak hesaplanmıştır. R bölümü $r \cong 1$ km için D değerleri 1.2 - 1.0 arasında değişmektedir (Okubo ve Aki, 1987).11
- Şekil 2.3:** San Andreas Fayı'nın sismik davranış karakteristiğine göre beş ana bölüme (kalın çizgiler) ayrılarak fay zonu boyunca düzensizliğindeki değişim fraktal boyut geometrisi yardımıyla incelenmiştir. 1906 ve 1857 kırıkları kesikli çizgilerle gösterilmektedir (Aviles ve diğ. 1987).12
- Şekil 2.4:** (a) San Andreas Fay Zonunun kuzey ve güney bölümleri, büyük depremler (1906 ve 1857)ve krip bölgesi için maksimum yüzey kırığı uzunluğu gösterilmektedir. Soru işareti krip ve güney bölümleri için yüzey kırığının belirsizliğini göstermektedir. (b) Çalışma kapsamında SAF'da incelenen tüm alanlar için fraktal boyut değerlerini göstermektedir. 1906K, 1857K: 1906 ve 1857 kırıklarının kuzeyini, 1906G, 1857G: 1906 ve 1857 kırıklarının güneyini temsil etmektedir (Aviles ve diğ. 1987'den alınmıştır).13
- Şekil 2.5:** Kutu sayma yönteminin uygulanmasıyla Japonya'daki aktif fay verilerinin fraktal analizi. (a) Japonya'nın Lida bölgesini göstermektedir. (b) Kutular 2^n $n=1, \dots, 5$ olacak şekilde küçültülmüş, dolu olan kutular sayılıp kartezyen koordinatlarda işaretlenerek fraktal boyut değeri hesaplanmıştır (Hirata, 1989a).14
- Şekil 2.6:** Zagros Bindirme zonu boyunca hesaplanan fraktal boyut parametresinin bölgesel değişimleri gösterilmektedir. $44^\circ E$ - $56^\circ E$ 'lik alan birbirine eşit dokuz bölüme ayrılmış ve her bir bölüm için fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır (Öncel ve diğ. 1995).16
- Şekil 2.7:** Türkiye'deki doğrultu atımlı fay sistemleri boyunca kutu sayma yöntemi kullanılarak elde edilen fraktal boyut değerlerinin harita üzerinde gösterilmesi (Öncel, 1996).17
- Şekil 2.8:** Japonya'da (a) aktif fay verilerine (b) deprem episantrlarına uygulanan kutu sayma yönteminin şematik gösterimi. Kutu sayma yönteminde uygulanan her adımda kutu kenar uzunluğu azalmaktadır (Lei ve Kusunose, 1999).18

- Şekil 2.9:** (a) Japonya'nın merkezi Lida bölgesindeki aktif faylar. (b) Lida 'daki aktif fay sistemi için Log N/Log r grafiği. (c) Japonya'nın güneybatısı olan Hiroşima bölgesindeki aktif faylar. (d) Hiroşima bölgesindeki aktif fay verileri için kutu eğrisi (Öncel ve diğ. 2001).20
- Şekil 3.1:** Kuzey Anadolu Fay Zonu Erzincan-İzmit arasında daha basit, çizgisel ve İzmit'ten başlayarak Marmara denizi içinden Ege denize doğru daha karmaşık fay geometrisi göstermektedir (Armijo ve diğ. 2005).22
- Şekil 3.2:** Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelen büyük depremlerin gösterilmesi. 1999 ve 1912 deprem kırıkları arasında Marmara denizi içinde kırılması beklenen deprem boşluğu gösterilmektedir (Barka ve diğ. 2002).23
- Şekil 3.3:** Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca fraktal analiz uygulanan sabit büyüklüklü kutusal geometri fay alanları ve örnek bir kutusal fay alanının gösterilmesi (Adapazarı).25
- Şekil 3.4:** Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca fraktal analizi yapılan sabit büyüklüklü kutusal fay alanlarının Google Earth görüntüsü şeklinde gösterilmesi. Kutusal fay alanlarının pozisyonları ana deprem fayı merkeze alınarak birbirinin devamı olacak şekilde seçilmiştir.....25
- Şekil 3.5:** San Andreas Fay Zonu boyunca meydana gelen üç büyük deprem ve yüzey kırık uzunlukları gösterilmektedir. Fay zonu boyunca asperite fay alanları (1906 ve 1857) arasında 150 km uzunluğunda krip fay alanı bulunmaktadır.26
- Şekil 3.6:** San Andreas Fay Zonunda fraktal analizi yapılan kutusal fay alanlarından örnek gösterilmesi (San Bernardino Dağı Bölümü).....27
- Şekil 3.7:** San Andreas Fay zonu boyunca fraktal analizi yapılan kutusal fay alanlarının Google Earth görüntüsü şeklinde gösterilmesi.28
- Şekil 3.8:** Kutu sayma yönteminin şematik gösterimi.32
- Şekil 3.9:** Kutu Sayma yöntemi ile fraktal boyut değerinin elde edilmesinin şematik gösterimleri. (a) İçine kırık düşen kutu sayısının 2'nin üstel olarak büyümesine bağlı olarak artmasını gösterir. (b) Kutucukların kenar uzunluklarının küçülmesine bağlı olarak içine kırık düşen kutuların sayısal olarak büyümesini göstermektedir.33
- Şekil 3.10:** Kutu sayma yönteminin klasik uygulamasının 5 adım (iterasyon) için şematik gösterilmesi. Uygulanan algoritmada kutunun kenar uzunluğu azalırken içine aktif fay verisi düşen dolu kutu sayısı artmaktadır.34
- Şekil 3.11:** KAFZ (sağda) ve SAFZ (solda) boyunca kutu sayma yönteminin modern uygulaması olan görüntü analizi için örnek kutusal alanların görüntü işleme programı yardımıyla siyah-beyaz görüntü formatına dönüştürülmesi.36
- Şekil 4.1:** Klasik uygulama örneği (Adapazarı). Fraktal boyut değeri ve regresyon belirlilik katsayısı gösterilmektedir (sağda). İstatistik açıdan incelenen fraktal aralık en küçük kutu kenar uzunluğu $r=0.93$ km (Log $r=-0.03$) ile en büyük kenar uzunluğu $r=15$ km (Log $r=1.17$) arasında değişmektedir.....39
- Şekil 4.2:** Free Box metodu için bir örnek (Adapazarı) uygulama. Kalın siyah çizgiler deprem yüzey kırıklarını, daha ince olanlar ise holosen fay çizgilerini göstermektedir....40

Şekil 4.3: Grid metodu için bir örnek (Adapazarı) uygulama. Fraktal boyut değeri ve korelasyon katsayısı gösterilmektedir.....	40
Şekil 4.4: Klasik uygulama örneği (San Bernardino Dağı Bölümü). Fraktal boyut değeri ve regresyon belirlilik katsayısı (sağda) gösterilmektedir.	41
Şekil 4.5: Free Box metodu için bir örnek (San Bernardino Dağı Bölümü) uygulama.	42
Şekil 4.6: Grid metodu için bir örnek (San Bernardino Dağı Bölümü) uygulama.	42
Şekil 4.7: KAFZ boyunca klasik ve modern yaklaşımlara göre uygulanan kutu sayma yöntemlerinin (toplam 43 kutu: K1-K43) korelasyon katsayısına (R) göre karşılaştırılması gösterilmektedir.....	46
Şekil 4.8: SAFZ boyunca klasik ve modern yaklaşımlara göre uygulanan kutu sayma yöntemlerinin (toplam 32 kutu: S1-S32) korelasyon katsayısına (R) göre karşılaştırılması gösterilmektedir.....	46
Şekil 4.9: KAFZ ve SAFZ boyunca korelasyon katsayılarının karşılaştırılmasıyla hangi uygulama ile fraktal boyut değerlerinin belirlendiği yüzdesel olarak grafikte gösterilmektedir.	50
Şekil 4.10: KAFZ (üstte) ve SAFZ (altta) fraktal analiz sonucunda elde edilen fraktal boyut değerlerine göre benzer alanların gösterilmesi. KAFZ boyunca fraktal boyut değerleri % 58 (1.1-1.3), % 37 (0.9-1.1) ve %5 (1.3-1.5) arasında bir yüzdesel dağılım göstermektedir. Fakat SAFZ boyunca fraktal boyut değerlerinin yüzdesel dağılımı %50 olarak dengeli bulunmuştur.	51
Şekil 5.1: 1992 (altta) ve 2012 (üstte) yıllarında yayınlanmış olan Türkiye Diri Fay haritaları.....	54

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Fay sistemlerinde fraktal analiz yöntemleriyle yapılan örnek global çalışmalar.....	21
Tablo 4.1: KAFZ boyunca uygulanan klasik ve modern kutu sayma yöntemleri sonucunda her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.....	44
Tablo 4.2: SAFZ boyunca uygulanan klasik ve modern kutu sayma yöntemleri sonucunda her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.....	45
Tablo 4.3: KAFZ boyunca uygulanan kutu sayma yöntemleri sonucunda korelasyon katsayısı göz önüne alınarak her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.....	47
Tablo 4.4: SAFZ boyunca uygulanan kutu sayma yöntemleri sonucunda korelasyon katsayısı göz önüne alınarak her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.....	48
Tablo 4.5: Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonu boyunca elde edilen fraktal boyut değerlerinin gösterilmesi.....	50

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A	: Alan
a	: Birim zamanda meydana gelen deprem sayısı (a-değeri)
b	: Deprem büyüklüğü- oluşum sayısarasındaki ilişki (b-değeri)
D	: Fraktal boyut
D_0	: Kapasite boyutu
D_1	: Bilgi boyutu
D_2	: Korelasyon boyutu
M	: Deprem büyüklüğü
N	: Fay verisi ve kutu sayısı
C(r)	: Korelasyon integrali
R^2	: Regresyon Belirlilik Katsayısı
R	: Korelasyon Katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
SAFZ	: San Andreas Fay Zonu
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
SAF	: San Andreas Fayı
KB	: Kuzey Batı
GD	: Güney Doğu
Tiff	: Tagged Image File Format (İşaretlenmiş görüntü formatı)
Bmp	: Bitmap (Bit haritası)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KUZEY ANADOLU VE SAN ANDREAS FAY ZONLARINDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ

Ebru AYDINDAĞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Osman ÖNCEL

Fraktal boyut kavramı ilk kez Büyük Britanya'daki sahil kıyısının uzunluğunun belirlenmesi çalışmalarında matematikçi Mandelbrot tarafından 1967 yılında kullanılmıştır. Günümüzde de fraktal jeofizik, biyoloji, fizik, tıp, ekonomi, finans ve petrol arama çalışmaları gibi birçok konuda uygulama alanı bulmuştur.

İki büyük aktif fay zonunun birbirlerine ikiz olacak derecede yakın benzerlikte oldukları literatürde çeşitli çalışmalarla araştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında ise fraktal analiz yöntemiyle ikiz fay sistemleri olarak bilinen Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarındaki aktif fay verileri analiz edilerek incelenmiş ve ikiz fay zonlarında bilinen benzerliğe matematiksel yeni bir veri sağlanmıştır. İki fay zonu fay düzensizliği açısından benzer alanların bulunması için fraktal analiz yöntemi kullanılmıştır.

Dünya'da aktif fay zonlarının analizinde kutu sayma yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca diri fay verileri kutu sayma istatistik yöntemiyle analiz edilerek her bir kutu alan için fraktal boyut değeri bulunmuştur. Kutu sayma yöntemini kısaca açıklamak gerekirse; fraktal boyutun hesaplanmasında kutu büyüklüğü r ve kutu sayısı N olacak şekilde cismin örtülmesi esas alınır. $\log N(r) - \log r$ kartezyen koordinatlarda istatistiksel açıdan düz bir eğri ile temsil edilir ve bu eğrinin eğimi bize fraktal (kapasite) boyutu vermektedir.

Fay zonları boyunca fay verilerininin fraktal yapıları 900 km^2 büyüklüğünde sabit alanlar için incelenmiştir. Her iki fay zonu boyunca çoklu yöntem yaklaşımıyla (klasik ve modern) bulunan fraktal boyut değerlerinden korelasyon katsayısı en yüksek olan

sonuçlar seçilmiştir. Fraktal boyut değerlerinin iki fay zonu boyunca yaklaşık olarak 0.9 ile 1.5 arasında değiştiği görülmüştür. Aktif fay zonları boyunca ortalama olarak fraktal boyut değerleri $D_{SAF} = 1.09 \pm 0.1$ ve $D_{KAF} = 1.08 \pm 0.12$ olduğu belirlenmiştir. İki fay zonu boyunca benzer fraktal büyüklük aralıklarına göre haritada renklendirme yapılmıştır. Fraktal boyut değişimlerine göre, iki fay zonu içinde birbirine benzeyen alanlar belirlenmiştir.

Aralık 2015, 113 Sayfa.

Anahtar kelimeler: Fraktal, Kuzey Anadolu Fay Zonu, San Andreas Fay Zonu, aktif fay sistemi, kutu sayma yöntemi.

SUMMARY

M. Sc. THESIS

FRACTAL ANALYSIS OF ACTIVE FAULT DATA IN THE SAN ANDREAS AND THE NORTH ANATOLIAN FAULT ZONES

Ebru AYDINDAĞ

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Engineering Science

Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman ÖNCEL

The concept of fractal dimension was used at first study by Mandelbrot who was a mathematician, to determine the length of a coastline of Great Britain in 1967. Nowadays, fractal has found applications in many fields such as geophysics, biology, economics, finance and oil exploration works.

In the literature these two major active fault zones that are resembled each other very closely and have been investigated in many studies. As a part of thesis study, active fault data on the San Andreas and the North Anatolian Fault Zones have been analyzed with the fractal analysis method and known similarities between these fault zones have been provided a new mathematical data. Along two fault zones, similar regions of fault heterogeneity have been determined with fractal analysis.

In the analysis of active fault zones all over the world, the box counting method has been used. In this study, active fault data along the North Anatolian and the San Andreas Fault Zones was analyzed with box counting method in order to compute fractal dimension for each box. As a brief explanation of box counting method, in the calculation fractal dimension box size r and the number of boxes N , are taken into account to cover the object. $\log N(r) - \log r$ is represented by a straight line at cartesian coordinates and the slope of this curve gives us the fractal (capacity) dimension.

The fractal structure of fault zones have been conducted over the fixed area of 900 km² through the both fault zones. The results of the fractal dimension values that are selected with the highest correlation coefficient, based on the multi-method approach (classic

and modern) along both two fault zones. The fractal dimension values along two fault zone ranged between 0.9 and 1.5 approximately. Along active fault zones the average fractal dimension of $D_{SAF}= 1.09\pm 0.1$ and $D_{NAF}= 1.08\pm 0.12$ have been found. Staining in the map for both fault zones have been conducted according to similar size of fractal dimension. With regard to changes in fractal dimension, similar areas within both fault zones have been determined.

December 2015, 113 Pages.

Keywords: Fractal, North Anatolian Fault Zone, San Andreas Fault Zone, active fault system, box counting method.

1. GİRİŞ

Fraktal kavramı matematiksel olarak ilk kez 1861 tarihinde Karl Weierstrass'ın türevlenebilir olmayan, sürekli köşe noktalarından oluşan bir eğri üzerindeki hiçbir noktada değişme oranı bulunamayacağını keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. Klasik matematikçiler tarafından canavar olarak adlandırılan bu eğriler Cantor, Von Koch, Hausdorff, Besicovitch gibi tarihte yer alan ünlü matematikçiler tarafından fraktal kavramının kullanılmasıyla çizilebilmiştir (Ürey, 2006).

Ünlü bilim adamı ve matematikçi Benoit Mandelbrot, Amerika'ya yerleşip IBM firmasında çalışmaya başladıktan sonra bilgisayar kullanarak yaptığı çalışmalarda göze hitap eden yeni bir matematik kavramını keşfetmeye başlamıştır. Mandelbrot'dan daha önce de fraktal konusunda çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir: Cantor kümesi (1870), Peano eğrisi (1890), Hilbert eğrisi (1891), Koch eğrisi (1904), Sierpinski üçgeni (1915) (Ufuktepe ve Aslan, 2002). Fakat Mandelbrot, Latince kırıklı, parçalı anlamına gelen “fractus” sözünden türettiği “fraktal” ismini doğada var olan şekillere ve yapılara veren ve onların matematiğini inceleyen ilk kişidir (Benli ve Akbulut, 2009).

B. Mandelbrot fraktal nesnelere sayısal bilgisayarını kullanarak derinlemesine incelediği çalışmalarını tarihte yer alan ünlü matematikçilerin övgüsünü kazanabilen ilk kişi olmuştur (Gleick, 2003). Mandelbrot gerçekleştirdiği çalışmaların neticesinde yaklaşık üç bin yıldır süregelen Öklid geometrisinin yetersiz kaldığını fark etmiştir. “Bulutlar küre değildir, dağlarda koni değildir.” sözleriyle düzgün yapılar geometrisinin yetersizliğini vurgulayarak itirazda bulunmuştur. Doğada var olan nesnelere daire, dörtgen, çember, küre, sinüs dalgaları gibi düzgün geometrik şekillerle veya matematiksel eğrilerle göstermenin gerçekçi olmadığını altını çizer. Bu itiraz ile ortaya çıkan, Mandelbrot'un “fraktal geometri” diye tanımladığı bu yeni geometri akımına göre var olan evren pürüzlü ve karmaşıktır (Ufuktepe ve Aslan, 2002). Bu şekilde ortaya çıkan fraktal kavramı birçok bilim alanında farklı ölçeklerdeki karmaşık (kaotik) ve düzensiz (heterojen) diye adlandırabileceğimiz yapıların (sistemlerin) modellenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde de fraktal jeofizik, biyoloji,

tıp, fizik, ekonomi, finans ve petrol arama çalışmaları gibi birçok konuda uygulama alanı bulmuştur (örn., Öncel, 1996; Erzan, 1998; Babadağlı, 2001; Öncel ve diğ. 2001; Akçiçek ve diğ. 2007; Ural ve Demireli, 2009).

Fraktal, düzgün olmayan parçalara ayrılabilen ve daha küçük boyutlara ayrıldığında kendini tekrarlayan, geometrik bir şekil olarak tanımlanabilir (Mandelbrot, 1983). Bu özelliği vurgulamak üzere mono-fraktal kavramı kullanılmıştır. Mono-fraktallar genelde sonsuza kadar küçülürken aynı zamanda birbirini tekrar eden, birbirine benzeyen parçalardan meydana gelir. Fakat bir yapıda gözlenen düzensizlik birbiriyle iç içe girmişse farklı sistemlerle ilişkili olabiliyorsa bu durum multi-fraktal veya çoklu fraktal olarak açıklanmaktadır (Cowie ve diğ. 1995).

Fraktal olarak nitelendirilen sistem veya yapıların ortak ve en önemli özellikleri; kendine-benzer olması ve ölçekte değişmezliğidir. Kendine benzer olması yani “self similar” özelliği taşıması farklı ölçeklerde cismin aynı özellikleri göstererek kendine benzemesi yani sonsuza kadar detay sunmasıdır (Öncel, 1996). Fraktal bir cisimden bir parça kesit alındığında alt detaylar şeklin bütününe benzemektedir. Fraktalların ölçekte değişmez oluşu ise Mandelbrot’un Büyük Britanya kıyı şeridinin uzunluğunu kaç kilometre olduğunu ölçmesi temeline dayanmaktadır. Mandelbrot kıyı şeridinin uzunluğunu birbirinden farklı boyuttaki cetveller ile ölçtüğünde cetvelin boyu küçüldükçe kıyı şeridinin uzunluğunun sınırsız şekilde arttığını görmüştür. Bu sonucu da fraktal kavramını kullanarak açıklamıştır (Mandelbrot, 1967).

Doğada meydana gelen jeolojik ve jeofizik olaylar; depremler, faylar, nehirler, maden-petrol yatakları, volkanik patlamalar gibi birçok olay ölçek değişmezdir; diğer deyişle ölçekten bağımsızdır (Öncel ve Alptekin, 1995). Kırıklı, zikzaklı ve karmaşık geometriye sahip, doğada var olan bu yapıların veya sistemlerin geometrik özellikleri fraktal kavramı kullanılarak açıklanabilmektedir. Özellikle sismoloji alanında istatistiksel yöntemlerin daha fazla kullanılmasıyla depremsellik çalışmalarında fraktal analiz yöntemlerinin önemi gittikçe artmaktadır.

Fraktal dağılım belirtilen bir boyuttan daha büyük olan nesnelerin sayısının güç yasasına bağlı olmasını gerektirir. Fraktal dağılımın ölçüsü olan fraktal boyut D şeklinde tanımlanır. Fraktal dağılım ölçek değişmezliği olan istatistiksel bir dağılımdır.

Bu sebepten birçok jeolojik ve jeofiziksel veri setlerinin fraktal olması şartıdır (Turcotte, 1997).

Fraktal boyut incelenen sistemde veya veri grubundaki düzensizliğin bir boyutu olup, kullanılan verinin özelliğine ve kullanılan metoda göre değişkenlik gösterebileceğinden, anlamı da değişmektedir (Öncel ve Alptekin, 1995).

r_i karakteristik boyut, N_i nesnelere sayısı, C oran sabiti olmak üzere (1.1) denklemiyle açıklanan ilişki D fraktal boyutu göstermektedir (Turcotte, 1997). Bu bağıntıda gerekli işlemler yapıldığında fraktal boyut değeri;

$$D = \log \frac{(N_{i+1}/N_i)}{(r_i/r_{i+1})} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Fraktal geometri girintili, çıkıntılı, kırıklı, pürüzlü ve karmaşık olarak nitelendirilen geometrik şekillerin bir çalışması olan yeni bir geometri dilidir. Bu nesnelere matematiksel eğriler (dörtgen, çember, elips, küre vb.) ile ifade edilemeyen, bütün ölçeklerde dahi aynı olacak şekilde birbirine benzeyen düzensiz nesnelere dir.

Fraktal geometri sayesinde fraktal analiz olarak adlandırılan yeni ölçüm yöntemi ile doğadaki karmaşık nesnelere ve olayların düzensizlikleri sayısal şekilde incelenmeye başlamış, bilim dünyasındaki çalışmalarda yer almıştır (Yılmaz, 2013). Ayrıca fraktal geometri, düzgün geometri olarak adlandırılan Öklid geometrisi ile pürüzlü, kırıklı ve parçalı olan karmaşıklığın geometrisi olarakta adlandırdığımız kaos geometrisi arasında yeni bir alan sağlamaktadır (Mandelbrot, 1989).

Öklid geometrisine göre düzenli yapıların boyut kavramı tam sayılarla nitelenmektedir. Şöyle ki; noktanın boyutu 0, doğrunun boyutu 1, düzlemin boyutu 2 ve küpün boyutu 3 olarak tam sayılarla ifade edilir (Turcotte,1997). Fraktal geometri de ise düzensiz yapıların boyutları kesirli sayılarla ifade edilmektedir. Buna göre bir eğrinin fraktal boyutu 1 ile 2 arasında değişkenlik gösterir. Çizgisel tek boyutlu düzgün yapıya veya düzlemsel iki boyutlu yapıya yakınlığı 1 ile 2 arasında alacağı değere göre tespit edilir. Düzlem veya küresel yapı arasında bir düzensizliğe sahip yapının fraktal boyutu ise 2 ile 3 arasında değişiklik göstermektedir.

Depremlerin ve fayların dağılımı, kabukta meydana gelen deformasyon ölçekten bağımsızdır ve fraktal özellik gösterirler (Turcotte, 1997). Doğadaki kırık sistemlerinin geometrik özelliklerinin ve deprem dağılımlarının ölçekte değişmezlik özelliğine sahip olmaları, fay sistemlerinin yapısal ve sismolojik özelliklerinde fraktal kavramı ile tanımlayabileceğini göstermektedir (Mandelbrot, 1983). Sismisite (deprensellik) fraktal kavramı kullanılarak ölçülebilen kaotik ve karmaşık olayların en basit örneğidir (Turcotte, 1997). Sismisitenin mono fraktal yapının dışında multifraktal yapı ile tanımlanabileceğine ilişkin çalışmalarda depremleri meydana getiren fay zonları boyunca düzensizlik içerisinde başka düzensiz yapılar bulunduğu veya çoklu fraktal (multi-fraktal) düzensizlikle açıklanabileceği gösterilmiştir (örn., Öncel ve Wilson, 2004; Öncel ve Wilson, 2006; Öncel ve Wilson, 2007).

Fay sistemlerinde düzensizliğin anlaşılması ve fay zonları boyunca dallanma geometrilerinin düzensizliğe etkisinin anlaşılmasıyla ilgili çalışmalar son yıllarda çok önem kazanmıştır (Scholz ve diğ. 2010). Fayların pürüzlü yapıları ve düzensiz geometrileri fraktal sistem olmalarıyla açıklanabilmektedir. Fraktal sistemlerde temel geometrik, mekanik ve matematiksel yapıları genellikle tüm ölçeklerde düzensiz, ayrık ve heterojendir (Ben-zion ve Sammis, 2003). Fraktal sistem faylarda meydana gelen deformasyon sırasında gerilmenin azalması ve artması süreçlerinin arasındaki dengeyi ifade etmektedir.

Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonu günümüzde jeofizik ve jeolojik açıdan en çok tanınan ve incelenen yapılar arasında yer almaktadır. Her ikisi de sağ yönlü doğrultu atımlı ve transform fay özelliğine sahiptir. İki fay sistemi de tek bir kırık çizgisi olmayıp, fay sistemi olarak adlandırabileceğimiz birbirine paralel ya da kademeli olarak nitelendirilen birçok fay kollarından oluşmaktadır. Ayrıca fay uzunlukları, yaşları, kayma oranları, hareket yönleri birbirine çok benzer olup, fraktal karakterleri açısından da karmaşık veya düzensiz bir fay geometrisine sahiptirler (Ketin, 1976). Bu benzerliklerinden dolayı Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları literatür çalışmalarında **ikiz fay** olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarının karşılaştırılması.¹

Tez çalışması kapsamında uygulanacak fraktal analiz yöntemiyle Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarındaki aktif fay verileri incelenecektir. Uygulanan fraktal analiz ile fay yapısı incelenip iki fay zonu karşılaştırılırken, benzerlik derecelendirilmesi de yapılabilecektir. Uygulanacak fraktal analiz yöntemlerinden biri olan kutu sayma yöntemi ile fay zonları boyunca elde edilen fraktal boyut (D) değerlerinin göreceli uzaysal yer değişimlerinde birbirlerine yaklaşıma veya uzaklaşma durumlarına göre benzerlikleri gösterilebilir.

İkiz fay sistemleri olarak bilinen fay sistemleri boyunca mevcut ve benzer ölçekte (1:250.000) toplanan en güncel fay verileri analiz edilerek ve fraktal düzensizlikleri benzeyen alanlar bulunacaktır. Fraktal istatistik ölçek aralığının büyüklüğü bir fay sisteminde verilerin istatistiksel açıdan tamamlılığını gösteren bir aralık olduğu için doğrudan iki fay sistemi için güncel verinin tamamlılığıyla ilişkili olabilir. Fraktal analiz ile ilgili olarak uygulanan yöntemde adım sayısını büyütürölçek aralığını genişleten ve geçiş noktalarını (transition point) araştıran çalışmalarda bulunmaktadır (örn., Wilson, 2001). Bu çalışmanın amacı multi-fraktal (çoklu fraktal) analiz yerine mono-fraktal analiz olduğu için önceki çalışmalarda kullanılan adım sayısı ile sınırlanmıştır.

¹ <http://international.usgs.gov/projects/prjturkeyseis.html> 'den alınmıştır.

Her iki bölge için seçilen maksimum inceleme alanı eşit seçilmesine karşın fraktal istatistik yapı genişliğinin fay zonları boyunca değişimleri farklı olabilir. Her bir mikro bölgenin genişliği San Andreas Fayının yaklaşık genişliğine ($R=30$ km) eşit seçilerek küçük sabit alanlar ($A=900$ km²) için incelenmiştir.

Çalışmanın temel hedefinde; birbirinin ikizi olduğu jeolojik verilerle gösterilen Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları ilgili Ketin (1976) ve Allen (1982) çalışmalarından farklı olarak ikiz fay zonlarının fay düzensizliği açısından birbirine benzeyen bölümlerinin araştırılması yer almaktadır. Benzer fay düzensizliğine sahip bölümlerin matematiksel fraktal boyut değişimleriyle ortaya çıkartılması amaçlanmaktadır. Fay zonları boyunca mikro-fay alanlarında yapılacak fraktal analiz ile düzensizliklerin değişimleri incelenecektir. Fay zonları boyunca düzensizliğe göre fraktal mikro bölgeleme yapılacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

Turcotte 'nın (1986) litosferdeki kırılmaları, Aviles ve diğ. (1987) ile Okubo ve Aki' nin (1987) San Andreas Fay sisteminin geometrik özelliklerini ve Hirata'nın (1989a) Japonya'daki fay sistemlerini incelemek amacıyla fraktal analiz yöntemlerini kullanmaları bu konuyla ilgili literatürde yapılan ilk çalışma örneklerindedir.

King (1983), Barton ve Larsen (1985), Matsumoto ve diğ. (1992), Öncel (1996), Öncel ve diğ. 1996, Wilson ve Dominic (1998), Lei ve Kusunose (1999), Nanjo ve Nagahama (2000), Öncel ve diğ. (2001), Wyss ve diğ. (2004), Ram ve Roy (2005), Öztürk (2013) gibi birçok araştırmacı da, kaya-kırık deneyleri, depremsellik, fay sistemleri gibi konularda fraktal boyut kavramını kullanmışlardır.

Richardson (1961) kıyı uzunluğunu ölçmek için kullandığı cetvel yöntemi Mandelbrot (1967) yeniden yorumlayarak Büyük Britanya'nın sahil kıyılarının uzunluğunu ölçmek için kullanmıştır. Ölçüm için kullandığı cetvel boyutunu azalttığında kıyı uzunluğuyla alakalı farklı sonuçlar elde etmiştir. Bu sonucu matematiksel tanımla güçlendirerek güç yasası ile ilişkilendirmiş ve fraktal boyut kavramıyla da açıklamıştır (Mandelbrot, 1967). Mandelbrot;

$$P_i = N_i r_i \quad (2.1)$$

r_i : cetvel uzunluğu, N_i : adım sayısı P_i : kıyı uzunluğu ifade eden (2.1) denkleminde farklı cetvel uzunlukları ile kıyı uzunluğunu ölçmektedir. $N_i = C/(r_i^D)$ denklemi C: oran sabiti, D: fraktal boyut olmak üzere (2.1) de yerine yazılınca;

$$P_i = C r_i^{1-D} \quad (2.2)$$

elde edilen (2.2) denklemini kullanarak kıyı şeridi boyunca fraktal boyut değerini $D \cong 1.25$ olarak elde etmiştir. Mandelbrot tarafından yapılan bu çalışmanın temeli kıyı şeridi uzunluğunun ölçek değişmez oluşuna dayanmaktadır (Turcotte, 1997).

N ; büyüklüğü m 'den büyük olan depremlerin sayısı, a ve b sabitler olmak üzere;

$$\log N = -bm + a \quad (2.3)$$

yukarıdaki gibi tanımlanan Gutenberg-Richter Yasası (1954) deprem oluş sayısı ile deprem büyüklüğü arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Bu ilişki dünya genelinde geçerli olarak kabul edilmiştir. Burada gösterilen b -değeri deprenselliğin bir fraktal ölçüsü olarak kullanılır ve dünya ortalaması da 1.0 olarak bulunmuştur. Bölgesel ölçekte ise 0.5 ve 1.5 değerleri arasında değişmektedir. Fay düzensizliği açısından büyük deprem üretme potansiyeli olan kırılabilir fay alanlarında sismik b -değeri 0.5'e yaklaşır. Büyük deprem üretme özelliği olmayan sünek ve krip özelliği gösteren fraktal fay alanlarında ise b -değeri 1.5 değerine yaklaşmaktadır (Öncel ve diğ. 1996).

Güç yasası dağılımı olarak bilinen Gutenberg- Richter ilişkisi karakteristik uzunluk ölçeğini içermeyen tek dağılımdır. Bu özelliği ile ölçek değişmez yapılarda uygulanabilir hale gelmektedir. Şöyle ki fraktal bir fay bölgesinde farklı deprem ölçeklerinde (örneğin; $2 < M < 4$ veya $4 < M < 6$) bulunan fraktal sismik b -değeri değişmez ve aynı bulunmaktadır. Gutenberg-Richter bağıntısı ampirik olarak geliştirilmiş olsa da, günümüzde deprenselliğin değişik ölçeklerde fraktal davranışlarının araştırılmasında kullanılan bir parametre olarak kabul görmektedir.

Kagan ve Knopoff (1980) yapmış oldukları çalışma ile büyüklüğü 6'dan küçük olan depremlerin zamanla fraktal açıdan kümелendiğini veya farklı deprem kümelerinin fraktal özellik gösterdiğini açıklamışlardır.

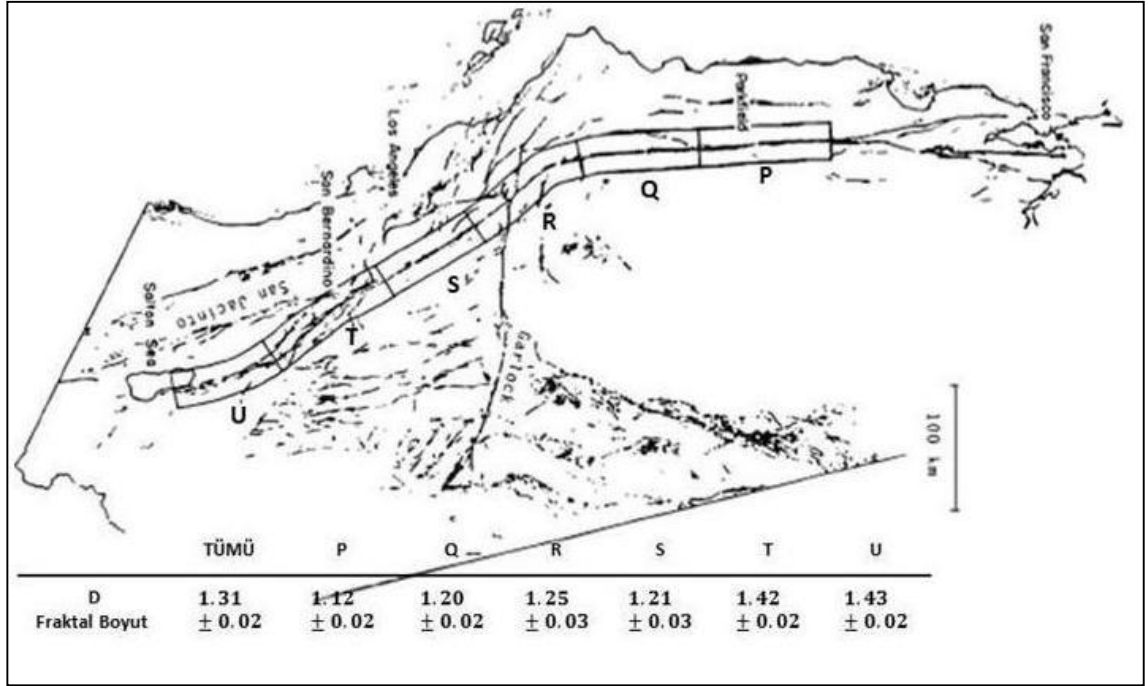
Aki (1981) tüm dünyadaki deprem verilerini kullanarak b -değerinin ölçekten bağımsız olduğunu ve fraktal boyut ile b -değeri arasında yaklaşık olarak $D=2b$ şeklinde pozitif bir ilişkinin bulunduğunu göstermiştir. Bu yaklaşım esas alınarak, sismik b -değerleri San Andreas fayında krip ve asperite segmentleri üzerinde hesaplanarak geçerliliği araştırılmıştır. $D=1,5b$ şeklinde bir geçişin fraktal boyut ve sismik b -değeri arasında olacağı ileri sürülmüştür (Wyss ve diğ. 2004). Benzer pozitif ilişkinin geçerliliği hem Japonya fay zonunda (Hirata, 1989b) ve hem de Kuzey Anadolu fay zonunda (Öncel ve diğ. 1996) araştırılmış fakat negatif bir ilişki bulunmuştur. Bu açıdan deprem kümelerinin fraktal boyutu D ve deprem büyüklük istatistiğinin fraktal boyutu arasında

ilişki olduğunda kesinlik olmasına karşın ilişkinin pozitif veya negatif olması durumlarında ise bir çeşitlilik olduğu görülmektedir.

Fraktal özellik kavramı fay sistemlerinde ilk kez 1987 yılında San Andreas Fayı üzerinde yapılan çalışmalarda kullanılmıştır (Öncel ve Alptekin, 1995). Aviles ve diğ. (1987) ve Okubo ve Aki (1987) tarafından San Andreas Fayı üzerinde yapılan çalışmalarda fraktal kavramı kullanılarak fay sisteminin karmaşıklığının fraktal boyutu hesaplanmıştır.

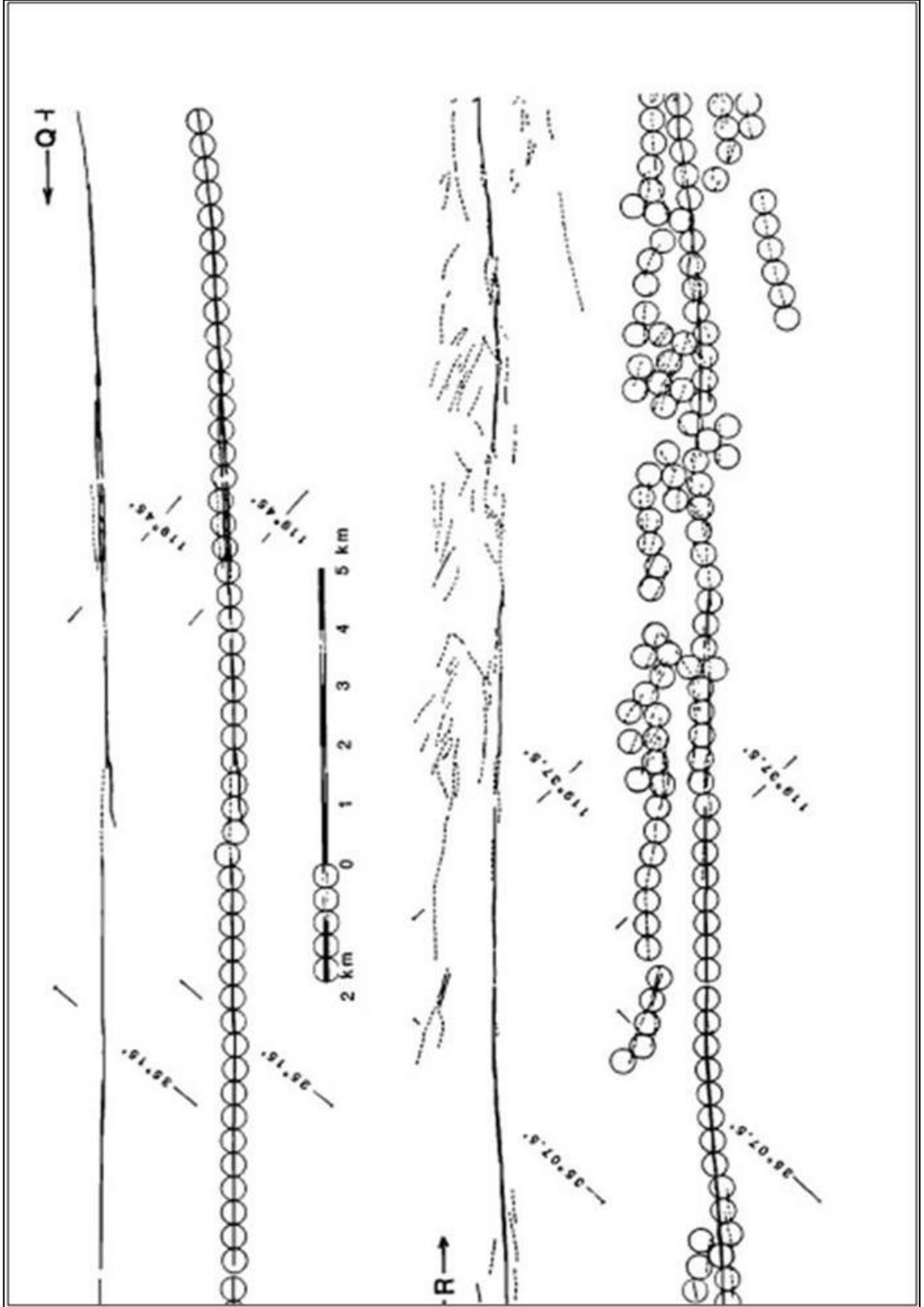
Okubo ve Aki (1987) San Andreas fay sisteminde gerçekleştirilen ilk fraktal analiz çalışmasında Parkfield – Salton Denizi arasındaki bölüme odaklanmışlardır. Parkfield bölgesi Amerika’da beklenen büyük deprem alanı olarak seçilmiş ve çok yoğun deprem istasyonlarının olduğu bir inceleme alanıdır. Çalışma alanı 30 km genişliğinde ve uzunlukları hemen hemen eşit olacak şekilde 6 bölüme (P, Q, R, S, T, U) ayrılarak incelenmiştir (Şekil 2.1). Burada inceleme alan genişliğinin 30 km olarak seçilmesinin bir nedeni San Andreas Fay Zonunun genişliğiyle ilişkili olmasıdır. Fay geometrisi karakterize edilirken Mandelbrot (1982) tarafından geliştirilen, fay uzunluğu ölçümünden fraktal boyut değerlendirmesi yapılmıştır Fay uzunluğu r yarıçapının bir fonksiyonu olacak şekilde fay izini örten minimum sayıda $N(r)$ sabit büyüklüğü olan daireler kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2.2).

Yapmış oldukları çalışmada San Andreas Fay sistemi boyunca genel fraktal boyut değerini 1.31 ± 0.02 olarak hesaplamışlardır. Parkfield ve çevresinin dahil olduğu P bölümünde ise fraktal boyut 1.12 olarak hesaplanmıştır. Q ve R bölümlerinde fraktal boyut değerleri sırasıyla 1.20 ve 1.25 olarak elde edilmiştir. Wrightwood - Salton Denizi bölümünü içeren T ve U bölgeleri için sırasıyla 1.42 ve 1.43 olacak şekilde yüksek fraktal boyut değerleri ile karakterize edilmiştir. En son 1857 meydana gelen büyüklüğü $M_w = 7.9$ olan depremde kırılan fayın güney bölümdeki kilitli (locked) kısım ($D_{\text{küçük}}$) düşük fraktal boyut ile Kaliforniya’nın güneyindeki aktif bölge ise ($D_{\text{büyük}}$) yüksek D değeri ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmanın sonucunda 50 km-15 km aralığında fay geometrisinin kendine benzer olmadığını göstermişlerdir.



Şekil 2.1: San Andreas fayında yapılan ilk fraktal analiz çalışmasından örnek (Orijinal ölçek 1:750.000, Kuvaterner ve genç faylar şekilde yer almaktadır. Salton Denizi ve Parkfield bölgesi 6 bölüme (30 km genişliğinde) ayrılarak incelenmiştir. Fay zonunun tümü ve her bölümü için hesaplanan fraktal boyut değerleri gösterilmektedir (Okubo ve Aki, 1987'den değiştirilerek alınmıştır).

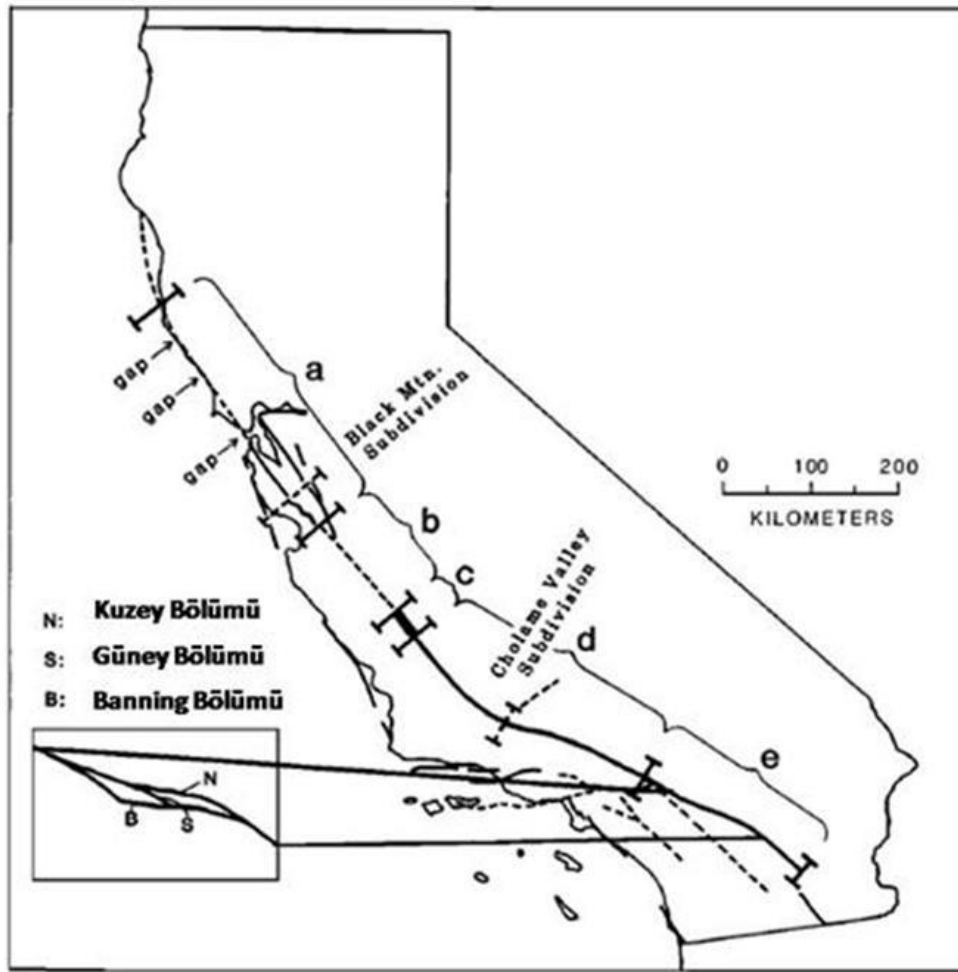
Aviles ve diğ. (1987) yapmış oldukları çalışmada San Andreas fayı boyunca karakteristik segmentlerdeki fayın düzensizliğini fraktal geometri yardımıyla açıklamışlardır. Okubo ve Aki (1987) çalışmasından farklı olarak; fay zonu birçok alt faya ayrılmasına rağmen sadece ana fay izini karakterize etmişlerdir. Ana fay çizgisi incelenerek segmentlerdeki sismik davranışa göre altı bölüme ayrılmış ve fraktal boyut ile açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan San Andreas Fayı boyunca karakteristik davranışlarına göre ayrılan beş ana bölüm kalın çizgilerle ve 1857, 1906 kırıklarının olduğu alt bölümler kesikli çizgilerle Şekil 2.3'te gösterilmektedir Bölgenin fraktal boyut değerlendirmesini fay uzunluğu ölçümünden -Mandelbrot' un İngiltere kıyı şeridinin uzunluğunu ölçerken kullandığı azalan cetvel boyutu yöntemi-yararlanarak yapmışlardır. Cetvel yöntemiyle fayın uzunluğu ölçümünden fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır. D fraktal boyutu fay sisteminde farklı segmentlerde 1.008-1.0199 aralığında elde edilmiş ve % 95 güven aralığında 1.0'e kadar değiştiği ileri sürülmüştür (Şekil 2.4).



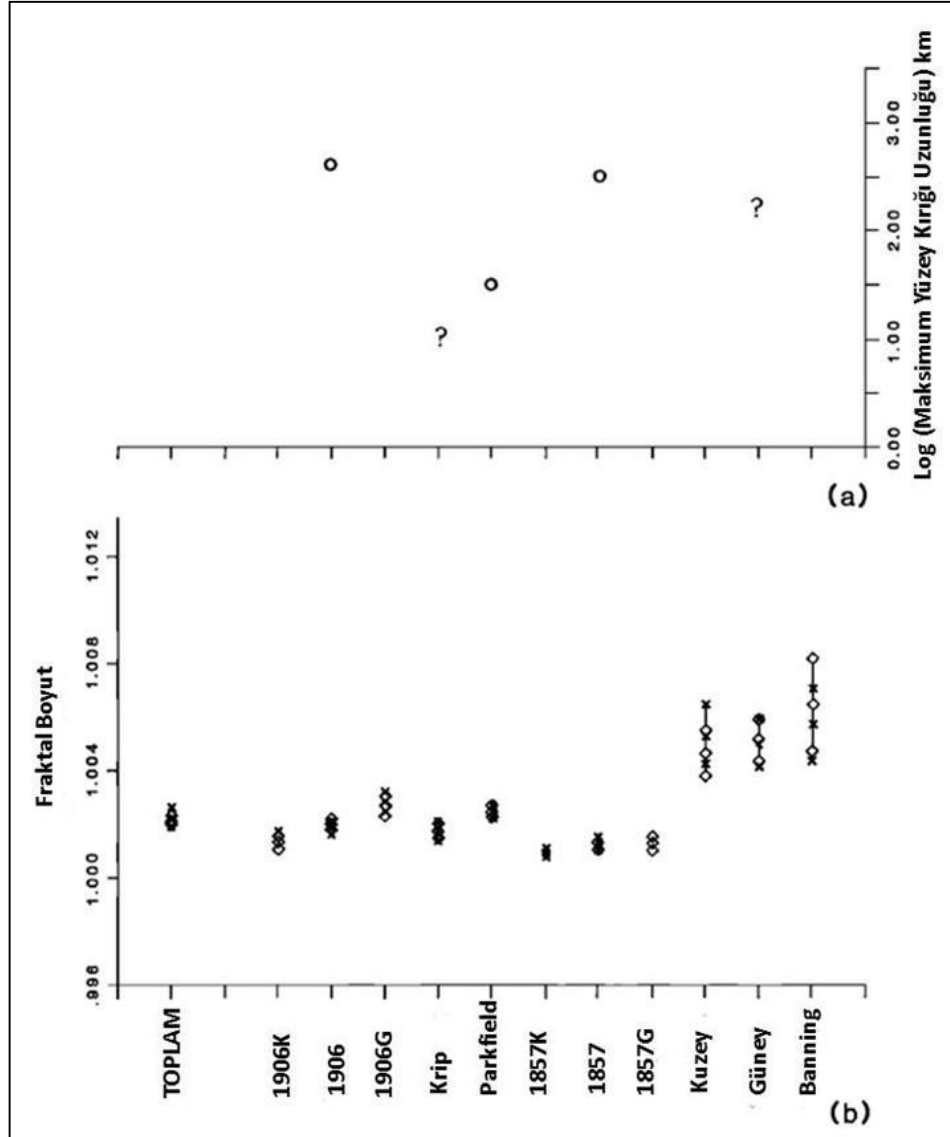
Şekil 2.2: San Andreas Fay Zonunda yapılan ilk fraktal analiz çalışması örneği. Q ve R bölümleri boyunca fay uzunluğunu örten minimum sayıda daireler gösterilmektedir (1/24:000). Q bölümü $r < 400\text{m}$ için $D=1.2$, $r > 400\text{m}$ için $D=1$ olarak hesaplanmıştır. R bölümü $r \cong 1\text{ km}$ için D değerleri 1.2 - 1.0 arasında değişmektedir (Okubo ve Aki, 1987).

Bu küçük değişikliklerin veya çizginin topolojik boyutu olan 1'den farklı olmasını ana fay boyunca pürüzlülük ile alakalı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca D'deki önemli değişiklerin segmentlerdeki doğrultu boyunca fayların pürüzlülüğündeki heterojenliği ile ilişkilendirmişlerdir.

San Andreas Fay sisteminde yapmış oldukları diğer fraktal analiz çalışması ile Aviles ve diğ. (1987) fay segmentlerinin sismik davranışı ve fraktal boyut arasında korelasyon bulmadıklarını açıklamışlardır. Ayrıca ana fayın fraktal boyutu ile paralel alt fayların uzunluğu arasında zayıf korelasyon bulduklarını söylemişlerdir.



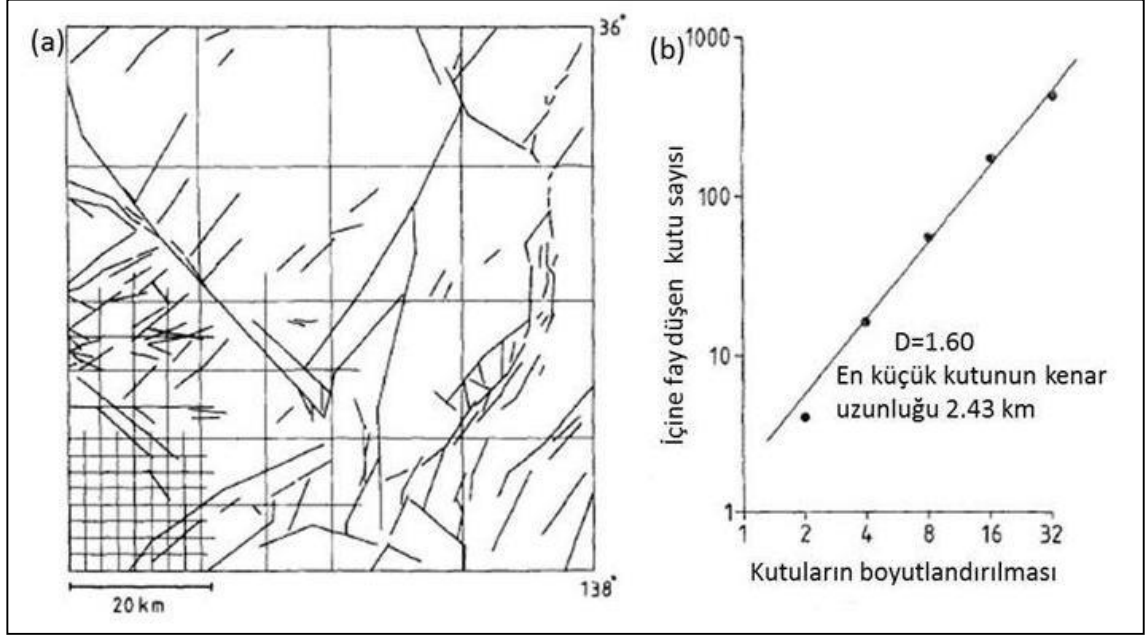
Şekil 2.3: San Andreas Fayı'nın sismik davranış karakteristiğine göre beş ana bölüme (kalın çizgiler) ayrılarak fay zonu boyunca düzensizliğindeki değişim fraktal boyut geometrisi yardımıyla incelenmiştir. 1906 ve 1857 kırıkları kesikli çizgilerle gösterilmektedir (Aviles ve diğ. 1987).



Şekil 2.4: (a) San Andreas Fay Zonunun kuzey ve güney bölümleri, büyük depremler (1906 ve 1857) ve krip bölgesi için maksimum yüzey kırığı uzunluğu gösterilmektedir. Soru işareti krip ve güney bölümleri için yüzey kırığının belirsizliğini göstermektedir. (b) Çalışma kapsamında SAF'da incelenen tüm alanlar için fraktal boyut değerlerini göstermektedir. 1906K, 1857K: 1906 ve 1857 kırıklarının kuzeyini, 1906G, 1857G: 1906 ve 1857 kırıklarının güneyini temsil etmektedir (Aviles ve diğ. 1987'den alınmıştır).

Hirata (1989a) Japonya boyunca aktif fay sistemlerinin fraktal boyutunun uzaysal dağılımını detaylı şekilde analizini yapan ilk kişidir (Wilson, 2001). Hirata, Japonya'nın fay sisteminin fraktal boyutunu kutu sayma yöntemini kullanarak incelemiştir. Çalışmada kapsamında kullanılan aktif fay verisi 1:40.000 ölçekli Japonya Aktif Fayları Araştırma Grubu (1980) tarafından yayımlanan Japonya'nın Aktif fayları haritalarıdır. Japonya'nın geneli için fraktal boyutun 1.05-1.60 arasında değiştiğini bulmuştur (Şekil 2.5). Japon yayının merkezinde fraktal boyut yaklaşık olarak 1.50-1.60 aralığında

hesaplanmış ve merkezden uzaklaştıkça da azaldığı belirtilmiştir. Araştırmanın sonucunda elde edilen fraktal boyutun dallanma geometrisinin fraktal boyutu olduğu söylenmiştir.



Şekil 2.5: Kutu sayma yönteminin uygulanmasıyla Japonya'daki aktif fay verilerinin fraktal analizi. (a) Japonya'nın Lida bölgesini göstermektedir. (b) Kutular 2^n $n=1, \dots, 5$ olacak şekilde küçültülmüş, dolu olan kutular sayılıp kartezyen koordinatlarda işaretlenerek fraktal boyut değeri hesaplanmıştır (Hirata, 1989a).

Huang ve Turcotte (1990) yapmış oldukları çalışma sonucunda kabukta meydana gelen deformasyon ile fayların yer değiştirmesi arasındaki ilişkinin kaotik olduğunu elde etmişlerdir. Buldukları sonuçların fraktal analiz istatistiği ile tutarlı olduklarını ileri sürmüşlerdir.

Turcotte (1989, 1997) Gutenberg-Richter yasasının b-değeri ile fraktal arasındaki ilişkiyi kullanarak sismik tehlike modelini oluşturmuştur. Ayrıca depremlerin ve fayların dağılımı, kabukta oluşan deformasyonun ölçekten bağımsız olup, fraktal özellik gösterdiğini açıklamıştır (Turcotte, 1997).

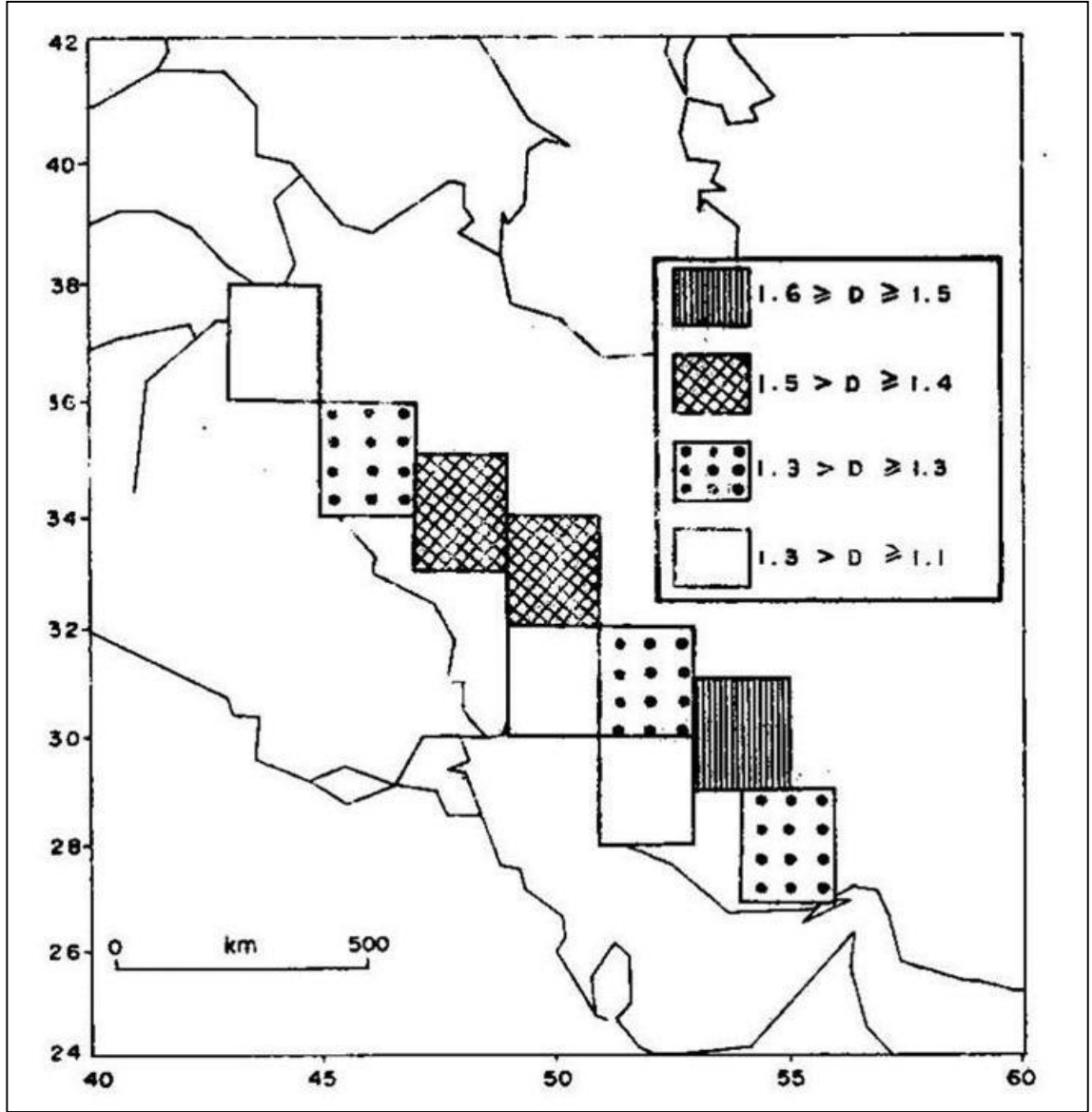
Matsumoto ve diğ. (1992) Japonya ve Filipinler'deki aktif fay sistemlerinin fraktal boyutunu hesaplamak için Okubo ve Aki (1987) San Andreas Fayı üzerindeki çalışmalarında kullandıkları aktif fay izlerini örten minimum daire sayısı ve dairenin yarıçapı arasındaki ilişkiye dayanan yöntemi kullanmışlardır. Çalışma alanı olarak; Japonya için Median Tektonik Hattı, Izu ve Uden adaları, Filipinler için 16 Temmuz

1990 tarihinde meydana gelen depremin fay sistemini kullanmışlardır. Japonya'daki aktif fay sistemleri için Median Tektonik hattı 30 km genişlik ile 5 bölgeye ayrılmış, buna ek olarak 2 bölge (Izu ve Uden Adaları) daha çalışmaya dahil edilmiştir. Fraktal analiz neticesinde Median Tektonik hattı boyunca D değerinin 1.0 – 1.3 arasında değiştiğini, $D=1.4$ en büyük fraktal boyutun Unzen bölgesinde gözlendiğini hesaplamışlardır. Fraktal boyutun en büyük değer aldığı bölgeyi fay sisteminin karmaşıklığı ile ilişkilendirmişlerdir. Filipinlerde depremin meydana geldiği fay sisteminde $D < 1$ olarak bulunmasının fay sisteminin 1 boyutlu yani çizgi şeklinde olmasıyla ilişkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Lei ve diğ. (1993) Çin ve etrafındaki deprem episantrlarının uzaysal dağılımının birkaç km'den birkaç bin km'ye değişen ölçeklerde değişmez bir fraktal olmadığını ileri sürmüştür. Deprem episantrlarının uzaysal dağılımlarının homojen fraktal olmadığını, belirli kısımlarda güç yasası iyi oluşturulduğundan "band-limited" fraktal olduklarını açıklamışlardır.

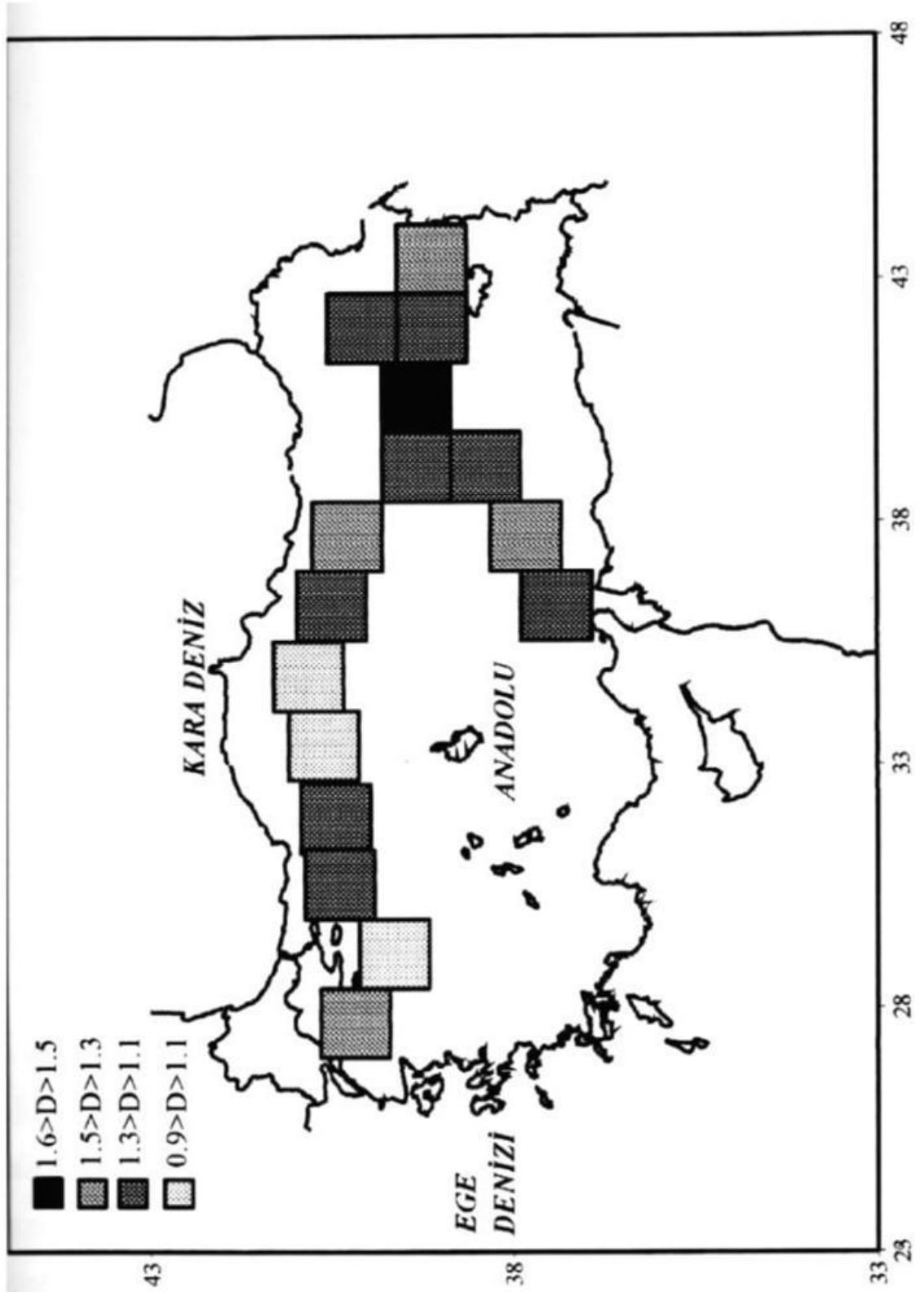
Öncel ve diğ. (1995) Zagros bindirme kuşağında yaptıkları fraktal analiz çalışmasında kutu sayma yöntemini kullanmışlardır. İlk kutunun boyutu 222 km belirlenerek inceleme alanı 9 bölüme ayırmışlardır Fay sisteminin ve bölgenin depremselliğini 1:2.500.000 ölçekli İran sismotektonik haritasını kullanarak açıklamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda bindirme zonu boyunca belirlenen 9 bölgedeki D fraktal boyut değerinin 1.1 ile 1.6 değerleri arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Fraktal boyut sonuçlarını da fay sisteminin düzensizliği ve heterojenitesi ile ilişkilendirmişlerdir (Şekil 2.6).

Öncel (1996) fraktal analiz yöntemiyle Türkiye' deki doğrultu atımlı fay sistemlerinin yapısal ve sismolojik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmasında fay ve deprem verilerini kullanarak doğrultu atımlı fay sistemlerinde depremselliğin fraktal özelliklerinin zamana ve uzaya bağlı olarak değişimlerini incelemiştir. Analiz sonucunda Kuzey Anadolu Fay Zonunda 0.93 - 1.53 arasında değişen fraktal boyut değerleri elde edilmiştir (Şekil 2.7). En büyük fraktal boyut değeri Karlıova ve çevresini kapsayan bölümde yani üçlü eklemin var olduğu alanda gözlenmiştir (Öncel, 1996).



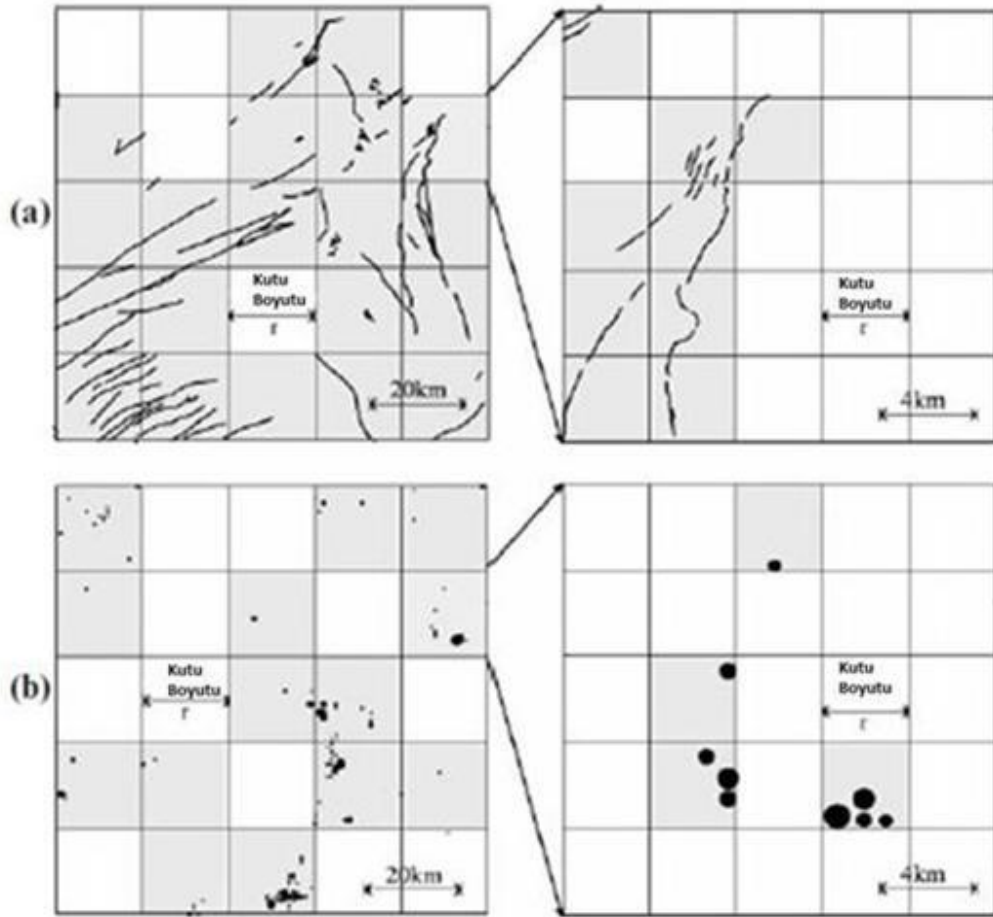
Şekil 2.6: Zagros Bindirme zonu boyunca hesaplanan fraktal boyut parametresinin bölgesel değişimleri gösterilmektedir. 44°E- 56°E'lik alan birbirine eşit dokuz bölüme ayrılmış ve her bir bölüm için fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır (Öncel ve diğ. 1995).

Öncel ve diğ. (1996) Anadolu fay zonlarının deprenselliğinin fraktal özelliklerinin uzaysal değişimi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Fay zonu boyunca deprenselliğin uzaysal değişimini belirleyebilmek için maksimum olasılık yöntemiyle Gutenberg- Richter b-değerini, korelasyon integrali yöntemini kullanılarak fraktal boyut değerini hesaplamışlardır. Çalışmanın neticesinde sismik b-değeri ile episantr fraktal boyutu arasında negatif korelasyon gözlemlediklerini açıklamışlardır.



Şekil 2.7: Türkiye'deki doğrultu atımlı fay sistemleri boyunca kutu sayma yöntemi kullanılarak elde edilen fraktal boyut değerlerinin harita üzerinde gösterilmesi (Öncel, 1996).

Lei ve Kusunose (1999) fraktal analiz yöntemlerinden biri olan kutu sayma yöntemini kullanarak Japonya’da üç jeolojik sistem olan depremin episantrı, aktif faylar ve nehirlerin uzaysal dağılımlarının fraktal yapısını incelemişlerdir (Şekil 2.8). Fraktal analiz için jeolojik bilgi sistemi (GIS- Geological Information System) yazılım paketi olan GeoMapZ (Lei ve diğ. 1999) programını kullanılmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda 1-100 km ölçek aralığında jeolojik sistemlerin yaklaşık olarak 13 km’de karakteristik bir ölçeğe sahip olduğunu bulmuşlardır. Fraktal boyut değerlerini 0.9 – 1.5 aralığında hesaplamışlardır. Ayrıca bulunan karakteristik ölçeğin kabuğun kırılğan-sünek geçiş bölgesinin derinliği ile uyumlu olduğunu öne sürmüşlerdir.



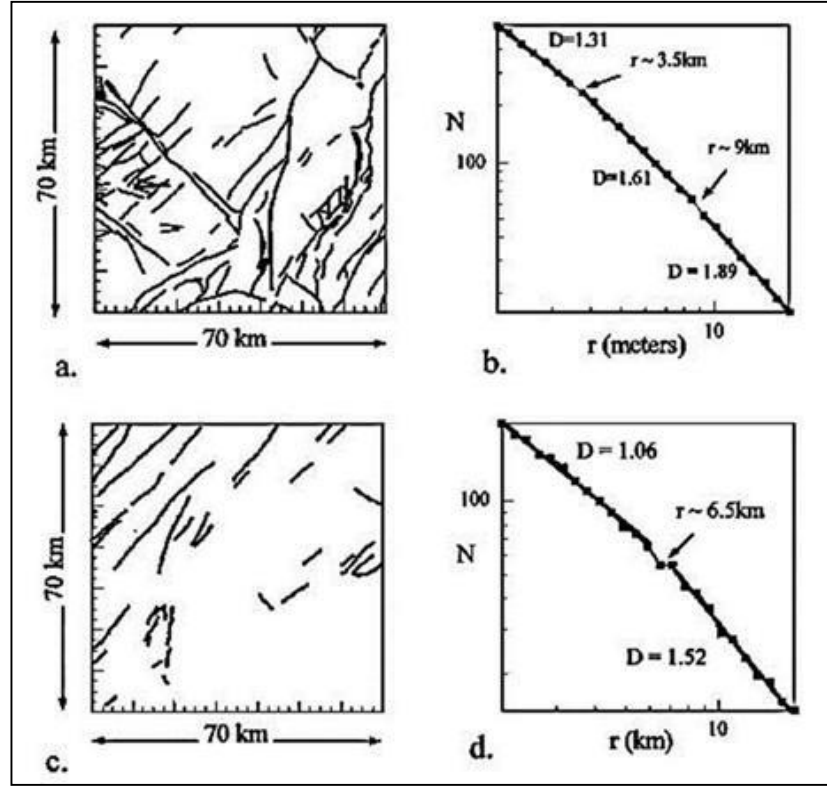
Şekil 2.8: Japonya’da (a) aktif fay verilerine (b) deprem episantrlarına uygulanan kutu sayma yönteminin şematik gösterimi. Kutu sayma yönteminde uygulanan her adımda kutu kenar uzunluğu azalmaktadır (Lei ve Kusunose, 1999).

Nanjo ve Nagahama (2000) kutu sayma yöntemini kullanarak Japonya'daki artçı şokların uzaysal dağılımı ile kırık sisteminin fraktal boyutları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Aktif fay sistemlerinin fraktal boyutu 0.86 - 1.48 aralığında hesaplanmıştır. Ayrıca aktif fay sisteminin fraktal yapısı ile artçı şok dağılımı kümelenmesinin ilişkili olabileceğini açıklamışlardır.

Öncel ve diğ. (2001) Japonya'nın aktif fay sisteminin fraktal özelliklerinin Gutenberg-Richter b-değeri ile ilişkisini araştırmışlardır. Aktif fay sisteminin fraktal boyutu için kutu sayma yöntemini kullanmışlardır (Şekil 2.9). Çalışmada Japonya Jeoloji Servisi tarafından güncellenen 1:200.000 ölçekli aktif fay verisi sayısallaştırılarak kullanılmıştır. Aktif faylanma ile depremsellik (sismisite) arasındaki korelasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Aktif fay ağının fraktal boyutu kutu sayma yöntemi kullanılarak hesaplanırken, sismik b-değeri için maksimum olasılık yöntemi kullanılmıştır. Japonya'nın merkezinde faylanmanın yoğun olduğu bölgede fay dağılımlarının D fraktal boyutu ile deprem dağılımlarının sismik b-değeri arasında negatif korelasyon gözlemlediklerini açıklamışlardır.

Wilson (2001) Hirata (1989a) tarafından Japonya boyunca analizi yapılan aktif fay haritalarının revize sürümünü sayısallaştırarak aktif fay sisteminin analizini kutu sayma yöntemini kullanarak yapmıştır. Yöntemi uygularken iterasyon (adım) sayısını yüksek tutarak ve daha küçük kenar uzunluklu kutulara taşıyarak detaylandırmıştır. Çalışma kapsamında yapılan kutu sayma hesaplamalarında ölçekte ~8 km'lik ani bir geçiş (abrupt transition) olduğu gözlenmiştir.

Bhattacharya ve diğ. (2002) Kuzey Doğu Hindistan bölgesi için depremselliğin istatistiksel karakterleri olan deprem uzaysal dağılımlarının b-değeri ve fraktal boyut değerlerinin kontur haritalarını hazırlamışlardır. Fraktal boyut hesaplamasında korelasyon integrali yöntemini, b-değeri hesaplamasında ise maksimum olasılık yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda kabuğun heterojen yapıda ve gerilmenin yoğun olarak biriktiği bölgelerde yüksek fraktal boyut değerleri elde etmişlerdir.



Şekil 2.9: (a) Japonya'nın merkezi Lida bölgesindeki aktif faylar. (b) Lida 'daki aktif fay sistemi için Log N/Log r grafiği. (c) Japonya'nın güneybatısı olan Hiroşima bölgesindeki aktif faylar. (d) Hiroşima bölgesindeki aktif fay verileri için kutu eğrisi (Öncel ve diğ. 2001).

Wyss ve diğ. (2004) San Andreas Fay Zonunda Parkfield yakınında asismik (creeping) ve kilitli (locked) bölgeler için D fraktal boyut ve b-değerini hesaplamışlardır. Çalışma alanındaki kilitli ve asismik bölgelerde b ve D değerleri birbirinden farklı olarak bulunmuştur. Kilitli kısım için fraktal boyut değeri $0.96 < D < 1.14$ olarak bulunurken, asismik segment için $1.45 < D < 1.72$ aralığında elde edilmiştir. Asperite bölgesinde ise D fraktal boyut 1'e yakın değerde bulunmuştur. Bu sonuçlara göre asismik (sünek) bölgede kilitli kısma oranla depremlerin büyüklük-frekans bağıntısından elde edilen istatistiksel b-değeri ve deprem episantr dağılımlarının fraktal boyut değeri önemli ölçüde yüksektir. Asperiteli bölge için $D \cong 2b$ ilişkisini bulurken, bariyerli kısım için $D \cong b$ ilişkisini bulmuşlardır. Dolayısıyla iki kısım içinde $D \cong 1.5b$ ilişkisi elde edilmiştir. Ayrıca b-değeri ile D fraktal boyutun arasında pozitif korelasyon bulunduğu açıklanmıştır.

Ram ve Roy (2005) çalışmasında 2001 Bhuj depremi için fraktal analiz yöntemlerinden kutu sayma yöntemini kullanarak bölgenin sismik aktivitesini düzenleyen tektoniği araştırmışlardır. Çalışma alanı olan Hindistan'ın Gujarat bölgesi 5'e ayrılarak ve her

bölge için kutu sayma yöntemi kullanılarak fraktal boyut hesaplanmıştır. Meydana gelen depremlerin nedeni olarak asperite ve bariyer alanların olabileceği söylenmiştir.

Jaya ve diğ. (2014) Hindistan bölgesinde aktif fayların fraktal boyutu ile depremsellik arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için fraktal boyut değerlerini hesaplamışlardır. Çalışma da kutu sayma yöntemi kullanılarak $1^0 \times 1^0$ boyutlardaki kare gridler için Hindistan kıtasının fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır. İnceledikleri bölgenin çoğunda fraktal boyut değişiminde büyüklük değerleri 1 – 1.25 aralığında elde edilmiştir. Ayrıca bölgenin sismik tehlikesini değerlendirmek için fraktal boyutu bir parametre olarak kullanmışlardır.

Fraktal analiz yöntemi kullanılan tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında, literatürde yer alan aktif fay sistemleri boyunca fraktal analiz yöntemleriyle yapılan çalışma örneklerinden bazıları Tablo 2.1’de gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Fay sistemlerinde fraktal analiz yöntemleriyle yapılan örnek global çalışmalar.

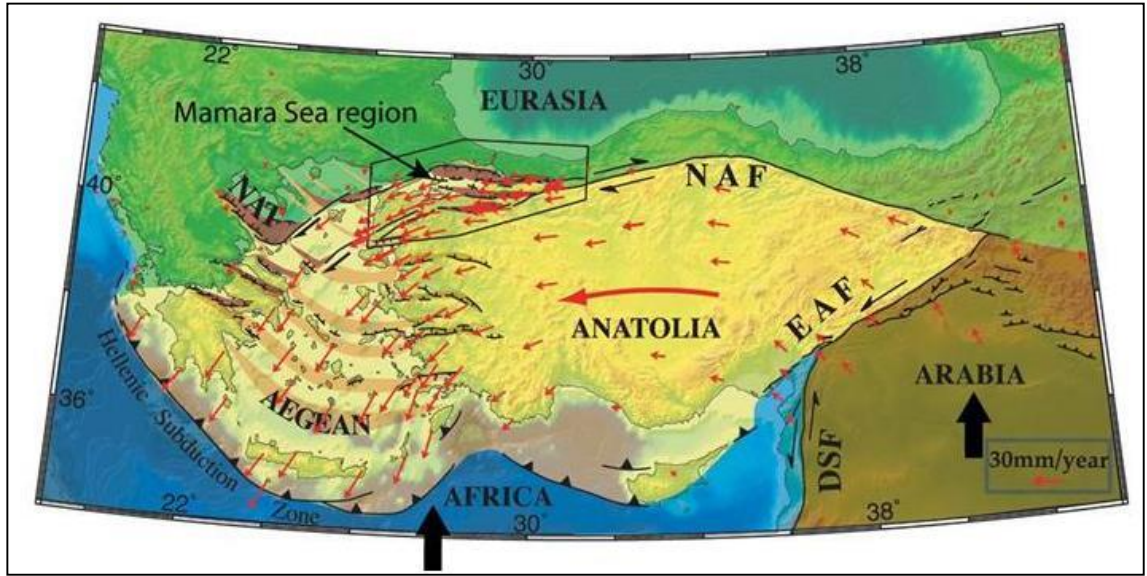
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	Fraktal Boyut	Bölge	Fay Verisi ÖLÇEĞİ
Aviles ve diğ. 1987	$1.3 < D < 1.5$	San Andreas Fayı	1:750.000
Okubo ve Aki, 1987	$1.12 < D < 1.43$	San Andreas Fayı	1: 750.000
Hirata, 1989a	$1.05 < D < 1.60$	Japonya Fay Sistemleri	1:40.000
Lei ve Kusunose, 1993	$0.9 < D < 1.5$	Japonya	1:200.000
Matsumoto ve diğ. 1992	$1 < D < 1.3$ $D < 1.0$	Japonya Filipinler	1:200.000
Öncel ve diğ. 1995	$1.1 < D < 1.6$	Zagros Bindirme Kuşağı	1:2.500.000
Öncel,1996	$1.05 < D < 1.53$	Kuzey Anadolu Fay Sistemi	1:1.000.000

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KUZEY ANADOLU FAY ZONU

Türkiye'nin en önemli kırık zonunu oluşturan Kuzey Anadolu Fay Zonu, Alpin Deprem Kuşağında yer alır ve doğuda Karlıova'dan başlayarak Adapazarı'nın batısına kadar devam etmektedir (Öncel, 1996). Kuzey Anadolu Fayı tek bir kayma düzlemi olmayıp, genişliği 500 – 1000 m arasında değişen, birçok fay parçalarından ve kırıklarından meydana gelen bir fay zonu şeklindedir (Ketin, 1969).

Arabistan ile Anadolu Plakalarının çarpışmaya başlaması ve günümüze kadar devam etmesi sonucu Kuzey Anadolu Fay Zonu Türkiye'nin kuzeyinde oluşmuştur (Şekil 3.1).

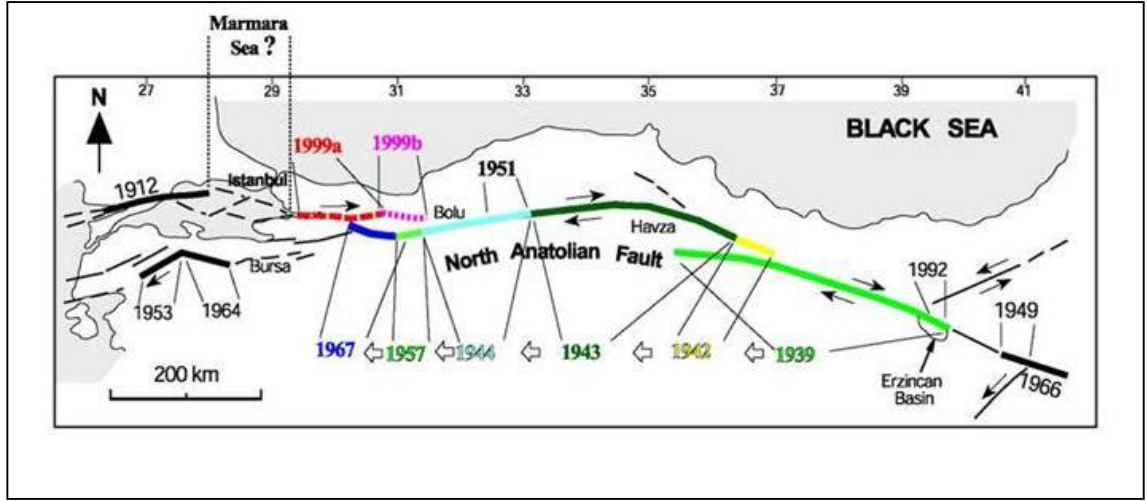


Şekil 3.1: Kuzey Anadolu Fay Zonu Erzincan-İzmit arasında daha basit, çizgisel ve İzmit'ten başlayarak Marmara denizi içinden Ege denize doğru daha karmaşık fay geometrisi göstermektedir (Armijo ve diğ. 2005).

Ketin (1948) Kuzey Anadolu Fay Zonu'yla alakalı olarak Anadolu bloğunun kuzey sınırı olduğunu ve batıya doğru göç ettiğine inanan ilk bilim insanıdır. Kuzey Anadolu Fayı sisteminin doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay zonu olduğu, 1939 yılında meydana gelen tarihte büyük Erzincan depremi olarak adlandırılan ve onu 1942, 1943 ve 1944 tarihlerinde izleyen depremler dizisinden sonra anlaşılmıştır (Ketin, 1948).

Kuzey Anadolu Fayının, bazı bölümlerinde deformasyon alanının incelendiği tek bir çizgi şeklinde tek fay hattı (single fault line), dallandığı ve tali fayların etkisiyle deformasyon alanının bazı yerlerde 4-5 km'den 20-25 km genişliğe varan bir zon halinde çoklu fay hattı (multiple-fault lines) olarak değiştiği inceleme alanlarından görünmektedir.

Fay zonunun uzunluğu 1939, 1942, 1943 ve 1944 tarihlerinde meydana gelen depremlerden sonra hesaplanmıştır (Şekil 3.2). Fay zonu doğuda Karlıova'dan başlayarak batıda Marmara Denizinden geçerek Yunanistan'a kadar devam eder ve yaklaşık olarak 1500 km uzunluğundadır. Karlıova-Mudurnu Vadisi arasındaki bölümde fay tek bir doğru (çizgi) şeklinde devam ederken, Marmara ve Kuzey Ege denizinde üç ayrı kola ayrılarak daha karmaşık bir fay görüntüsü çizmektedir (Barka,1992).



Şekil 3.2: Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelen büyük depremlerin gösterilmesi. 1999 ve 1912 deprem kırıkları arasında Marmara denizi içinde kırılması beklenen deprem boşluğu gösterilmektedir (Barka ve diğ. 2002).

1939-1967 yılları arasında fay zonu boyunca farklı büyüklüklerde sismik aktiviteler meydana gelmiştir. Oluşan bu aktivitelerden 6 tanesinin batıya doğru göç etmesi sonucu Erzincan-Mudurnu bölgesi arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sürekli (kesintisiz) gösteren 900 km'lik bir yüzey kırığı oluşmuştur. Kırık boyu 17 Ağustos 1999 İzmit depremiyle Marmara denizi içine doğru uzanmıştır.

Kuzey Anadolu Fay Zonunun yaşı, kayma hızı ve toplam atım miktarı ile alakalı olarak pek çok araştırmacı tarafından yürütülmüş çalışmalar mevcuttur (örn.,Tokay, 1973; Şengör, 1979; Şaroğlu, 1988; Barka, 1992; Demirtaş 2000). Kuzey Anadolu Fayı'nın

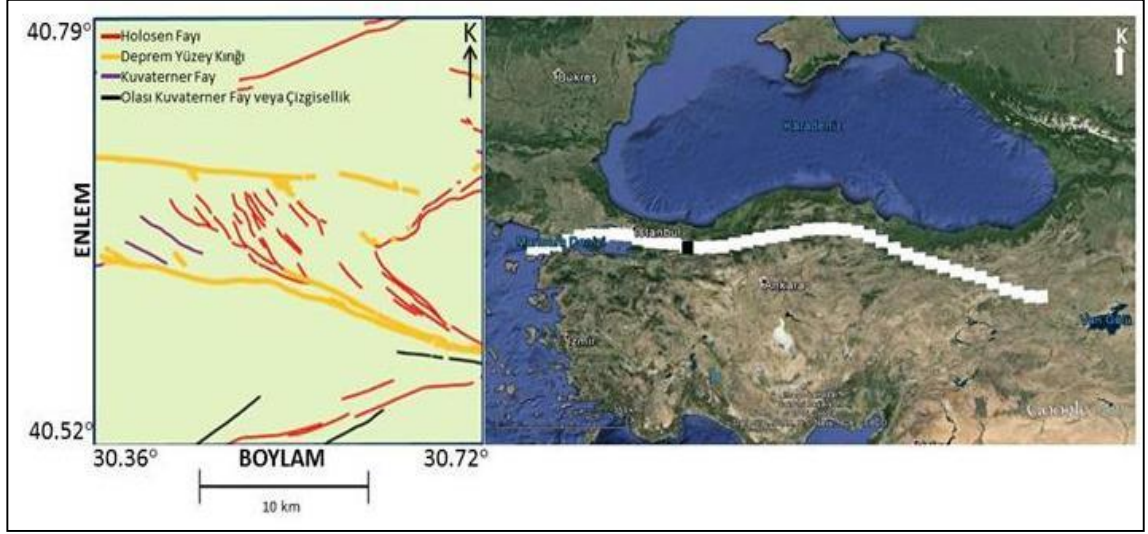
yaşı konusunda yapılan değişik araştırmalara göre; Kretase'den (142 myö – 65.5 myö) Geç Pliyosen'e (5.32 myö – 1.81 myö) kadar değişmektedir (Demirtaş, 2000).

Fay zonunun topoğrafik görünümü oldukça nettir. Fay zonundaki ana faylanmanın olduğu bölümler uzun fay kırıklarından oluşmaktadır. Marmara bölgesinde ise görünen fay kırıkları daha kısa, süreksiz ve paralel şeklindedir.

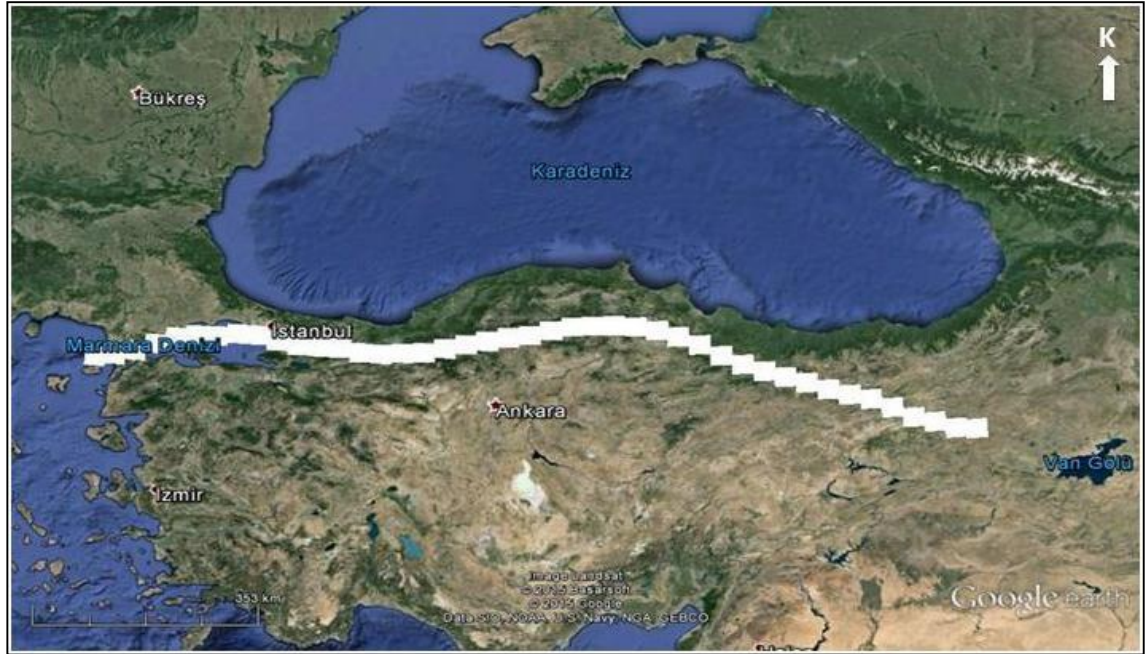
Kuzey Anadolu Fay Zonunda krip (asismik) olayı Çankırı bölgesinde İsmetpaşa'da gözlenmiştir. Dünyada krip olayının gözlendiği iki faydan birisi Kuzey Anadolu Fayı, diğeri ise Kaliforniya'da bulunan San Andreas Fayıdır (Öncel, 1996). Krip, bir fay zonu boyunca deformasyonun veya tektonik gerilmenin asismik olarak ortaya çıkmasıdır. Krip zonları büyük depremlerin beklenmediği alanlar olduğu için belirlenmesi deprem risk senaryoları açısından önemlidir (örn., Wyss ve diğ. 2004; Özener ve diğ. 2010).

Tez çalışması kapsamında KAFZ aktif fay verilerinin fraktal analizi için Maden ve Tetkik Arama Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan 1:250.000 ölçekli yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası serisinde yer alan diri fay verileri esas alınmıştır. Fraktal boyut değerlerinin hesaplanmasında görüntü analizi kullanılacağından bu ölçekteki harita üzerindeki detaylı fay görüntüsü Türkiye diri fay veri tabanında belirlenerek inceleme alanları seçilmiştir. Buna göre yer bilimleri harita görüntüleyicisi ve çizim editöründe yer alan deprem yüzey kırığı (son 100 yılda meydana gelen büyük depremlerle oluşan yüzey kırığı verileri) ve holosen fay verileri (son 11.000 yıllık dönemde yüzey kırılmasıyla harekete geçmiş fay) kullanılmıştır (Şekil 3.3).

Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca incelenen 43 kutusal alanın Google Earth görüntüsü Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Çalışma alanı; batıda Marmara Denizi'nden başlayarak doğuda Karlıova'ya kadar olan bölümü kapsamaktadır. Her bir inceleme alanının uzunluğu 30 km olan ve birbirinden bağımsız kutulardan oluştuğu göz önüne alınırsa, fay zonu boyunca incelenen; fayın toplam uzunluğunun 1290 km (43x30 km) alanının ise toplam 38,700 km² olduğu ortaya çıkmaktadır.



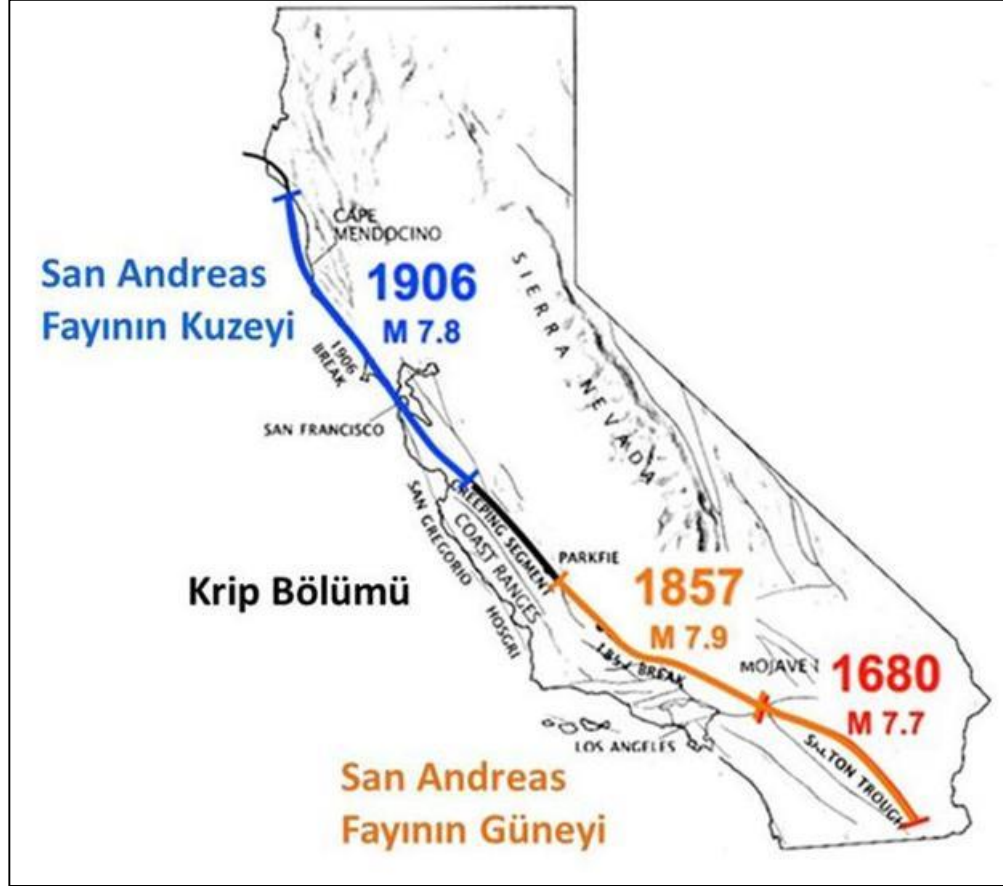
Şekil 3.3: Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca fraktal analiz uygulanan sabit büyüklüklü kutusal geometrili fay alanları ve örnek bir kutusal fay alanının gösterilmesi (Adapazarı).



Şekil 3.4: Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca fraktal analizi yapılan sabit büyüklüklü kutusal fay alanlarının Google Earth görüntüsü şeklinde gösterilmesi. Kutusal fay alanlarının pozisyonları ana deprem fayı merkeze alınarak birbirinin devamı olacak şekilde seçilmiştir.

3.2. SAN ANDREAS FAY ZONU

San Andreas Fayı KB-GD doğrultusunda Kuzey Amerika Pasifik Okyanusu kıyısına paralel olacak şekilde uzanarak pasifik kıyı dağlarını boydan boya kesen kırık sistemi olup, doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay zonudur (Ketin, 1976). Küresel plaka tektoniği içeriğine göre Pasifik ve Kuzey Amerika plakaları arasında kalan tüm Batı Kaliforniya San Andreas Fay Zonu olarak kabul edilebilmektedir (Şekil 3.5).



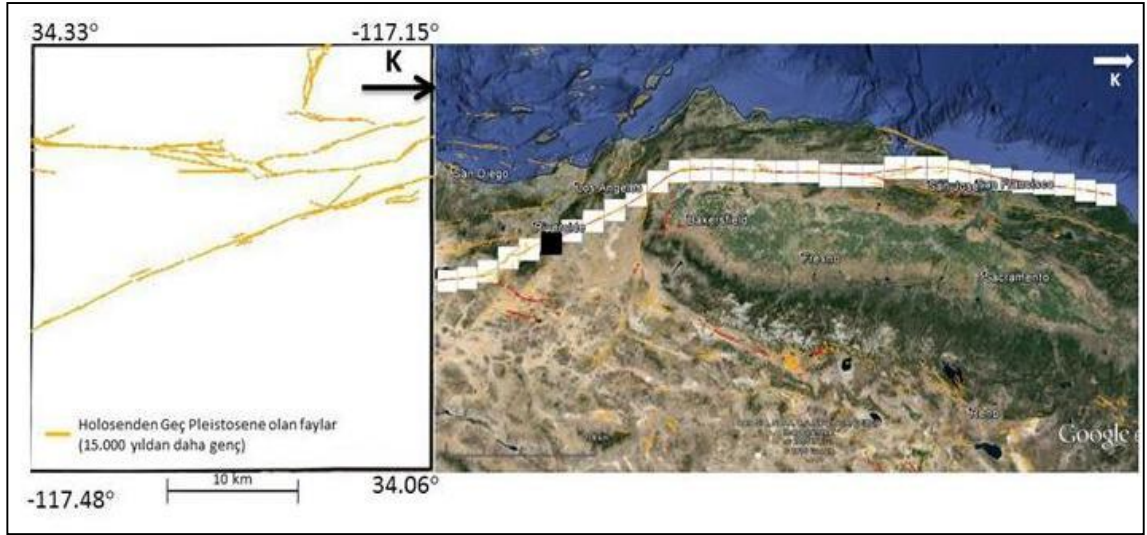
Şekil 3.5: San Andreas Fay Zonu boyunca meydana gelen üç büyük deprem ve yüzey kırık uzunlukları gösterilmektedir. Fay zonu boyunca asperite fay alanları (1906 ve 1857) arasında 150 km uzunluğunda krip fay alanı bulunmaktadır.

San Andreas Fayını 1895 yılında Berkeley Üniversitesi Profesörü Andrew Lawson (1895) keşfetmiştir. Fay hattına San Fransisko yarımadasında yer alan San Andreas gölünün yakın çevresinde bulunmasından dolayı bu ismi vermiştir. Ancak, 18 Nisan 1906 tarihinde meydana gelen San Fransisko depreminden sonra San Andreas Fayı dünyaca tanınmıştır (Ketin, 1976). O tarihten günümüze kadar fay zonu yerbilimciler tarafından incelenmeye devam etmektedir.

San Andreas Fayı, tek bir kırık çizgisi şeklinde olmayıp birbirine paralel olarak sıralanmış birçok fay parçalarından, kollarından oluşmuş bir fay sistemidir (Ketin, 1976). San Andreas Fayının ana izinde ölçekte derinine odaklandığında yoğun kırılma ve hasar görmüş kayalarla sınırlandığı görülmektedir (Ben-Zion ve Sammis; 2003).

Allen (1968) çalışması yeniden yorumlanırsa San Andreas Fayındaki iki segment (1857 ve 1906 depremleri ile kırılan) sismik açıdan suskundur ve büyük depremlerin meydana gelmesinden bu zamana kadar kilitli oldukları kabul edilmiştir (Okubo ve Aki, 1987).

San Andreas Fay Zonu boyunca kullanılan aktif fay verileri Amerikan Jeoloji Servisi (USGS) internet sitesinde Google Earth .kmz formatında yer alan en son hareket durumlarına göre sınıflandırılan 1:250.000 ölçekli fay verilerinden elde edilmiştir. Beş sınıfa ayrılmış olan fay verilerinden tarihsel (150 yıldan az) ve Holosen'den Geç Pleistose'ne (15.000 yıldan daha genç) isimleri ile ayrılan iki fay veri sınıfı derlenerek bu çalışmada kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: San Andreas Fay Zonunda fraktal analizi yapılan kutusal fay alanlarından örnek gösterilmesi (San Bernardino Dağı Bölümü).

San Andreas Fay Zonu boyunca incelenen 32 kutusal alanın Google Earth görüntüsü Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Analizin uygulandığı alan; Salton Denizi'nden başlayarak Kuzey kıyı bölümüne kadar olan bölgeyi kapsamaktadır. Çalışma boyunca kutular seçilirken ana fay izinin kutunun merkezinden geçmesi esas alınmıştır. Fay zonu boyunca ilk kutu boyutunun 30 km ve toplam kutu sayısının da 32 olduğu dikkate alındığında incelenen fay zonu için; toplam uzunluğun 960 km (32x30 km), fay zonu alanının ise toplam 28.800 km² olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.7: San Andreas Fay zonu boyunca fraktal analizi yapılan kutusal fay alanlarının Google Earth görüntüsü şeklinde gösterilmesi.

3.3. KUZEY ANADOLU VE SAN ANDREAS FAY ZONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Kuzey Anadolu ile San Andreas Fayları incelendiğinde iki fay zonu arasında birçok yönden benzerlik mevcuttur. Her iki fay birer fay zonu ya da fay sistemi halinde gelişmiştir. Fay zonları boyunca oluşan ve gelişen özel yapı şekilleri genellikle aynıdır. Fayların boyları yaklaşık olarak birbirine uygundur (1100-1600 km). Fayların kırılma mekanizması doğrultu atımlı olup sağ yönlüdür ve sol yönlü ikinci kolları (Garlock ve Karlıova-Bingöl Fayları) bulunmaktadır. Aynı zamanda iki fay zonu dönüşüm fayı niteliğine sahiptir ve yaşları da benzerdir. İki fay zonu Miyosen sonlarından ya da Pliyosen başından (10-12 milyon yıl öncesinden) beri hareket etmektedir. Ayrıca Alp kuşağında yer alan sıradağları (Coast Range ve Kuzey Anadolu Sıradağları) kesmeleri, iki fay zonu arasındaki önemli benzerliklerin bir diğer göstergesidir (Ketin, 1976).

İki fay zonunda da kısmen sürekli olan fay segmentlerinde seyrek büyük depremler, bunun tam tersi olarak fay izinin dallandığı ve daha karmaşık olduğu segmentlerde ise daha sık ama daha küçük depremler meydana gelmiştir (Allen, 1982).

Her iki fay sisteminin birbirine benzemeyen özelliklerde mevcuttur. Topoğrafik görünüşleri ve en fazla atım değerleri birbirlerinden farklıdır. San Andreas Fay

Zonu'nda, deformasyon ve enerji biriktirme gibi tektonik hareketlerin etkileri, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na oranla daha fazladır. Bu nedenle San Andreas fayı ile kıyaslandığında Kuzey Anadolu'nun fay morfolojisi daha belirgindir (Ketin, 1976).

Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarının birbirine benzer olmasıyla alakalı çalışmalara ek olarak iki fay zonu boyunca aktif fay verilerinin benzer yaklaşımlı ve eşit alanlı olarak bu çalışmayla planlanan fraktal analizi ile önceden yapılmış çalışmalara yeni bir boyut kazandırabilecektir. İkiz fay olarak nitelendirilen bu fay zonlarının birbirine matematiksel açıdan boyut benzerliği gerek objektif gerekse de istatistiksel olarak araştırılmasıyla örnek ve öncü bir çalışma olması hedeflenmektedir.

3.4. FRAKTAL BOYUT

Fraktal boyutun temeli ünlü matematikçiler Hausdorff ve Besicovitch tarafından atılmıştır. Mandelbrot fraktalları topolojik boyutu aşan Hausdorff - Besicovitch boyuta sahip bir set olarak tanımlamıştır (Mandelbrot, 1977).

Fraktal boyut kavramını matematiksel anlamda açıklayacak olursak; düzlemde veya 3-boyutlu uzayda, F^* kümesini ele alalım. Bu kümeyi başka bir F kümesine aşağıda verilen işlemleri uygulayarak elde edelim:

1. Bir F kümesini, her biri F 'nin küçültülmüş kopyası olmak üzere, n tane benzer altkümelere bölelim. r sayısı; oluşturulan alt küme boyutunun, F kümesinin boyutuna olan oranını ifade etsin.
2. Altkümelerden m tanesini tutup diğerlerini ihmal edelim ve bu alt kümeler F_1, F_2, \dots, F_m olsun.
3. Benzer şekilde, aynı işlemi uygulayamaya devam edelim. F_1, F_2, \dots, F_m alt kümelerinin her birini n tane benzer alt kümelere bölelim ve her bir F_k , için $1 \leq k \leq m$, kümesinin m tane alt kümesini turalım.

Yukarıdaki işlemleri uygulayarak elde ettiğimiz F^* kümesi bir fraktal oluşturur ve oluşturulan F^* kümesinin fraktal boyutu ise

$$\frac{\log m}{\log 1/r} \quad (3.1)$$

denkleminde hesaplanır (Ufuktepe ve Aslan, 2002).

Fraktal cisimler, karmaşık (kaotik), kendine benzer, birbirini tekrarlayan özelliklere sahip olmanın yanı sıra topolojik boyuttan daha büyük olan fraktal boyut değerine sahip kırıklı ve parçalı cisimlerdir (Öncel, 1996).

Birçok değişik uzunluktaki ölçekte pürüzlü görünümülerinden dolayı faylar fraktal yüzeyler olarak kabul edilebilir (Okubo ve Aki, 1987).

Fraktal boyut D değeri 3' e yaklaşırsa deprem kırıklarının kabuğun hacmini doldurduğu anlamına gelir. Eğer D 2'ye yaklaşırsa bir düzlem gibi doldurduğu, D 'nin 1'e yaklaşması durumunda ise bir doğru (çizgi) şeklinde olduğu anlamına gelir (Aki, 1981).

Fraktal boyut değerlerinin birbirine eşit veya yakın olması sistemin veya yapısının mono fraktal olduğuna işaret eder. Mono fraktal sistemler homojen olarak nitelendirilir ve bu tip sistemler tek fraktal boyut değeri ile tanımlanabilir (Turcotte, 1997).

3.5. FRAKTAL BOYUT TÜRLERİ

3.5.1. Kapasite Boyutu

Kutu sayma yöntemiyle belirlenen kapasite boyutu D_0 (Feder, 1988) grid ölçeğinin değişimine göre bir kırık sisteminin uzaysal dağılım özelliğini ölçer (Hirata, 1989a).

$$N_i = \frac{C}{r_i^D} \quad (3.2)$$

N_i nesne (kırık, parça) sayısı, r_i karakteristik lineer uzunluk, C oran sabiti olacak şekilde tanımlanan fraktal küme tanımında $r \rightarrow \infty$ için limit tanımlanır;

$$D = D_0 = \lim_{r \rightarrow \infty} \left(\frac{\log N(r)}{\log \left(\frac{1}{r} \right)} \right) \quad (3.3)$$

D_0 kapasite boyut değeri elde edilir (Turcotte, 1997).

Doğada var olan nesne ve sistemleri analiz etmek için kullanılan en yaygın fraktal boyut D_0 kapasite boyutudur. Genellikle depremsellik araştırmalarında kullanılarak faylarla ilişkilendirilir.

3.5.2. Bilgi Boyutu

Kutu sayma yöntemiyle elde edilen kapasite boyutunun hesaplanması aşamasına olasılıkların dahil edilmesiyle elde edilen yeni değerdir. Fraktal yapının yoğunluğunun belirtilmesinde kullanılabilir.

3.5.3. Korelasyon Boyutu

Grassberger ve Proccacia (1983) tarafından tanımlanan ilişki boyutu olarak da adlandırılan korelasyon boyutu;

$$D_c = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r} \quad (3.4)$$

$$C(r) = \frac{2N_{R<r}}{N(N-1)} \quad (3.5)$$

r iki episantr arasındaki uzaklık, C(r) korelasyon (ilişki) fonksiyonu, N birbirinden R<r uzaklıkla dağılmış noktaların sayısı olacak şekilde yukarıda verilen (3.5) formülünden hesaplanır (Öztürk, 2013).

D_c fraktal boyutu bir bölgede bulunan faylardaki sismisitenin heterojenitesinin derecesini temsil eder ve gerilmelerin heterojenitesi, jeolojik yapılar ve yapısal unsurlara bağlı olarak değişim gösterir (Öncel ve diğ. 1996). Eğer bir bölgede deprem kümelenmeleri daha yoğunsa D_c değerinde düşüş gözlenir (Öncel ve Wilson, 2002).

3.6.FRAKTAL ANALİZ

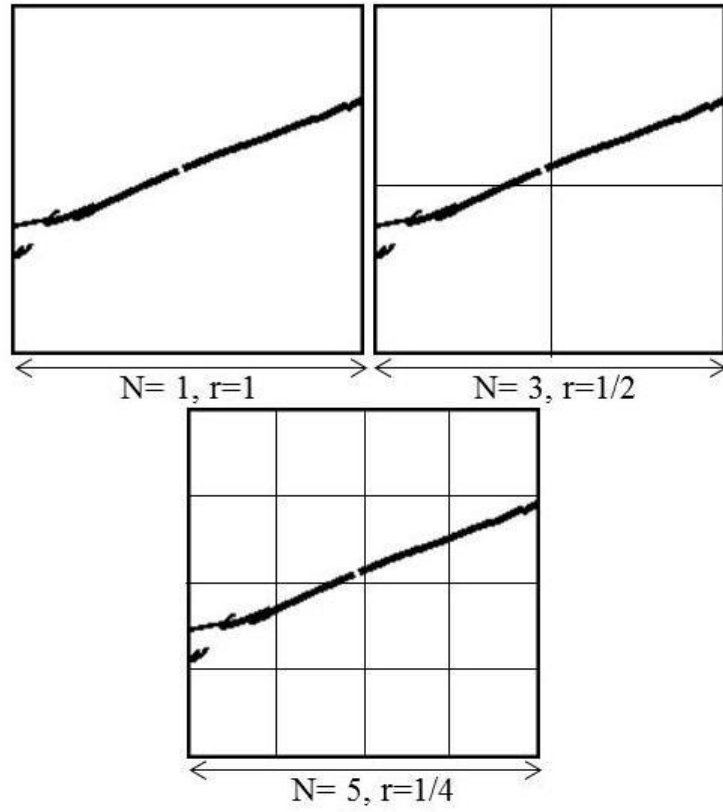
3.6.1. Kutu Sayma Yöntemi (Box Counting Method)

Fay sistemlerinin fraktal boyutunun hesaplanmasında kullanılan popüler yöntemlerden bir tanesi kutu sayma yöntemidir. Bu yöntem ilk kez Hirata (1989a) tarafından Japonya'daki fay sistemlerinin fraktal boyutunun belirlenmesinde uygulanmıştır. Kutu sayma metodunun uygulanması sonucunda elde edilen fraktal boyut ise kapasite boyutudur. Kırık ve aktif fayların fraktal analizi için kutu sayma metodu kullanılır (Wilson ve diğ. 1997).

Kutu sayma, kutu boyutlarının (r) değiştiği ve söz konusu düzeni kapsayan kutuların sayısını (N) içeren basit bir yöntemdir (Turcotte, 1989). Bu yöntemle göre fraktal boyutun bulunmasında bir cismi örtmek için gereken kutu büyüklüğü r ile kutuların

sayısı olan N arasındaki ilişkiyi yararlanır (Feder, 1988; Hirata, 1989a). Kutu sayma yönteminde;

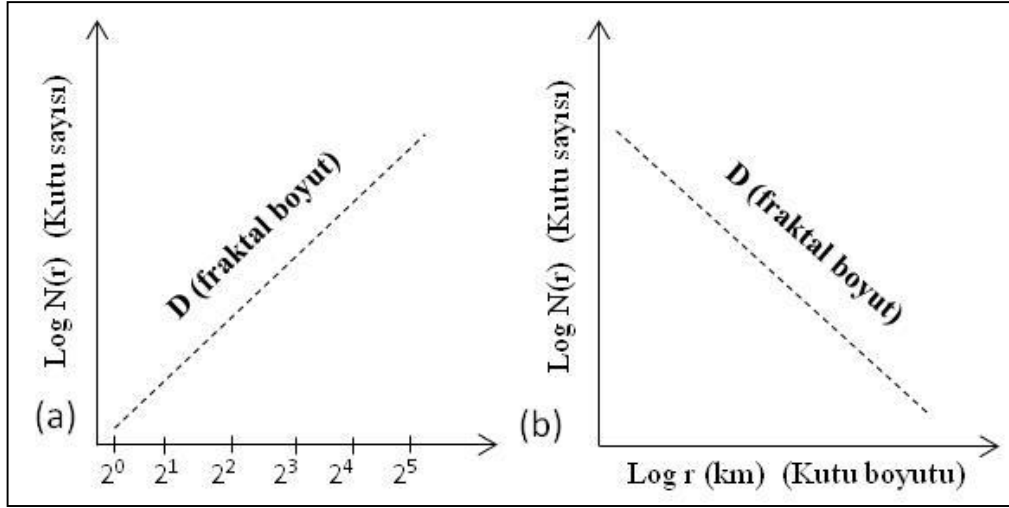
- i. İncelenecek alan r kenar uzunluğuna sahip kutularla kaplanır, içerisine veri düşen dolu kutular sayılır.
- ii. İkinci adımda kutu kenar uzunluğu $r/2$ olacak şekilde daha küçük karelere bölünür ve içine fay çizgisi düşen dolu kutular sayılır.
- iii. Üçüncü adımda kenar uzunluğu $r/4$ olacak şekilde kutular küçültülür ve içine veri düşen kutular sayılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Kutu sayma yönteminin şematik gösterimi.

Bu işlem belirli bir limite kadar tekrarlanır. Adım sayısı n olmak üzere her r_n kutu kenar uzunlukları ile içlerine veri düşen dolu kutu sayısı olan N logaritmaları alınarak kartezyen koordinatlarda işaretlenir. Basit Lineer Regresyon analizinin uygulanması ile eğriye çizilen lineer doğrunun eğiminden fraktal boyutu elde edilir. Diğer bir deyişle; $\log N(r) - \log r$ kartezyen koordinatlarda istatistiksel açıdan düz bir eğri ile temsil edilir ve bu eğrinin eğimi bize fraktal boyut değerini verir.

Kutu sayma yönteminde kapasite boyut değeri $\text{Log } N(r)\text{-Log } r$ grafiğinde noktalardan geçen en uygun lineer doğrunun eğiminden hesaplanır fakat Hirata(1989a) ve Öncel (1996) çalışmalarında kutu sayısının 2'nin kuvveti (2^n) şeklinde artması ile içine fay düşen kutu sayısı arasındaki ilişki gösterimini kullanmışlardır (Şekil 3.9a). Tez çalışması kapsamında ise Şekil 3.9b'deki gösterim kullanılacaktır.



Şekil 3.9: Kutu Sayma yöntemi ile fraktal boyut değerinin elde edilmesinin şematik gösterimleri. (a) İçine kırık düşen kutu sayısının 2'nin üstel olarak büyümesine bağlı olarak artmasını gösterir. (b) Kutucukların kenar uzunluklarının küçülmesine bağlı olarak içine kırık düşen kutuların sayısal olarak büyümesini göstermektedir.

Kutu sayma yöntemi fay sistemlerinin analizi konusunda pek çok araştırma da kullanılmıştır. Hirata (1989a) Japonya aktif fay sistemini araştırmak için yaptığı çalışmada kutu sayma yöntemini kullanmıştır. Öncel (1996) Türkiye'deki doğrultu atımlı fay sistemlerinin fraktal analizi çalışmasında kutu sayma yöntemini kullanmıştır. Gonzato ve diğ. (1998) ve Gonzato (1998) bilgisayar yardımıyla fraktal boyutu hesaplamak için kutu sayma yöntemini içeren algoritmalar geliştirmişlerdir. Bourke (2014) kutu sayma yöntemini uygulayarak fraktal boyutun hesaplanmasına olanak veren bilgisayar algoritmaları oluşturmuştur.

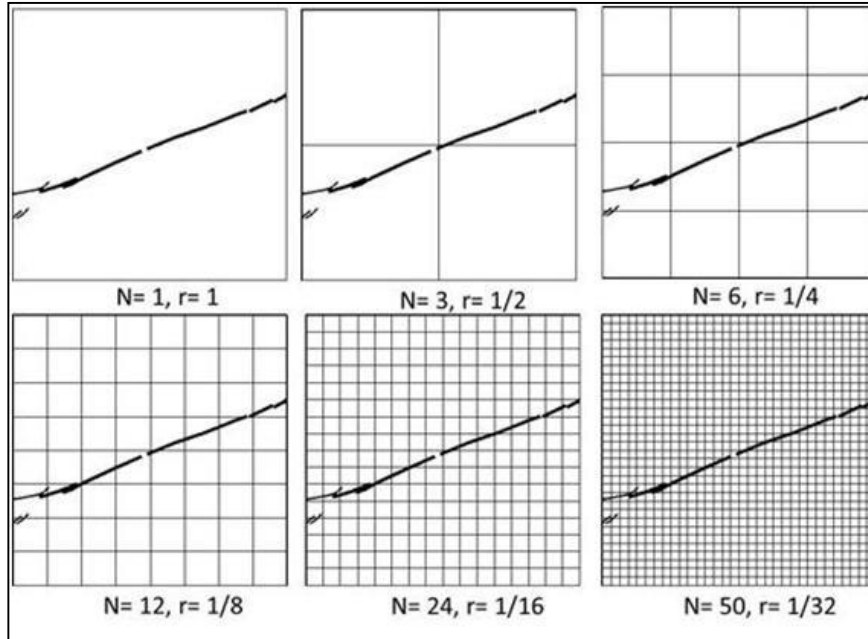
Tez çalışması kapsamında aktif fay verilerine kutu sayma yönteminin uygulanmasıyla elde edilen kapasite boyut değerleri genel adı olan fraktal boyut şeklinde adlandırılacaktır.

3.7. KUTU SAYMA YÖNTEMİNİN KLASİK UYGULAMASI

Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca elde edilen aktif fay verilerinin fraktal analizinde kutu sayma yöntemi klasik uygulama şeklinde gerçekleştirilmiştir. Hirata (1989a) ve Öncel (1996) çalışmalarında da kutu sayma yöntemi klasik uygulama yaklaşımı ile kullanılmıştır. Çalışma kapsamında da yöntem uygulanırken hesaplama sonuçlarına insan faktörünün etkisini minimum seviyede tutmak için en titiz klasik yöntem uygulaması yapılmıştır.

İlk kutu boyutu 30km x 30km belirlenerek KAFZ için toplam 43 kutu, SAFZ için toplam 32 kutu kullanılarak kutu sayma yöntemiyle fraktal analiz çalışması yapılmıştır. Her iki fay zonu içinde ana fay izinin yaklaşık olarak kutunun merkezinden geçmesi göz önüne alınmış ve kutuların yerleri bu şekilde belirlenmiştir.

Klasik uygulama gerçekleştirilirken; içine fay verisi düşen dolu kutuların sayısı $N(r)$, kutunun kenar uzunluğu r olacak şekilde 5 adımda hesaplama yapılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Kutu sayma yönteminin klasik uygulamasının 5 adım (iterasyon) için şematik gösterilmesi. Uygulanan algoritmada kutunun kenar uzunluğu azalırken içine aktif fay verisi düşen dolu kutu sayısı artmaktadır.

Her iterasyon için elde edilen bu değerler $\log N(r) - \log r$ yani kutu kenar uzunluğu r ; x eksenini, içi dolu olan kutu sayısı $N(r)$; y eksenini olmak üzere kartezyen koordinatlarda işaretlenmiştir. Hesaplanan eğriye basit lineer regresyon analizi uygulanarak çizilen en uygun lineer doğrunun eğiminden fraktal boyut değeri elde edilmiştir.

3.8. KUTU SAYMA YÖNTEMİNİN MODERN UYGULAMASI

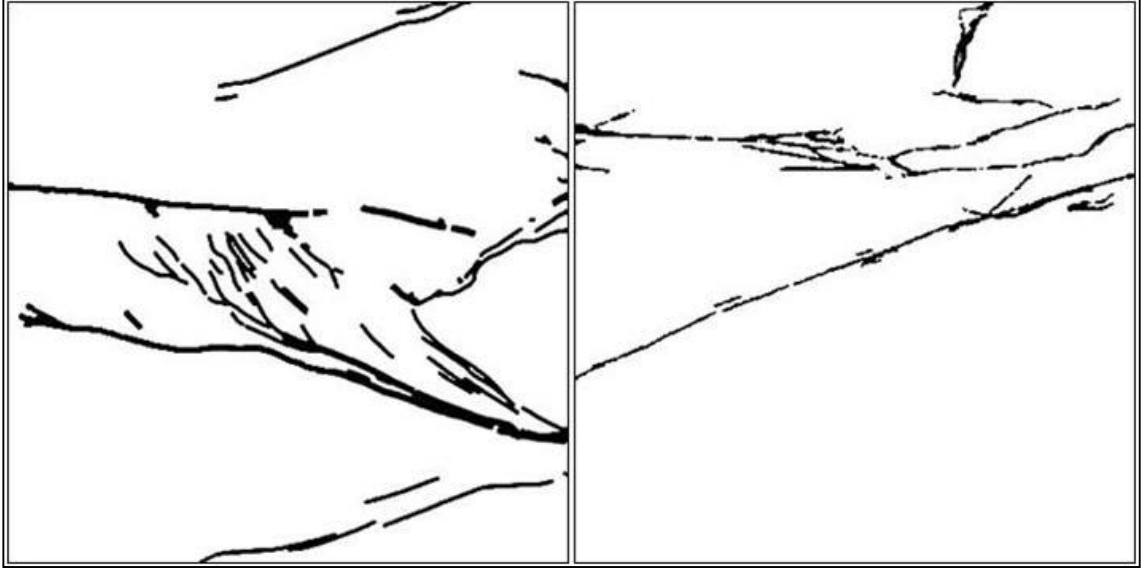
Çalışma kapsamında iki fay zonu için aktif fay verilerinin klasik uygulama yoluyla fraktal analiz incelenmesine ek olarak Görüntü Analizi (Image Analysis) programı kullanılarak modern yaklaşım ile yeniden araştırılmıştır. Aktif fay verilerinin analizinde kutu sayma yönteminin modern uygulaması görüntü analiz programı olan Fractalyse Analysis Software kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım Fransa Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi ve Franche Comte Üniversitesi işbirliğiyle oluşturulan Thema (Theoriser et Modeliser pour Amenager) araştırma merkezinin “Mobility, city and transport” isimli araştırma ekibi tarafından geliştirilmiş bir görüntü analiz programıdır. Pierre Frankhauser, Cécile Tannier ve Gilles Vuidel tarafından birkaç yıldan beri yapılan çalışmaların neticesinde ortaya çıkmıştır.

Yazılım programı başlangıçta şehirlerin yerleşim alanlarının fraktal boyutunun belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Birçok çalışmanın analiz kısmında program kullanılmıştır (Frankhauser ve diğ. 2007; Ma ve diğ. 2008; Thomas ve diğ. 2010; Tannier ve Thomas, 2013; Bourchtein ve diğ. 2014). Programın aktif fay verilerinin analizinde kullanılması bu tez çalışması kapsamında ilk kez yapılmış ve sonuçları kutu sayma yönteminin klasik uygulamasıyla karşılaştırılmıştır.

Fractalyse Analysis Software yazılımı siyah-beyaz görüntülerin fraktal boyutunu bulmak için kullanılabilir. Ayrıca program birçok görüntü işleme araçlarını da içermektedir Programın kullanılabilir olması için analizi yapılacak görüntü formatının tiff (işaretlenmiş görüntü formatı) veya bmp (bit haritası) uzantılı olması gerekmektedir.

Aktif fay verilerinin fraktal analizi aşamasında Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları için daha önceki kısımda anlatıldığı şekilde belirlenen kutular Görüntü İşleme Programı (Paint.net) ile düzeltilerek siyah-beyaz görüntü formatına (arka plan beyaz, aktif fay verileri siyah) dönüştürülmüştür (Şekil 3.11). Çünkü görüntü analiz programının çalışma prensibi; siyah-beyaz görüntü formatına dayanmaktadır.

Modern uygulama da kullanılan analiz programında; her iterasyon için değişen iki özellik olan; sayılan siyah piksel sayısı (dijital veri) ve kutu kenar uzunluğu kartezyen koordinatlarda işaretlenir. Koordinatlarda X eksenini kutu kenarlarının uzunluğu, Y eksenini sayılan siyah piksel sayısını temsil eder. Buna göre elde edilen eğrinin eğiminden fraktal boyut hesaplanır.



Şekil 3.11: KAFZ (sağda) ve SAFZ (solda) boyunca kutu sayma yönteminin modern uygulaması olan görüntü analizi için örnek kutusal alanların görüntü işleme programı yardımıyla siyah-beyaz görüntü formatına dönüştürülmesi.

Kutu sayma yöntemi modern uygulama ile gerçekleştirilirken görüntü analizi programı olan Fractalyse programının Box menüsündeki yer alan Free Box ve Grid metotları ayrı ayrı uygulanmıştır. Her metot sonucunda her kutu alanı için farklı fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır.

3.8.1. Free Box Metodu

Bu metot tüm siyah pikselleri kaplamak veya örtmek için gerekli ϵ boyutundaki kutuların sayısının en az olmasını prensibine göre çalışır. Bu yaklaşıma göre; analiz sonucunda elde edilen sonuçlar sadece en az sayıda en çok piksel kapsamayı hedeflemektedir. Grid metodunun genel bir versiyonu olduğu söylenebilir.

3.8.2. Grid Metodu

Fraktal boyutu hesaplamak için en çok kullanılan yöntemdir. Görüntü karesel kutularla kaplanır ve sonra kutu uzunluğu ϵ değişmektedir. Çalışma mantığında her ϵ değeri için, içi dolu olan kare kutular $N(\epsilon)$ sayılmaktadır. Genellikle ϵ değer seti 2'nin katıdır.

3.9. KORELASYON ANALİZİ

Tez çalışması kapsamında çoklu yöntem yaklaşımıyla gerçekleştirilen fraktal analiz çalışmaları (kutu sayma yöntemi) ile elde edilen fraktal boyut değerlerinden hangisinin tercih edileceği korelasyon analizi ile belirlenmiştir.

Korelasyon analizi; iki değişken arasındaki lineer ilişkinin yönünü ve gücünü ölçmek için istatistik uygulamalarında kullanılır. Korelasyon sadece ilişkinin gücü ile alakalı olup nedensellik hakkında herhangi bir sonuç vermez. Korelasyon katsayısı olan R -1 ile +1 arasında değişmektedir.

Korelasyon katsayısına göre değişkenler arasındaki ilişki açıklanacak olursa; $R=-1$ iki değişken arasında negatif güçlü ilişki, $R=0$ iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin var olmadığı, $R= 1$ ise iki değişken arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir.²

² http://fbe.beun.edu.tr/fbe/images/ins729/sunu_6ci_hafta.pdf den alınmıştır.

4. BULGULAR

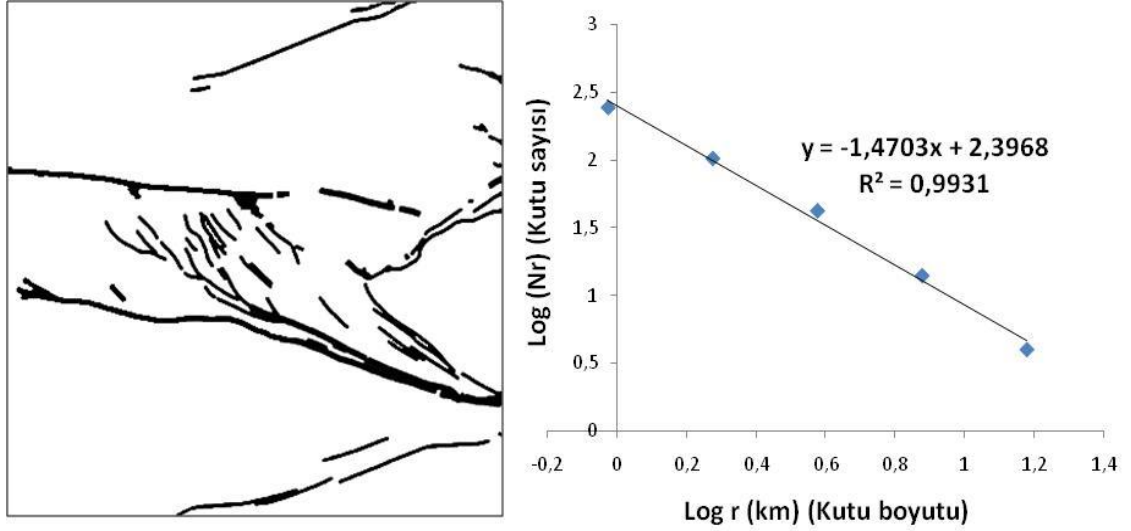
4.1. KUZHEY ANADOLU FAY ZONUNDA AKTİFFAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ

Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca aktif fay verileri fraktal analiz yöntemlerinden en popüler olan kutu sayma yöntemiyle incelenmiştir. İncelemede ana fay izi kutusal alanların merkezine alınmış ve fay zonunun kuzey bölümü Karadeniz bloğu ve güney bölümü Anadolu bloğunda gelişmiş tali faylarda çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma kapsamında önceki bölümlerde ifade edilen aktif fay verilerinin görüntüleri kullanılmıştır.

Uygulanan kutu sayma yönteminde fay zonu boyunca 30 kmx30 km boyutundaki kare kutularla toplamda 43 kutu olacak şekilde farklı fraktal boyut değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında aktif fay verilerinin fraktal analizi için klasik ve modern uygulama aracılığıyla kutu sayma yöntemleri yapılmıştır.

Klasik uygulama ile yapılan hesaplamaların neticesinde fay zonu boyunca ana fay izini esas alarak uygulanan fraktal analiz uygulamasıyla 0.9 - 1.47 aralığında değişen fraktal boyut değerleri elde edilmiştir. Adapazarı ve çevresini kapsayan kutusal alan için uygulanan kutu sayma yöntemi sonucunda fraktal boyut değeri ise 1.47 olarak hesaplanmıştır. Kutu sayma yönteminin klasik yaklaşım uygulamasıyla KAFZ boyunca en yüksek boyut değeri Şekil 4.1'de gösterilen Adapazarı ve çevresinde elde edilmiştir.

Modern uygulama da kutu sayma yöntemi aktif fay verilerinin siyah-beyaz formattaki görüntülerini siyah piksel cinsinden sayısallaştırılan dijital veriler kullanılarak yapılmıştır. Görüntü Analiz (Image Analysis) programının içeriğindeki Box menüsünde yer alan Free Box ve Grid metotları ayrı ayrı uygulanmıştır. Klasik uygulamada olduğu gibi modern uygulamada da kutu sayma yöntemi 5 adımda gerçekleştirilerek istatistiksel açıdan minimum şart sağlanmıştır.

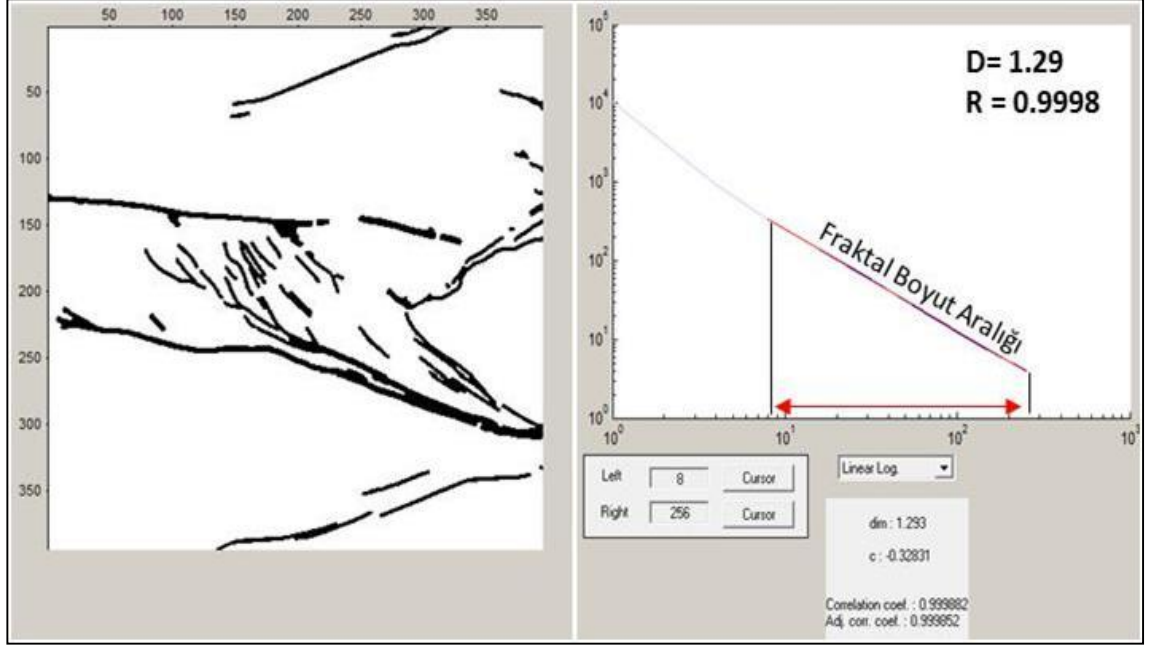


Şekil 4.1: Klasik uygulama örneği (Adapazarı). Fraktal boyut değeri ve regresyon belirlilik katsayısı gösterilmektedir (sağda). İstatistik açıdan incelenen fraktal aralık en küçük kutu kenar uzunluğu $r=0.93$ km ($\text{Log } r = -0.03$) ile en büyük kenar uzunluğu $r=15$ km ($\text{Log } r = 1.17$) arasında değişmektedir.

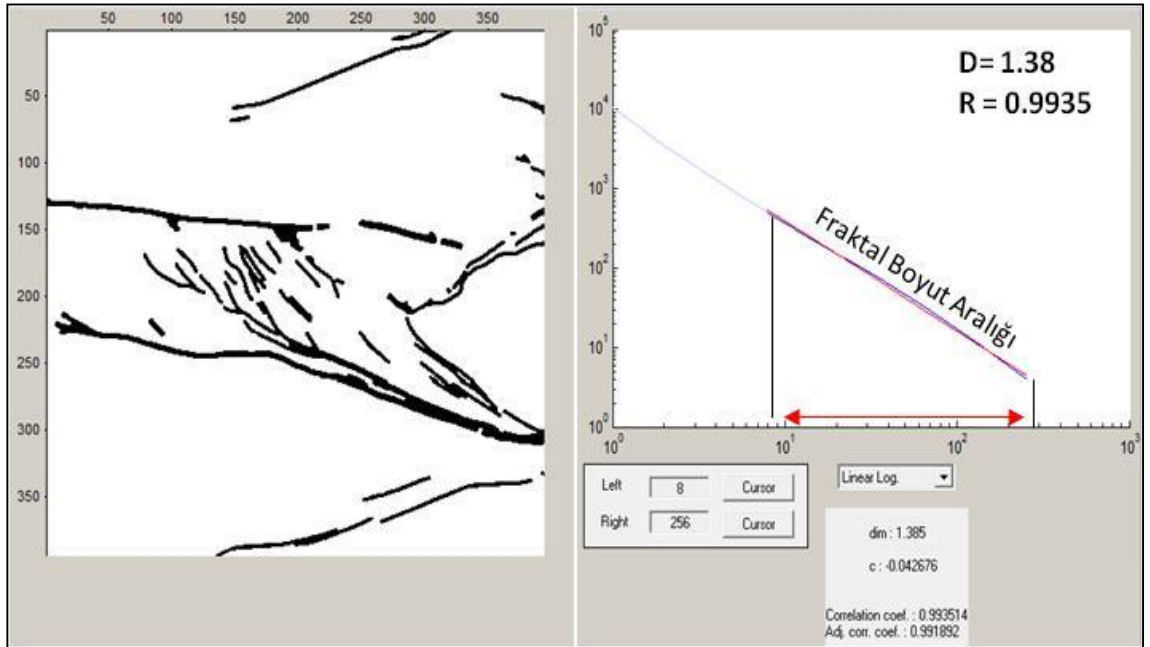
Şekil 4.2’de Kuzey Anadolu Fay Zonu için kutu sayma yöntemini modern uygulaması olan Free Box metodunun sonuçları gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucunda örnek kutusal alan olarak gösterilen Adapazarı ve çevresi için yüksek korelasyon katsayısı ($R=0.9998$) ile fraktal boyut değeri 1.29 olarak hesaplanmıştır.

Kuzey Anadolu Fay Zonu için kutu sayma yöntemini modern uygulaması olan Grid metodunun sonucu Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Grid metodunun Adapazarı ve çevresini kapsayan KAF_{14} (14.kutu) bölgenin siyah-beyaz görüntüsüne uygulanması sonucunda ise fraktal boyut değeri, korelasyon katsayısı $R= 0.9935$ olacak şekilde 1.38 olarak hesaplanmıştır.

Görüntü analizi programının kullanılmasıyla kutu sayma yönteminin iki farklı modern yaklaşım olan Free Box ve Grid metotlarının Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca toplamda 43 kutu alanı için ayrı ayrı uygulanmıştır. Free Box metodunun uygulanması sonucunda KAFZ boyunca toplam 43 kutusal alan için 0.89 - 1.4 aralığında değişen fraktal boyut değerleri elde edilmiştir. Aynı şekilde KAFZ boyunca aktif fay verilerinin Grid metodu ile analiz edilmesiyle incelenen 43 kutusal alan için 0.86 – 1.38 aralığında değişen fraktal boyut değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.2: Free Box metodu için bir örnek (Adapazarı) uygulama. Kalın siyah çizgiler deprem yüzey kırıklarını, daha ince olanlar ise holosen fay çizgilerini göstermektedir.



Şekil 4.3: Grid metodu için bir örnek (Adapazarı) uygulama. Fraktal boyut değeri ve korelasyon katsayısı gösterilmektedir.

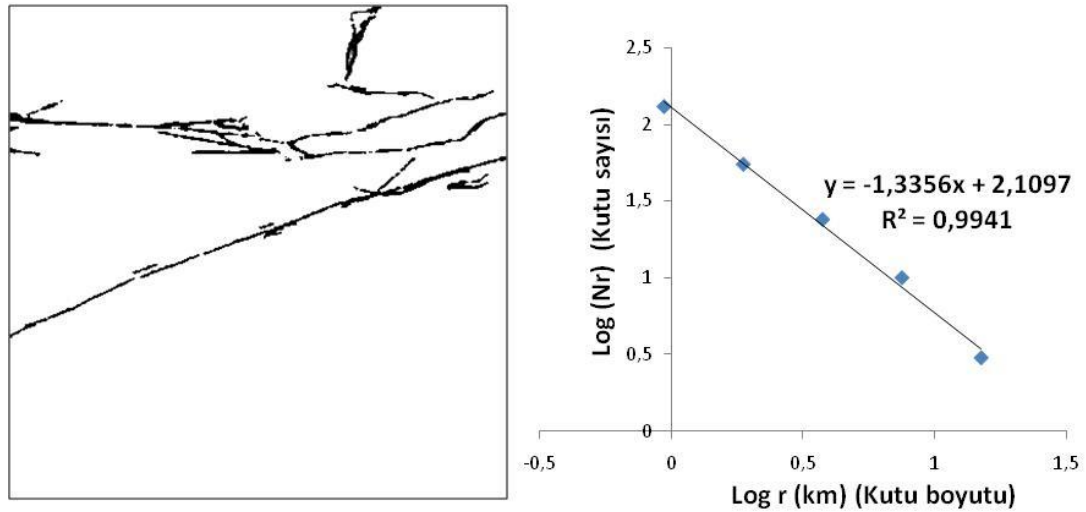
4.2. SAN ANDREAS FAY ZONUNDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ

San Andreas Fay Zonu boyunca aktif fay verileri Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda olduğu gibi kutu sayma yöntemiyle incelenmiştir. Yöntem aktif fay verilerine klasik ve modern yaklaşım olacak şekilde iki türlü uygulanmıştır.

Fay zonu boyunca tüm alanı taramak için seçilen kutunun boyutu KAFZ ile aynı olacak şekilde 30 km x 30 km boyutundadır. San Andreas Fayının ana fay izi kutunun merkezine alınarak, toplamda 32 kutusal alan seçilmiştir.

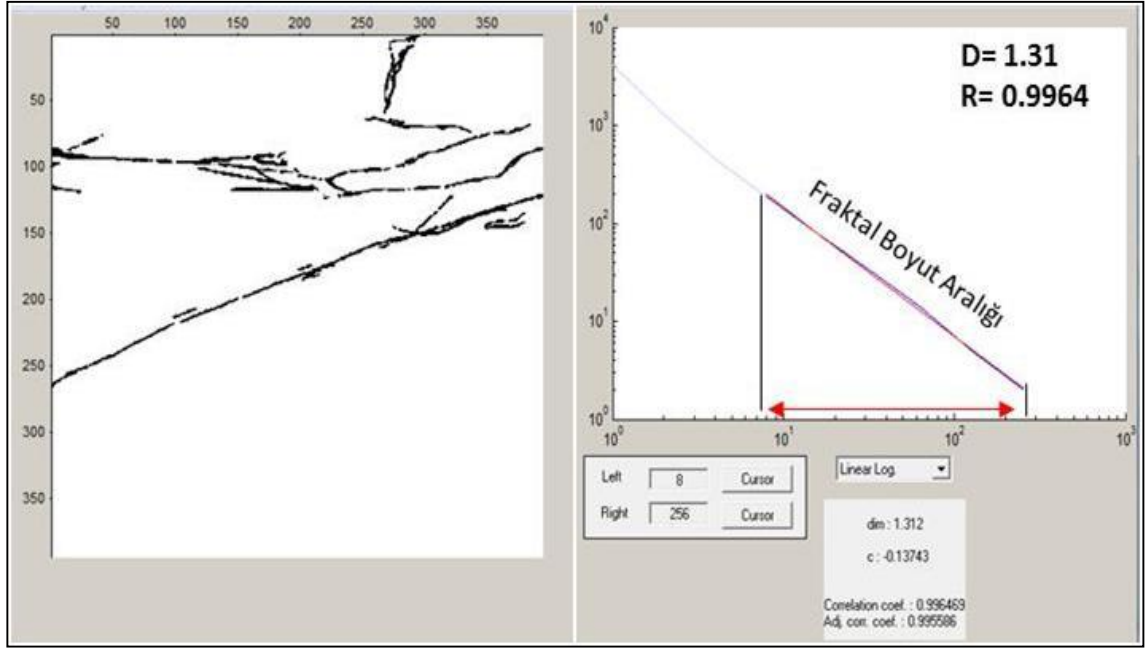
San Andreas Fay Zonu boyunca kutu sayma yönteminin klasik uygulanmasıyla Şekil 4.4'de örnek olarak gösterilen San Bernardino Dağı (SAF₆) bölümünde fraktal boyut değeri 1.33 olarak hesaplanmıştır. Klasik yaklaşım ile en yüksek fraktal boyut değeri bu kutusal alanda elde edilmiştir.

Fraktal analiz yöntemlerinden kutu sayma yönteminin San Andreas Fay Zonundaki aktif fay verilerinin görüntülerine klasik tarzda uygulanmasıyla toplamda 32 kutu alanı için 0.85 – 1.33 aralığında değişen fraktal boyut değerleri elde edilmiştir.

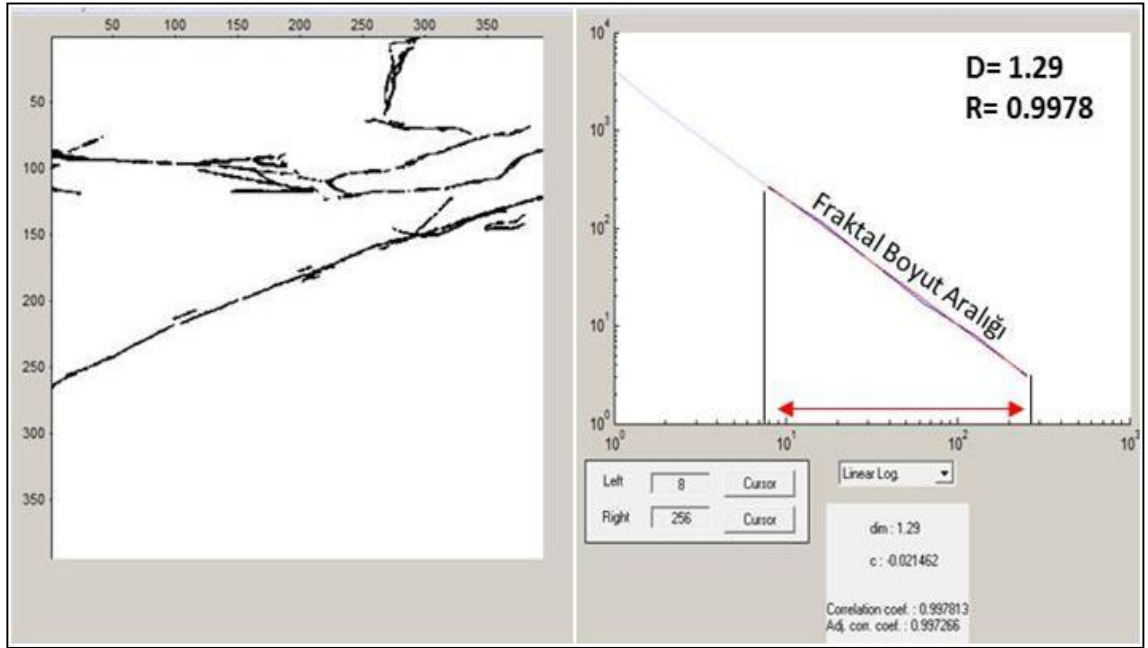


Şekil 4.4: Klasik uygulama örneği (San Bernardino Dağı Bölümü). Fraktal boyut değeri ve regresyon belirlilik katsayısı (sağda) gösterilmektedir.

San Bernardino Dağı bölümü için kutu sayma yöntemi modern uygulamalarından Free Box metodunun uygulanmasıyla 1.31 (Şekil 4.5), Grid metodu ile 1.29 (Şekil 4.6) fraktal boyut değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.5: Free Box metodu için bir örnek (San Bernardino Dağı Bölümü) uygulama.



Şekil 4.6: Grid metodu için bir örnek (San Bernardino Dağı Bölümü) uygulama.

San Andreas Fay Zonu boyunca kutu sayma yönteminin Görüntü Analizi programı ile gerçekleştirilmesiyle 32 kutusal alan için Freebox ve Grid metodlarının ayrı ayrı uygulanmasıyla sırasıyla 0.92 – 1.3, 0.93 – 1.31 aralığında değişen fraktal boyut değerleri elde edilmiştir.

4.3. FRAKTAL BOYUT DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Fraktal analiz yöntemlerinden Kutu Sayma yönteminin Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca aktif fay verilerine klasik ve modern olacak şekilde iki türlü olarak uygulanması sonucunda farklı fraktal boyut değerleri elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen analiz çalışmaları ile elde edilen boyut değerlerinden hangisinin tercih edileceği daha önceki bölümde açıklanan korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Korelasyon analizi ile kutu sayma yönteminin her uygulaması (klasik ve modern) için hesaplanan korelasyon katsayıları karşılaştırılmıştır. Korelasyon katsayısı hangi uygulamada daha yüksek ise o uygulama da elde edilen fraktal boyut değeri seçilmiştir.

Çalışma boyunca kutu sayma yönteminin klasik veya modern metotla uygulandığı bütün inceleme alanları için, Büyüklük (Size) ve Frekans (Frequency) istatistiğine göre; korelasyon katsayısı genellikle yüksek ($r > 0.9$) elde edilmiştir.

Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları için analizi yapılan kutu sayma uygulamaların (klasik ve modern) sonucunda elde edilen fraktal boyut değerleri sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Korelasyon katsayısı r ’nin 1’e yakın olmasına göre en büyük değerlerin seçilmesi ile Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca fraktal boyut değerleri belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca uygulanan klasik ve modern kutu sayma yöntemlerinin (Free Box ve Grid) korelasyon katsayılarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Mavi sütun kutu sayma yönteminin klasik uygulamasıyla, kırmızı sütun Free box metotunun uygulanmasıyla ve yeşil sütun ise Grid metotunun uygulanmasıyla elde edilen korelasyon katsayılarını göstermektedir.

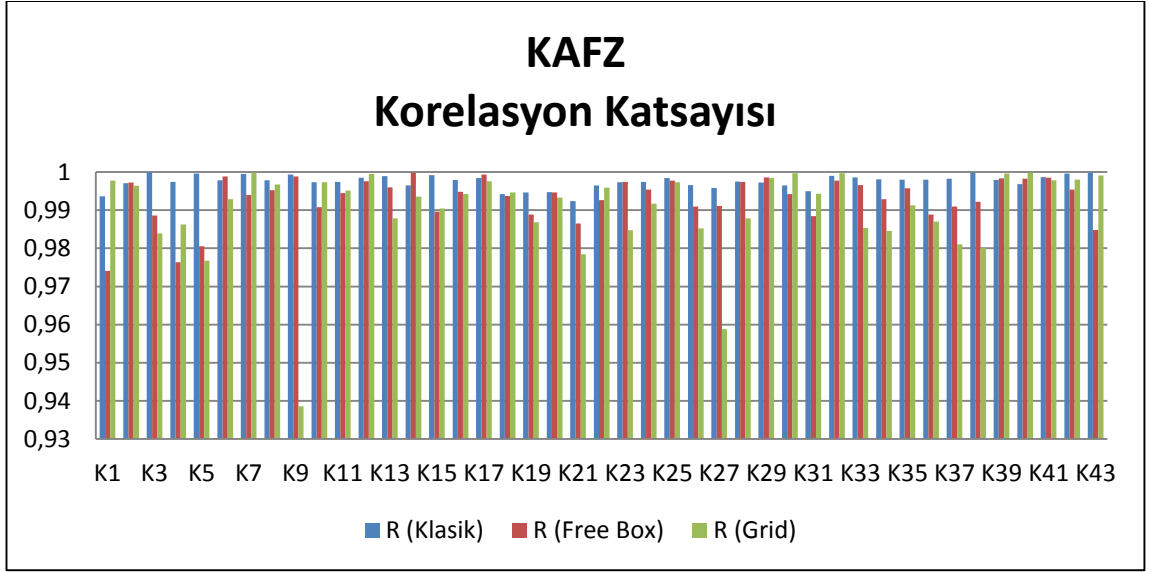
Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları için gerçekleştirilen uygulamaların (klasik ve modern) sonucunda elde edilen fraktal boyut değerlerinin hangisinin tercih edildiği her yöntem için hesaplanan korelasyon katsayıları ile belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; Kuzey Anadolu Fay Zonu için belirlenen fraktal boyut değerleri 0.9 ile 1.41 (Tablo 4.3) değerleri arasında, San Andreas Fay Zonu içinde 0.94-1.29 değerleri (Tablo 4.4) arasında elde edilmiştir.

Tablo 4.1: KAFZ boyunca uygulanan klasik ve modern kutu sayma yöntemleri sonucunda her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.

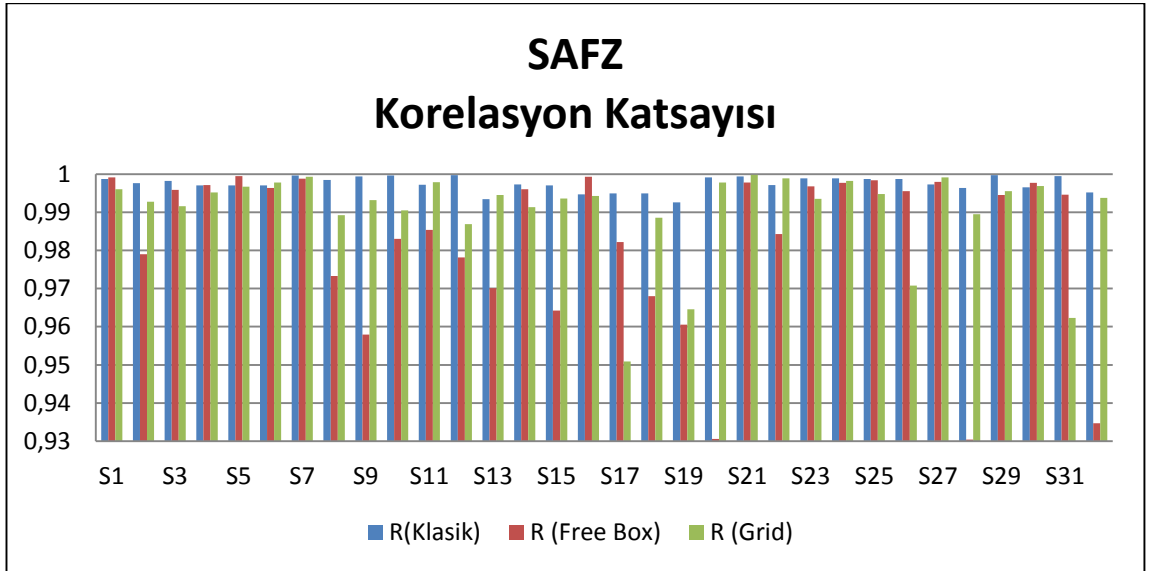
Deprem Kırıkları	İncelenen Alan	Fraktal Boyut Klasik	Fraktal Boyut Free Box	Fraktal Boyut Grid
1912 kırık zonu	KAF ₁	1.04	1.34	1.24
	KAF ₂	1.19	1.21	1.17
	KAF ₃	1.01	0.96	0.97
	KAF ₄	1.03	0.95	1.00
	KAF ₅	1.04	1.00	1.01
	KAF ₆	1.15	1.11	1.21
	KAF ₇	1.24	1.22	1.22
1999 kırık zonu	KAF ₈	0.97	0.94	1.06
	KAF ₉	0.97	0.93	0.86
	KAF ₁₀	1.11	1.03	1.06
	KAF ₁₁	1.19	1.18	1.11
	KAF ₁₂	1.10	1.14	1.21
	KAF ₁₃	1.01	1.02	1.08
	KAF ₁₄	1.47	1.29	1.38
	KAF ₁₅	1.19	1.05	1.15
1999 kırık zonu	KAF ₁₆	1.18	1.06	1.11
1944 kırık zonu	KAF ₁₇	1.17	1.10	1.23
	KAF ₁₈	0.90	0.94	1.09
	KAF ₁₉	0.96	0.93	1.10
	KAF ₂₀	0.98	0.92	1.10
	KAF ₂₁	1.04	0.95	1.10
1943 kırık zonu	KAF ₂₂	0.92	0.93	1.06
	KAF ₂₃	1.00	0.91	0.99
	KAF ₂₄	0.90	0.94	1.05
	KAF ₂₅	0.94	0.90	1.01
	KAF ₂₆	0.98	0.91	1.02
	KAF ₂₇	0.98	0.90	1.01
	KAF ₂₈	1.00	0.91	0.95
	KAF ₂₉	1.04	0.96	0.99
	KAF ₃₀	1.12	1.01	0.99
1942 kırık zonu	KAF ₃₁	1.40	1.27	1.34
1939 kırık zonu	KAF ₃₂	1.21	1.12	1.19
	KAF ₃₃	0.99	0.90	0.89
	KAF ₃₄	1.00	0.91	0.98
	KAF ₃₅	0.98	0.89	0.95
	KAF ₃₆	1.00	0.93	0.98
	KAF ₃₇	0.98	0.89	0.95
	KAF ₃₈	1.06	1.02	1.07
	KAF ₃₉	1.33	1.25	1.28
	KAF ₄₀	1.33	1.13	1.17
1949 kırık zonu	KAF ₄₁	1.08	0.91	1.02
	KAF ₄₂	1.20	1.18	1.13
	KAF ₄₃	1.41	1.40	1.33

Tablo 4.2: SAFZ boyunca uygulanan klasik ve modern kutu sayma yöntemleri sonucunda her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.

İncelenen Alan	Fraktal Boyut Klasik	Fraktal Boyut Free Box	Fraktal Boyut Grid
SAF ₁	0.97	0.98	0.97
SAF ₂	0.98	0.94	1.05
SAF ₃	1.18	1.21	1.18
SAF ₄	1.30	1.19	1.22
SAF ₅	1.09	1.16	1.17
SAF ₆	1.33	1.31	1.29
SAF ₇	0.96	0.93	1.06
SAF ₈	1.16	1.13	1.13
SAF ₉	1.14	1.14	1.10
SAF ₁₀	1.09	1.09	1.09
SAF ₁₁	1.16	1.10	1.11
SAF ₁₂	1.27	1.21	1.16
SAF ₁₃	1.08	1.18	1.27
SAF ₁₄	0.97	0.98	1.11
SAF ₁₅	0.99	1.11	1.20
SAF ₁₆	1.26	1.27	1.31
SAF ₁₇	1.18	1.06	1.15
SAF ₁₈	0.97	1.05	1.13
SAF ₁₉	1.03	1.02	1.15
SAF ₂₀	0.96	1.04	1.20
SAF ₂₁	1.22	1.27	1.21
SAF ₂₂	1.20	1.19	1.11
SAF ₂₃	1.28	1.21	1.22
SAF ₂₄	1.00	1.13	1.02
SAF ₂₅	1.03	1.03	1.13
SAF ₂₆	1.13	1.10	1.27
SAF ₂₇	1.08	1.03	1.14
SAF ₂₈	1.01	0.99	1.10
SAF ₂₉	1.06	0.93	1.01
SAF ₃₀	0.85	0.94	1.01
SAF ₃₁	1.08	0.92	0.93
SAF ₃₂	1.00	1.02	1.13



Şekil 4.7: KAFZ boyunca klasik ve modern yaklaşımlara göre uygulanan kutu sayma yöntemlerinin (toplam 43 kutu: K1-K43) korelasyon katsayısına (R) göre karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 4.8: SAFZ boyunca klasik ve modern yaklaşımlara göre uygulanan kutu sayma yöntemlerinin (toplam 32 kutu: S1-S32) korelasyon katsayısına (R) göre karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 4.3: KAFZ boyunca uygulanan kutu sayma yöntemleri sonucunda korelasyon katsayısı göz önüne alınarak her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.

Deprem Kırıkları	İncelenen Alan	Korelasyon Katsayısı Klasik	Korelasyon Katsayısı Free Box	Korelasyon Katsayısı Grid	Fraktal Boyut
1912 kırık zonu	KAF ₁	0.9936	0.9741	0.9977	1.24
	KAF ₂	0.9971	0.9972	0.9964	1.21
	KAF ₃	0.9999	0.9886	0.9839	1.01
	KAF ₄	0.9974	0.9763	0.9862	1.03
	KAF ₅	0.9996	0.9805	0.9768	1.04
	KAF ₆	0.9978	0.9988	0.9929	1.11
	KAF ₇	0.9995	0.9940	0.9998	1.22
1999 kırık zonu	KAF ₈	0.9978	0.9952	0.9967	0.97
	KAF ₉	0.9993	0.9988	0.9386	0.97
	KAF ₁₀	0.9973	0.9908	0.9973	1.11
	KAF ₁₁	0.9974	0.9945	0.9951	1.19
	KAF ₁₂	0.9985	0.9976	0.9995	1.21
	KAF ₁₃	0.9989	0.9960	0.9878	1,01
	KAF ₁₄	0.9965	0.9998	0.9935	1.29
	KAF ₁₅	0.9992	0.9896	0.9904	1.19
1944 kırık zonu	KAF ₁₆	0.9979	0.9948	0.9942	1.18
1944 kırık zonu	KAF ₁₇	0.9984	0.9993	0.9976	1.10
	KAF ₁₈	0.9942	0.9937	0.9946	1.09
	KAF ₁₉	0.9946	0.9888	0.9868	0.96
	KAF ₂₀	0.9947	0.9946	0.9933	0.98
	KAF ₂₁	0.9924	0.9865	0.9784	1.04
1943 kırık zonu	KAF ₂₂	0.9965	0.9926	0.9959	0.92
	KAF ₂₃	0.9973	0.9974	0.9847	0.91
	KAF ₂₄	0.9974	0.9954	0.9917	0.90
	KAF ₂₅	0.9984	0.9977	0.9973	0.94
	KAF ₂₆	0.9966	0.9909	0.9852	0.98
	KAF ₂₇	0.9958	0.9911	0.9588	0.98
	KAF ₂₈	0.9975	0.9974	0.9878	1.00
	KAF ₂₉	0.9972	0.9986	0.9984	0.96
	KAF ₃₀	0.9965	0.9942	0.9997	0.99
1942 kırık zonu	KAF ₃₁	0.9950	0.9884	0.9943	1.40
1939 kırık zonu	KAF ₃₂	0.9990	0.9977	0.9997	1.19
	KAF ₃₃	0.9986	0.9966	0.9853	0.99
	KAF ₃₄	0.9981	0.9929	0.9846	1.00
	KAF ₃₅	0.9980	0.9957	0.9913	0.98
	KAF ₃₆	0.9980	0.9888	0.9870	1.00
	KAF ₃₇	0.9982	0.9909	0.9810	0.98
	KAF ₃₈	0.9998	0.9922	0.9801	1.06
	KAF ₃₉	0.9979	0.9983	0.9996	1.28
	KAF ₄₀	0.9968	0.9982	0.9998	1.17
1949 kırık zonu	KAF ₄₁	0.9987	0.9985	0.9978	1.08
	KAF ₄₂	0.9996	0.9954	0.998	1.20
	KAF ₄₃	0.9998	0.9848	0.9991	1.41

Tablo 4.4: SAFZ boyunca uygulanan kutu sayma yöntemleri sonucunda korelasyon katsayısı göz önüne alınarak her bir kutusal fay alanı için belirlenen fraktal boyut değerleri gösterilmektedir.

İncelenen Alan	Korelasyon Katsayısı Klasik	Korelasyon Katsayısı Free Box	Korelasyon Katsayısı Grid	Fraktal Boyut
SAF ₁	0.9987	0.9991	0.9960	0.98
SAF ₂	0.9976	0.9790	0.9928	0.98
SAF ₃	0.9982	0.9959	0.9916	1.18
SAF ₄	0.9970	0.9971	0.9952	1.19
SAF ₅	0.9970	0.9995	0.9967	1.16
SAF ₆	0.9970	0.9964	0.9978	1.29
SAF ₇	0.9996	0.9988	0.9993	0.96
SAF ₈	0.9985	0.9733	0.9892	1.16
SAF ₉	0.9994	0.9579	0.9932	1.14
SAF ₁₀	0.9996	0.9830	0.9905	1.09
SAF ₁₁	0.9972	0.9854	0.9979	1.11
SAF ₁₂	0.9997	0.9782	0.9869	1.27
SAF ₁₃	0.9934	0.9701	0.9945	1.27
SAF ₁₄	0.9973	0.9960	0.9913	0.97
SAF ₁₅	0.9970	0.9642	0.9936	0.99
SAF ₁₆	0.9947	0.9993	0.9943	1.27
SAF ₁₇	0.9949	0.9822	0.9509	1.18
SAF ₁₈	0.9949	0.968	0.9886	0.97
SAF ₁₉	0.9926	0.9605	0.9646	1.03
SAF ₂₀	0.9991	0.9306	0.9978	0.96
SAF ₂₁	0.9994	0.9978	0.9998	1.21
SAF ₂₂	0.9971	0.9843	0.9989	1.11
SAF ₂₃	0.9989	0.9968	0.9935	1.28
SAF ₂₄	0.9989	0.9977	0.9982	1.00
SAF ₂₅	0.9987	0.9984	0.9948	1.03
SAF ₂₆	0.9987	0.9955	0.9708	1.13
SAF ₂₇	0.9973	0.9980	0.9991	1.14
SAF ₂₈	0.9964	0.9304	0.9895	1.01
SAF ₂₉	0.9997	0.9945	0.9955	1.06
SAF ₃₀	0.9965	0.9977	0.9969	0.94
SAF ₃₁	0.9995	0.9946	0.9623	1.08
SAF ₃₂	0.9952	0.9347	0.9938	1.00

Kuzey Anadolu Fay Zonu için ayrı ayrı hesaplanan 43 kutudan elde edilen fraktal boyut değerlerinden ortalama fraktal boyut (D_{ort}) hesaplanabilmektedir. Buna göre KAFZ boyunca hesaplanan ortalama fraktal boyut değeri $D_{ort}=1.08\pm 0.12$ 'dir.

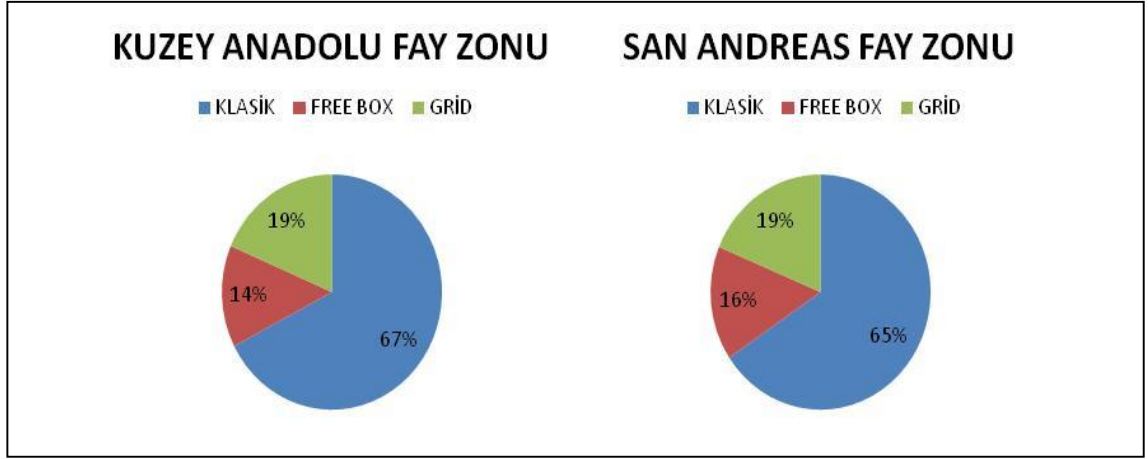
Belirlenen ortalama fraktal boyut değerine göre KAFZ için ortalamanın altında veya üstünde kalan alanlarda belirlenebilmektedir. Buna göre;

KAF₃, KAF₄, KAF₅, KAF₈, KAF₉, KAF₁₃, KAF₁₉, KAF₂₀, KAF₂₁, KAF₂₂, KAF₂₃, KAF₂₄, KAF₂₅, KAF₂₆, KAF₂₇, KAF₂₈, KAF₂₉, KAF₃₀, KAF₃₃, KAF₃₄, KAF₃₅, KAF₃₆, KAF₃₇, KAF₃₈ ile belirtilen kutusal alanlarda hesaplanan fraktal boyut değerleri ortalama fraktal boyut (D_{ort}) değerinin altında kalmaktadır. Geriye kalan kutusal alanlarda ise ortalamanın üstünde fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır.

Kuzey Anadolu Fay Zonunda olduğu gibi San Andreas Fay Zonu boyunca ortalama fraktal boyut değeri ise $D_{ort} = 1.09 \pm 0.1$ olarak elde edilmiştir. SAFZ için hesaplanan ortalama fraktal boyut değerinin altında veya üstünde kalan bölgeler ise şu şekildedir: SAF₁, SAF₂, SAF₇, SAF₁₄, SAF₁₅, SAF₁₈, SAF₁₉, SAF₂₀, SAF₂₄, SAF₂₅, SAF₂₈, SAF₂₉, SAF₃₀, SAF₃₁, SAF₃₂ ile belirtilen kutusal alanlarda hesaplanan fraktal boyut değerleri ortalamanın (D_{ort}) altında hesaplanmıştır. Geriye kalan bölgeler ise $D_{ort} = 1.09$ değerinin üzerinde fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır.

şekil 4.9'da çoklu yöntem uygulamasıyla hesaplanan fraktal boyut değerlerinin korelasyon katsayısına göre belirlenmesinden dolayı uygulanan yöntemlerden hangisinin tercih edildiği yüzdesel açıdan gösterilmektedir. Buna göre; Kuzey Anadolu Fay Zonu için yapılan kutu sayma yöntemlerinden %67 klasik uygulama, %33 modern uygulama (%14 Free Box, %19 Grid) sonucunda elde edilen fraktal boyut değerleri tercih edilmiştir. San Andreas Fay Zonu için uygulanan yöntemlerden % 65 klasik uygulama, %35 modern uygulama (%16 Free Box, %19 Grid) ile elde edilen fraktal boyut sonuçları dikkate alınmıştır.

Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca aktif fay verilerinin fraktal analizinin kutu sayma yöntemleriyle (klasik ve modern) incelenmesiyle fay zonları boyunca küçük kutusal fay alanlarındaki fay düzensizlikleri matematiksel açıdan boyutlandırılarak ifade edilmiştir. Elde edilen fraktal boyut değerleri iki fay zonu için 0.9 – 1.1, 1.1 – 1.3 ve 1.3 – 1.5 aralıklarında sınıflandırılarak Tablo 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.9: KAFZ ve SAFZ boyunca korelasyon katsayılarının karşılaştırılmasıyla hangi uygulama ile fraktal boyut değerlerinin belirlendiği yüzdesel olarak grafikte gösterilmektedir.

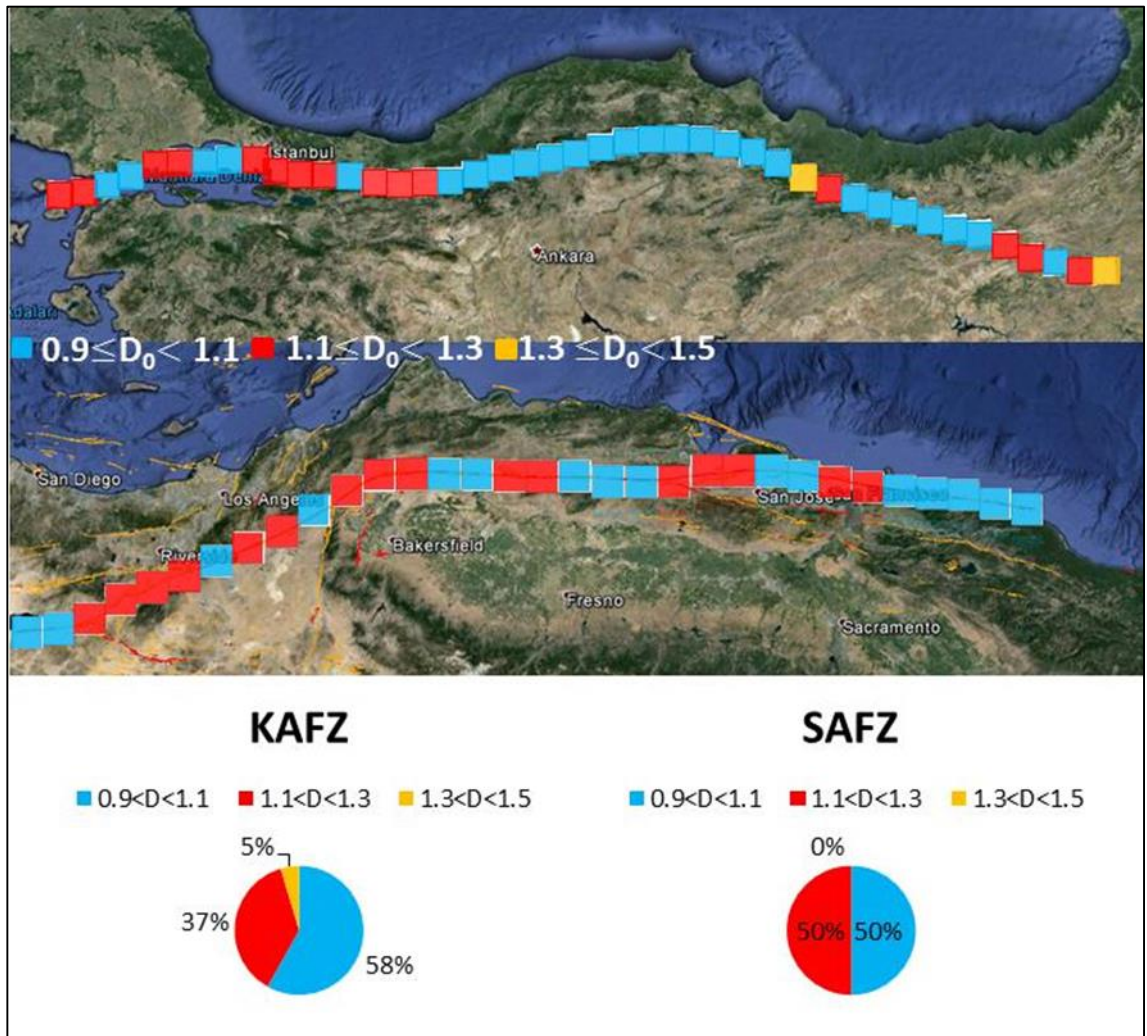
Tablo 4.5: Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonu boyunca elde edilen fraktal boyut değerlerinin gösterilmesi.

FRAKTAL BOYUT	KUZEY ANADOLU FAY ZONU	SAN ANDREAS FAY ZONU
$0.9 \leq D_0 < 1.1$	KAF ₃ , KAF ₄ , KAF ₇ , KAF ₈ , KAF ₁₃ , KAF ₁₇ , KAF ₁₈ , KAF ₁₉ , KAF ₂₀ , KAF ₂₁ , KAF ₂₂ , KAF ₂₃ , KAF ₂₄ , KAF ₂₅ , KAF ₂₆ , KAF ₂₇ , KAF ₂₈ , KAF ₂₉ , KAF ₃₀ , KAF ₃₃ , KAF ₃₄ , KAF ₃₅ , KAF ₃₆ , KAF ₃₇ , KAF ₃₈	SAF ₁ , SAF ₂ , SAF ₇ , SAF ₁₀ , SAF ₁₄ , SAF ₁₅ , SAF ₁₈ , SAF ₁₉ , SAF ₂₀ , SAF ₂₄ , SAF ₂₅ , SAF ₂₈ , SAF ₂₉ , SAF ₃₀ , SAF ₃₁ , SAF ₃₂
$1.1 \leq D_0 < 1.3$	KAF ₁ , KAF ₂ , KAF ₅ , KAF ₆ , KAF ₉ , KAF ₁₀ , KAF ₁₁ , KAF ₁₂ , KAF ₁₄ , KAF ₁₅ , KAF ₁₆ , KAF ₃₂ , KAF ₃₉ , KAF ₄₀ , KAF ₄₂ , KAF ₄₃	SAF ₃ , SAF ₄ , SAF ₅ , SAF ₆ , SAF ₈ , SAF ₉ , SAF ₁₁ , SAF ₁₂ , SAF ₁₃ , SAF ₁₆ , SAF ₁₇ , SAF ₂₁ , SAF ₂₂ , SAF ₂₃ , SAF ₂₆ , SAF ₂₇
$1.3 \leq D_0 < 1.5$	KAF ₃₁ , KAF ₄₁	

İki fay zonu kendi içinde ve birbiri arasında karşılaştırılarak benzerlik derecelendirilmesi yüzdesel olarak yapılabilmektedir. Buna göre Şekil 4.10'da gözüktüğü gibi kırmızı, mavi ve turuncu kutular şeklinde fraktal boyut değerlerine göre renklendirdiğimiz alanları ifade edilmektedir. Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay

Zonları boyunca incelenen alan için elde edilen fraktal boyut değerlerine göre yüksek fraktal boyut değerinin hesaplandığı bölgeler kırmızı veya turuncu ile düşük fraktal boyut değerlerinin elde edildiği bölgeler ise mavi renklerle gösterilmektedir. Böylece fay zonu içinde birbirine benzeyen alanlar da görülmektedir.

KAFZ boyunca fraktal boyut değerleri yüzdesel olarak % 58 1.1 - 1.3 aralığında % 37 0.9 - 1.1 aralığında ve %5 1.3 - 1.5 arasında bir dağılım göstermektedir. Fakat SAFZ boyunca fraktal boyut değerlerinin yüzdesel dağılımı %50 0.9 - 1.1 ve % 50 1.1 - 1.3 değerleri arasında dengeli olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10: KAFZ (üstte) ve SAFZ (altta) fraktal analiz sonucunda elde edilen fraktal boyut değerlerine göre benzer alanların gösterilmesi. KAFZ boyunca fraktal boyut değerleri % 58 (1.1-1.3), % 37 (0.9-1.1) ve %5 (1.3-1.5) arasında bir yüzdesel dağılım göstermektedir. Fakat SAFZ boyunca fraktal boyut değerlerinin yüzdesel dağılımı %50 olarak dengeli bulunmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyada fay verilerinin analizinde iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ana fay zonu boyunca tüm verilerin analizinden bütünsel düzensizliği bulmayı hedefler (örn., Okubo ve Aki (1987)). İkinci yaklaşım ise; ana fay çizgisi boyunca çizgisel fay verisinin özel fay düzensizliğini belirlemeyi hedefler (örn., Aviles ve diğ. (1987)). Tez çalışmasında Okubo ve Aki (1987) çalışmasındaki yaklaşım benimsenerek çalışma kapsamında kutular ana fay izi yaklaşık olarak kutunun merkezinden geçecek şekilde konumlandırılmış ve buna ek olarak belirlenen kutu boyutuna göre alana dahil olan tali fayların da düzensizliği çalışmaya katılmıştır. Böylece Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca bütünsel fay düzensizliğinin araştırılması yapılmıştır.

Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarında aktif fay verileri fraktal analiz yöntemlerinden kutu sayma yöntemi ile incelenmiştir. Çoklu yöntem yaklaşımıyla klasik (analog) ve modern (dijital) uygulama olacak şekilde iki türlü kutu sayma yöntemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü Analiz programı olan Fractalyse daha önce fay verilerine uygulanmamış olup, ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında kutu sayma yöntemi, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca 43 adet, San Andreas Fay zonu boyunca 32 adet kenar uzunlukları 30 kmx30 km sabit büyüklüklü bağımsız ve birbirini takip eden kutusal alanlar içine düşen aktif fay verilerinin analizinde kullanılmıştır. Toplamda KAFZ ve SAFZ için sırasıyla alansal olarak 38.700 ve 28.800 km², uzunluk olarak 1290 ve 960 km olacak şekilde ikiz fay sistemleri ilk defa bir tez çalışmasında eş zamanlı incelenmiştir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu için aktif fay verisi MTA Türkiye diri fay veri tabanında yer alan son 11.000 yıllık dönemde kırılarak harekete geçmiş diri fay verisi (Holosen Fay) ve son 100 yılda meydana gelen büyük depremlerle oluşan yüzey kırığı verilerinden derlenerek oluşturulmuş ve bu çalışmada kullanılmıştır. San Andreas Fay Zonu için ise en son hareketinin 150 yıldan daha az olduğu bilinen tarihsel ve 15.000 yıldan daha genç olan (Holosen'den Pleistosen'e kadar) aktif fay verileri derlenerek bu çalışmada kullanılmıştır.

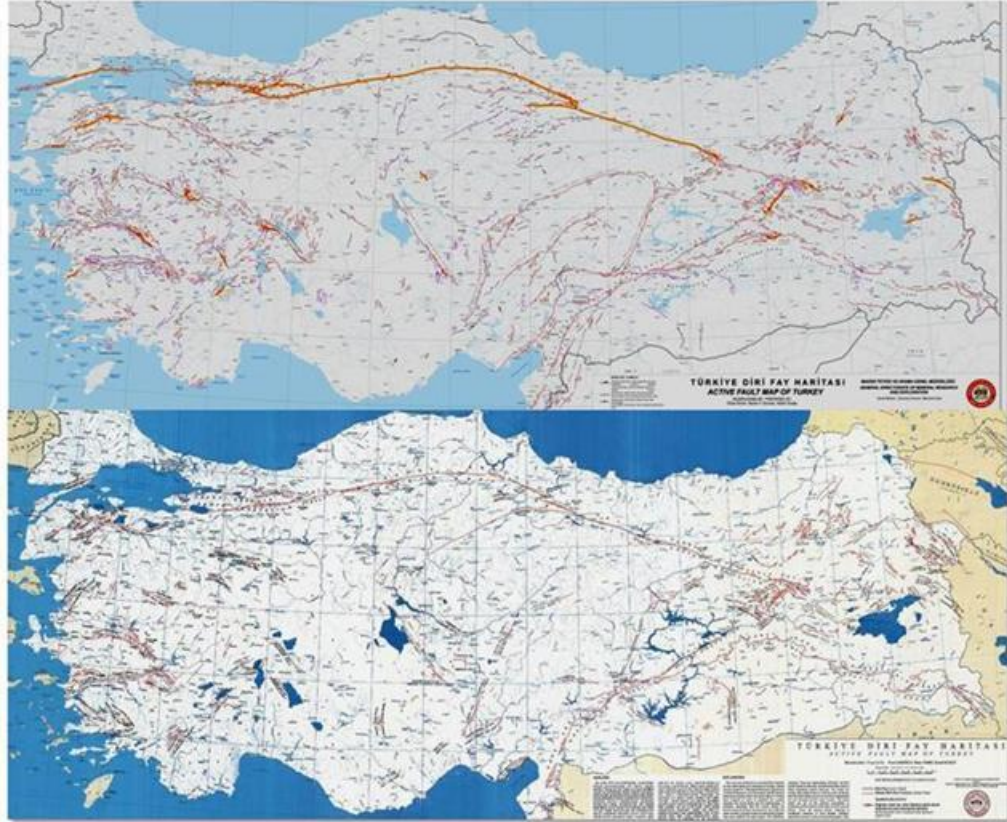
Kutu sayma yönteminin iki fay zonu için klasik ve modern uygulama şeklinde gerçekleştirilmesiyle farklı fraktal boyut değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlardan hangisinin tercih edileceği korelasyon analizi ile belirlenmiştir. İki uygulama içinde kutu sayma yönteminin temeli olan $\log N(r)$ - $\log r$ arasındaki ilişkinin gücü korelasyon analizi sonucunda korelasyon katsayıları hesaplanarak belirlenmiştir. En yüksek korelasyon katsayısı esas alınarak KAFZ ve SAFZ boyunca hesaplanan kutusal alanlar için fraktal boyut değerleri belirlenmiştir.

Öncel (1996) çalışmasında Türkiye'deki doğrultu atımlı fay zonlarının faylanma ve deprensellik özelliklerini fraktal analiz yöntemiyle incelemiştir. Fay dağılımlarından fraktal boyut değişimlerini hesaplarken kutu sayma yöntemini kullanmıştır. Çalışmasında kullanılan fay verisi 1:1000.000 ölçekli 1992 yılında basılmış Türkiye Diri Fay Haritasındaki kırıklardır (Şekil 5.1). Kutu sayma yöntemi Kuzey Anadolu Fay Zonunun 26.5° D ile 44.5° D arasındaki kısmına yatay uzunluğu 166.5 km olacak şekilde 12 kutusal alanda uygulanmıştır. Hesaplanan alanlar için fraktal boyut değerleri $0.93 < D < 1.53$ aralığında bulunmuştur.

Fraktal analiz çalışmasının hassasiyeti kullanılan verinin detayı ve hassasiyeti ile ilişkilidir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında ise kutu sayma yönteminin Kuzey Anadolu Fay Zonu'na uygulanırken Öncel (1996) çalışmasındaki aktif fay verisinden daha güncel ve detaylı olan 1:250.000 ölçekli 2012 Türkiye Diri Fay Haritası'nda yer alan aktif fay verileri kullanılmıştır.

Genel olarak 1992 ve 2012 yılları arasında yayınlanmış diri fay haritalarına Türkiye ölçeğinde bakıldığında önemli güncelleme yapıldığı ve bazı fayların yeni belirlendiği dikkat çekmektedir (Şekil 5.1). Kuzey Anadolu Fay Zonu ölçeğinde bakıldığında fay güncellemesinde fazla değişiklik olmadığı söylenebilir. Fakat 1912 ve 1999 depremlerinin meydana geldiği alanlarda ve Marmara Denizi tabanında fay çizgiselliklerinin eklendiği görülmektedir. Bu nedenle, eski (1992) ve güncellenmiş (2012) fay verileri boyunca daha küçük ölçekte detaylı çalışma bu tez çalışmasında yapılarak güncellenen fay verilerinin analiziyle fay zonu boyunca küçük kutusal fay alanları boyunca fay düzensizliği fraktal boyut ile ölçeklendirilerek yeni bir matematiksel veri sağlanmıştır.

Yöntem klasik ve modern uygulama olacak şekilde iki türlü gerçekleştirilirken Kuzey Anadolu Fay Zonu için kenar uzunluğu 30 km olan kutularla, toplamda 43 kutusal bölge analiz edilmiştir. Böylelikle Öncel (1996) analiz çalışmasına göre KAFZ daha detaylı şekilde incelenerek matematiksel açıdan boyutlandırılmıştır. Yaklaşık olarak 1300 km'lik fay çizgisi 30 km uzunluklu küçük inceleme alanlarıyla adım adım incelenmiştir. Kutu boyutunun 30 km olarak belirlenmesiyle Öncel(1996) çalışmasındaki kutu boyutundan neredeyse 1/5 oranında daha küçük bir ölçekte çalışılmıştır. Bir kenar uzunluğu 160 km olan ölçekli çalışmada ölçek 5 kat büyütülerek bir kenar uzunluğu 30 km'de yapılan çalışmada fraktal düzensizliğin belirlenmesi ölçekten bağımsız (scale independence) fay geometrisi davranışı olduğuna güzel bir örnektir. Çünkü daha büyük ölçekte gözlenen fraktal düzensizliğin daha küçük ölçekte devam ettiği bu çalışmada gösterilmektedir.



Şekil 5.1: 1992 (altta) ve 2012 (üstte) yıllarında yayınlanmış olan Türkiye Diri Fay haritaları.

Kuzey Anadolu Fay Zonu için en yüksek fraktal boyut değeri 1.41 olarak Karlıova ve çevresini kapsayan KAF_{43} , (43. kutu) elde edilmiştir. Fraktal boyutun Karlıova ve çevresinde en yüksek değerde gözlenmesi fay zonunun burada tek bir çizgiden ziyade

birçok fay parçasından meydana gelip, dallanma geometrisinin yoğun olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Karlıova, Doğu Anadolu Fay Zonu, Kuzey Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu gibi Anadolu Fay Zonlarının kesişme noktası olmasından dolayı üçlü bileşim alanı (triple-junction) olarak bilinmektedir. En düşük fraktal boyut değeri 0.9 olarak Tosya ve çevresini kapsayan KAF₂₄ (24. kutu) kutusal alanda elde edilmiştir. Tosya ve çevresinde fay tek bir çizgi halinde olduğundan bu bölgede en düşük fraktal boyut değeri hesaplanmıştır.

Yapılan analiz sonucunda Öncel (1996) çalışmasında olduğu gibi en yüksek fraktal boyut değeri olan 1.53 Karlıova bölgesinde hesaplanmıştır. Fraktal boyutun Karlıova'da en büyük değerde gözlenmesini bölgedeki deformasyonun büyük ve farklı tektonik rejimlerin etkisinde kalmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Öncel (1996) çalışmasında fraktal boyutun yüksek değerlerini şiddetli kırılma ve farklı doğrultulardaki fayların yoğun dağılımıyla, düşük değerlerini ise doğru şeklinde tek bir fayla ya da veri setinde tali fayların eksik olması ile ilişkilendirmiştir. Tez çalışması kapsamında fraktal boyut değerlerinin yüksek ve düşük hesaplandığı bölgelerin yapısal düzensizliğindeki bölgesel değişim özellikleri önceki çalışma ile uyumludur.

Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca fraktal boyut değerleri 0.9 - 1.41 aralığında hesaplanmıştır. Fay zonu boyunca ortalama fraktal boyut değeri ise $D_{KAF}=1.08\pm 0.12$ olarak belirlenmiştir.

Okubo ve Aki (1987) San Andreas Fay üzerindeki yapmış oldukları çalışma ile fraktal kavramını kullanarak fay sisteminin karmaşıklığının fraktal boyutunu hesaplamışlardır. Çalışmalarında fraktal analiz yöntemlerinden azalan cetvel yöntemini kullanarak fay uzunluğu ölçümünden fraktal boyut değerlendirmesi yapmışlardır. Fay zonunu 6 eşit uzunluklu ve genişliği 30 km olan bölümlere ayırarak Salton Denizi- Parkfield arasındaki bölüme odaklanmışlardır. Fay verisi olarak 1:750.000 ölçekli ana fay izinden yaklaşık olarak 30 km çapındaki bölgeyi kullanmışlardır. Fay sistemi için genel olarak fraktal boyut değerini 1.30 olarak hesaplamışlardır.

Aviles ve diğ. (1987) yaptıkları çalışmada San Andreas fayı boyunca belirledikleri karakteristik segmentlerde fayın düzensizliğinin değişimini belirlemek için fraktal geometriden yararlanmışlardır. Azalan cetvel uzunluğu yöntemini kullanarak fay

uzunluğu ölçümünden fraktal boyut değerlerini hesaplamışlardır. Çalışma alanında fay çizgisini sismik davranışlarına göre karakterize ederek altı bölüme ayırarak inceleme yapmışlardır. Okubo ve Aki (1987)'den farklı olarak sadece ana fay izinin düzensizliğindeki değişimi karakterize etmişlerdir. San Andreas Fayı için D fraktal boyut değişimleri farklı segmentlerde 1.008 - 1.0199 aralığında elde edilmiştir. Ayrıca D'deki önemli değişimlerin segmentlerdeki doğrultu boyunca fayların pürüzlülüğündeki değişimin sonucu olarak heterojen yapıyla ilişkilendirmişlerdir. Farklı zonlarda fraktal boyut değişkenliği jeolojik heterojenite ile ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada ise San Andreas Fay Zonundaki fay geometrisinin düzensizliği Okubo ve Aki (1987) ile Aviles ve diğ. (1987) çalışmalarında kullanmış oldukları yöntemlerden farklı olarak fraktal analiz yöntemlerinden biri olan kutu sayma yöntemiyle incelenmiştir. Kutu sayma yöntemi gerçekleştirilirken Okubo ve Aki (1987) ile Aviles ve diğ. (1987) çalışmalarında kullanmış oldukları verilerden daha güncel olan 1:250.000 ölçekli aktif fay verileri kullanılmıştır.

Amerikan Jeoloji Servisi (USGS) internet sitesinde Google Earth .kmz formatında yer alan, en son hareket durumlarına göre sınıflandırılan fay verilerinden 150 yıldan ve 15.000 yıldan daha az olacak şekilde sınıflandırılan iki fay grubunun derlenmesiyle çalışmada kullanılan aktif fay veri seti oluşturulmuştur. Fay zonu boyunca kutu boyutu 30kmx30km ($A=900 \text{ km}^2$) belirlenerek toplamda 32 kutu ile Salton Denizi'nden başlayarak Kuzey kıyı bölümüne kadar olan bölge adım adım analiz edilmiş ve her kutu alan için fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır.

Okubo ve Aki (1987) çalışmalarında San Andreas Fay Zonu kenar uzunlukları 100 km olan 6 dikdörtgen bölge olarak incelenirken, bu çalışmada ise ölçek 3 kat büyütülerek kenar uzunluğu 30 km seçilmiş, inceleme bölgesi de yaklaşık olarak 5 kat artırılarak toplamda 32 kutusal bölge için güncellenen son veri üzerinden inceleme yapılmıştır. San Andreas Fay Zonunda daha önce yapılan Okubo ve Aki (1987) ile Aviles ve diğ. (1987) çalışmalarına göre bu çalışmada SAFZ daha detaylı incelenmiştir. Ayrıca kutu sayma yöntemi klasik ve modern olacak şekilde iki yaklaşımla uygulanmıştır.

San Andreas Fay Zonu için fraktal boyut 0.94-1.29 değerleri arasında hesaplanmıştır. En yüksek değer olan 1.29 San Bernardino Dağı (SAF₆) bölümünde hesaplanmıştır. Bu bölgede yüksek değer elde edilmesi fayın parçalı ve düzensiz geometriye sahip

olmasıyla ilişkilidir. En düşük fraktal boyut değeri 0.94 ise Kuzey Kıyı (SAF₃₀) bölümünde gözlenmiştir. Bu bölgede ise fay çizgisel ve basit geometriye sahiptir.

San Andreas Fay Zonu için fraktal boyut 0.94 - 1.29 değerleri arasında hesaplanmıştır. Fay zonu boyunca ortalama fraktal boyut değeri ise $D_{SAF}=1.09\pm 0.1$ olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında fraktal analiz yöntemiyle ikiz fay sistemleri olarak bilinen Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonlarındaki aktif fay verileri analiz edilerek incelenmiş ve ikiz fay zonlarında benzerliğe matematiksel bir boyutla yeni veri sağlanmıştır.

İki fay zonunun karşılaştırılması ve benzerlik derecelendirilmesi yapılacak olursa iki sisteminde de dallanmanın veya tali fayların görüldüğü fay deformasyon alanının genişlediği yerlerde daha yüksek fraktal boyut değerleri elde edilmiştir. Fay çizgisinin tek bir doğru şekline yakın, fay deformasyon alanının incelenerek ilerlediği bölgelerde ise daha düşük fraktal boyut değerlerinin hesaplandığı şekilden de açıkça görülmektedir.

İki fay zonu boyunca bulunan fraktal boyut değerlerinin ortalama olarak birbirine yakın elde edilmesi fay zonlarının bütünsel ölçekte bakıldığında benzer olduğunu gösterdiği söylenebilir.

Tez çalışması kapsamında mevcut veriler ışığında gerçekleştirilmiş olup, veri kalitesi iyileştikçe sonuçların bir miktar değişebileceği göz önüne alınmalıdır. Ayrıca iki fay zonu boyunca fraktal boyut değerlerinin görece değişimleri belirlenmiştir. Tüm çalışmalar dikkate alındığında bu çalışmanın devamı olarak ileride yapılacak çalışmalarda fay düzensizliğinin fraktal boyut değişimleri diğer çalışma alanları olan tarihsel depremler, litolojik değişimler, jeotermal kaynakların ve maden potansiyeli olan alanların araştırılması, plaka hız değişimleri ve deprem kümelenmeleri gibi konularla da ilişkisi araştırılabilir. İlave olarak Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca ana fay çizgisinin geometrik fay düzensizliğindeki değişimin ilerideki çalışmalarda belirlenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçiçek, E., Bayırlı, M., Demirci, N., 2007, Aşılı ve aşısız kestane (*Castanea sativa* Mill.) yapraklarının fraktal boyut analizi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 72-77.
- Aki, K., 1981, A probabilistic synthesis of precursory phenomena in Earthquake Prediction, *American Geophysical Union*, 4, 566-574.
- Allen, C., 1968, The tectonic environments of seismically active and inactive areas along San Andreas fault system, *Geological Sciences*, 11, 70-80.
- Allen, C., 1982, Comparisons Between the North Anatolian Fault of Turkey and the San Andreas Fault of California, *Progress in Earthquake Prediction Research*, 2, 67-85.
- Babadağlı, T., Develi, K., 2001. On the application of methods used to calculate the fractal dimension of fracture surfaces, *Fractals*, 09, 105.
- Barka, A., 1992, The North Anatolian Fault Zone, *Annales Tectonicae*, VI, 164-195.
- Barton, C. C., Larsen, E., 1985, Fractal Geometry of Two-Dimensional Fracture Networks at Yucca Mountain, Southwestern Nevada, *Fundamentals of rock Joints: Proceedings of the International Symposium on Fundamentals of Rock Joints*, 77-84.
- Bayrak, E., 2012, *Batı Anadolu Bölgesinin Deprem Tehlikesinin Farklı Yöntemler Kullanılarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Benli, F. B., Akbulut, B., 2009, Matematiğin Doğadaki Sanatı: Fraktallar, 12-14 Kasım 2009, Ankara, Matematikçiler Derneği 8. Matematik Sempozyumu.
- Ben-Zion, Y., Sammis, C. C., 2003, Characterization of fault zones, *Pure and Applied Geophysics*, 677-715.
- Bhattacharya, P. M., Majumdar, R. K., Kayal, J. R., Fractal Dimension and b_value mapping in northeast India, Research Communications, *Current Science*, 82, 12, 1486-1491.
- Bourchtein, A., Bourchtein, L., Naoumova, N., 2014, On Fractal Complexity of built and Natural Landscapes, *Computational Science and Its Applications*, 8580, 437-452.
- Bourke, P., 2014, *Box Counting Fractal Dimension of Volumetric Data*, <http://paulbourke.net/fractals/cubecount/>, [Ziyaret tarihi: 9 Nisan 2015].

- Cowie, P. A., Sornette, D., Vanneste, C., 1995, Multifractal scaling properties of growing fault population, *Geophysical Journal International*, 122 (2), 457-469.
- Demirtaş, R., 2015, *Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) Diri Fayları, Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri*, https://www.academia.edu/8826832/Kuzeyanadolu_fay_sistemi_kafsdiri_faylari_paleosismolojik_calismalar_ve_gelecek_deprem_potansiyeleri, [Ziyaret tarihi: 5 Kasım 2015].
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Gülmez Karakaya, F., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Çan, T., Şaroğlu, F., 2013, Türkiye Diri Fayları Veri Tabanı, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 11-13 Kasım 2013 Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013, *1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası*, 1:1.125.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- Erzan, A., 1998, Doğada Fraktallar, *Bilim ve Teknik*, 31, 365.
- Feder, J., 1988, *Fractals*, Plenum Press, New York, 283.
- Fractalyse Analysis Software, <http://www.fractalyse.org>, [Ziyaret tarihi: 1 Eylül 2015].
- Frankhauser P., Pumain, D., 2007, *Fractals and geography, Models in Spatial Analysis (Geographical information systems series)*,
- Gleick, J., 2003, *Kaos, Tübitak Yayınları*, Ankara, ISBN 975-403-029-4.
- Gonzato, G., 1998, A practical implementation of the box counting algorithm, *Computers&Geosciences*, 24, 1, 95-100.
- Gonzato, G., Mulargia, F., Marzocchi, W., 1998, *Geophysical Journal International*, 132, 275-282.
- Herece, E., Akay, E., 2003, 1:100.000, *Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Atlası*, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- Hirata, T., 1989a, Fractal Dimension of Fault System in Japan: Fractal Structure in Rock Fracture Geometry at Various Scales, *Pure and Applied Geophysics*, 131, 157-170.
- Hirata, T., 1989b, A Correlation Between the b Value and the Fractal Dimension of Earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 94, B6, 7507-7514.
- Huang, J., Turcotte, D. L., 1990, Are earthquakes an example of deterministic chaos?, *Geophysical Research Letters*, 17, 223-226.
- Jaya, V., Raghukanth, S. T. G., Sonika Mohan, S., 2014, Estimating fractal dimension of lineaments using box counting method for Indian landmass, *Geocarto International*, 29, 3, 314-331.

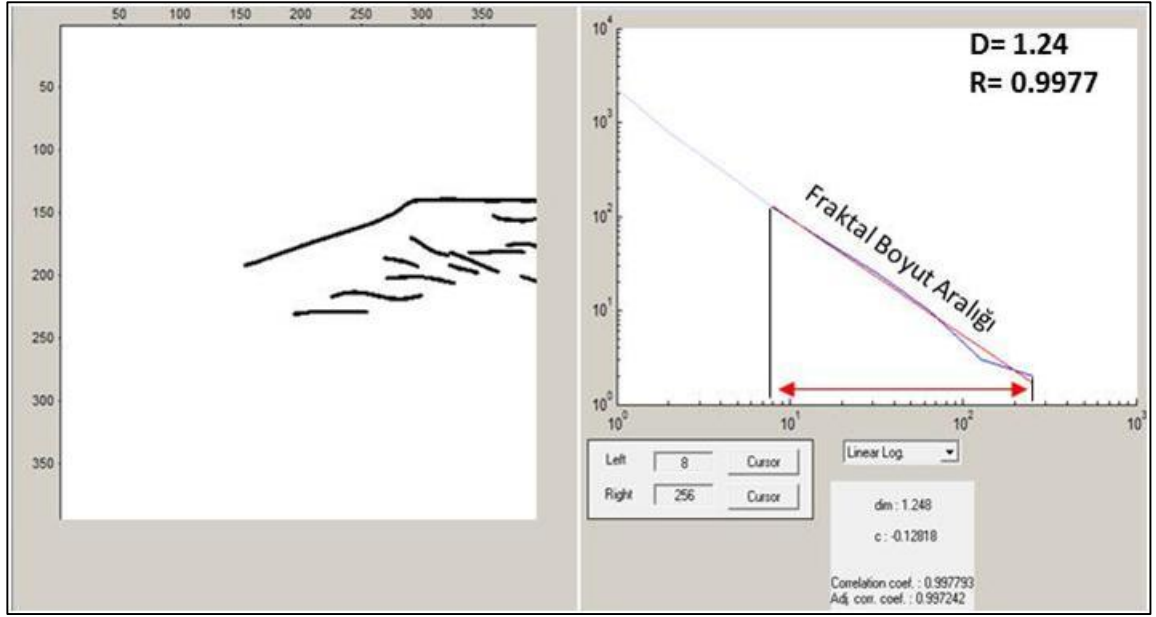
- Kagan, Y. Y., Knopoff, L., 1980, Spatial distribution of earthquakes: the two correlation function, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 62: 303-320.
- Ketin, İ., 1969, Kuzey Anadolu Fayı Hakkında, *Mineral Research and Exploration Bulletin*, 72, 1-28.
- Ketin, İ., 1976, San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19: 149-54.
- King, G., 1983, The accommodation of large strains in the upper lithosphere of the earth and other solids by self-similar fault systems: the geometrical origin of b-value, *Pure and Applied Geophysics*, 121, 761-815.
- Korelasyon Analizi, http://fbe.beun.edu.tr/fbe/images/ins729/sunu_6ci_hafta.pdf, [Ziyaret tarihi: 28 Kasım 2015].
- Lei, X., Kusunose, K., 1999, Fractal structure and characteristic scale in the distribution of earthquake epicenters, active faults and rivers in Japan, *Geophysic. J. Int.*, 139, 754-762.
- Ma R., Gu, C., Pu, Y., Ma, X., 2008, Mining the Urban Sprawl Pattern: A Case Study on Sunan, China, *Sensors*, 8(10), 6371-6395.
- Mandelbrot, B. B., 1967, How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, 156, 636-638.
- Mandelbrot, B. B., 1983, *The fractal geometry of nature*, W.H. Freeman and Company, New York, 468.
- Mandelbrot, B. B., Blumen, A., 1989, Fractal Geometry: what is it, and what does it do?, *Proc. R. Soc. Lond.*, A 423, 3-16.
- Matsumoto, N., Yomogida, K., Honda, S., 1992, Fractal Analysis of Fault systems in Japan and The Philippines, *Geophysical Research Letters*, 19, 4, 257-360.
- Nanjo K., Nagahama, H., Satomura, M., 1998, Rates of aftershock and the fractal structure active fault systems, *Tectonophysics*, 287, 173-186.
- Nanjo, K., Nagahama, H., 2000, Spatial distributions aftershocks and fractal structure of active fault systems, *Pure and Applied Geophysics*, 157, 575-588.
- Okubo, P. G., Aki, K., 1987, Fractal Geometry in the San Andreas Fault System, *Journal of Geophysical Research*, 92, B1, 345-355.
- Öncel, A. O., Alptekin, Ö., 1995, Fraktal Kavramı ve Sismolojideki Uygulamaları, *Jeofizik*, 9(10), 311-316.
- Öncel, A. O., Yüksel, F. A., Alptekin, Ö., Khalili, I., 1995, A Preliminary Fractal Analysis of Faulting in the Zagros Thrust Belt, *Proceedings: Second International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, May 15-17 Tehran, Islamic Republic of Iran*.

- Öncel, A. O., 1996, *Fraktal Analiz ile Türkiye'deki Doğrultu Atımlı Fayların Yapısal ve Sismolojik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öncel, A.O., Main, I., Alptekin, Ö., Cowie, P., 1996, Spatial variations of the fractal properties of seismicity in the Anatolian fault zones, *Tectonophysics*, 257, 189-202.
- Öncel, A.O., Wilson, T.H., Nishizawa, O., 2001, Size scaling relationships in the active fault networks of Japan and their correlation with Gutenberg-Richter b values, *Journal of Geophysical Research*, 106, B10, 21.827-21.841.
- Öncel, A. O., Wilson, T. H., 2002, Space-Time Correlations of Seismotectonic Parameters: Examples from Japan and from Turkey Preceding the Izmit Earthquake, *Bulletin of Seismological Society of America*, 92, 339-349.
- Öncel, A. O., Wilson, T. H., 2004, Correlation of seismotectonic variables and GPS strain measurements in western Turkey, *Journal of Geophysical Research*, 109, B11306.
- Öncel, A. O., Wilson, T. H., 2006, Evaluation of earthquake potential along the Northern Anatolian Fault Zone in the Marmara Sea using comparisons of GPS strain and seismotectonic parameters, *Tectonophysics*, 418, 205-218.
- Öncel, A. O., Wilson, T. H., 2007, Anomalous seismicity preceding the 1999 Izmit event, NW Turkey, *Journal of Geophysical Research*, 169, 259-270.
- Örsvuran, R., 2013, *Topoğrafyanın Fraktal Özellikleri*, Bitirme Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği.
- Özener, H., Doğru, A., Turgut, B., 2010, Quantifying aseismic creep on the Isetpasa segment of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by 6 years of GPS observations, *Journal of Geodynamics*, 67, 72-77.
- Öztürk, S., 2013, Türkiye Depremleri için Fraktal Dağılım Dc değeri ile Depremsellik Parametresi b değeri Arasındaki İlişki Üzerine İstatistiksel Bir Değerlendirme, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayını*, 3(1), 1-15.
- Ram, A., Roy, P. N. S., 2005, Fractal Dimensions of Blocks Using a Box-counting Technique for the 2001 Bhuj Earthquake, Gujarat, India, *Pure and Applied Geophysics*, 162 (2005) 531-548.
- Scholz, C. H., Ando, R., Shaw, B. E., 2010, The mechanics of first order splay faulting: The strike-slip case, *Journal of structural Geology*, 32, 118-126.
- Smalley, R. F., Chatelain, J. L., Turcotte, D. L., Prevot, R., 1987, A fractal approach to the clustering of earthquakes: Application to the seismicity of the New Hebrides, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77, 4, 1368-1381.
- Şaroğlu, F., 1988, Age and offset of the North Anatolian Fault, *Middle East Tech. Univ. J. Pure Appl. Sci.*, 31, 65-79.

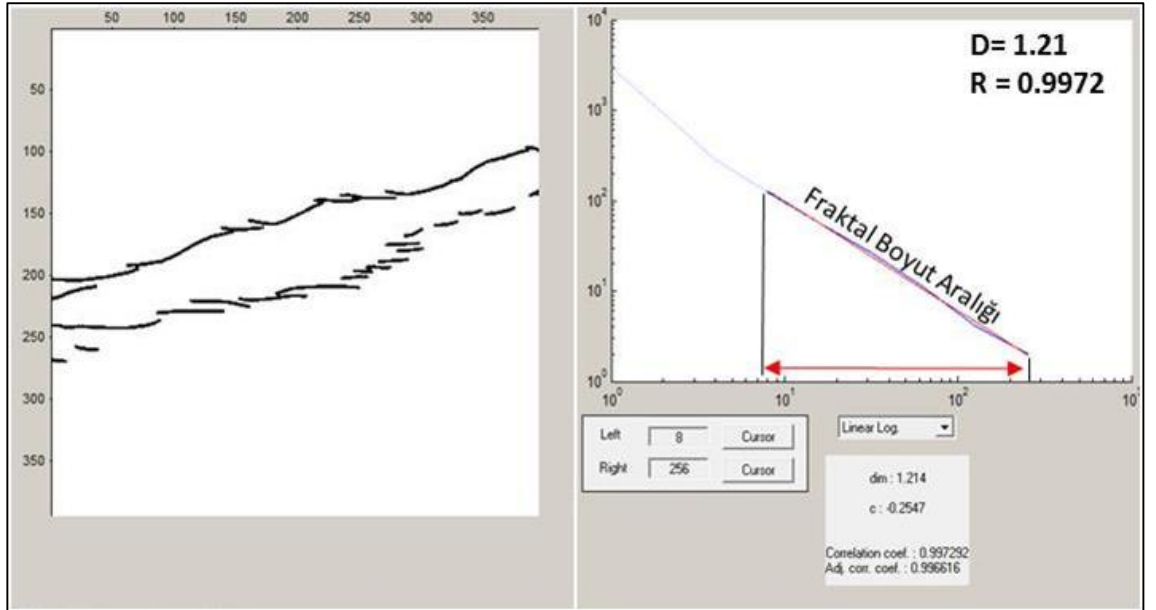
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992, *Türkiye Diri Fay Haritası*, 1:1.000.000, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şengör, A. M. C., 1979, The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance, *J. Geol. Soc.*, London, 136, 269-282.
- Tannier, C., Thomas, I., 2013, Defining and characterizing urban boundaries: A fractal analysis of theoretical cities and Belgian cities, *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 234-248.
- Thomas, I., Frankhauser, P., Badariotti, D., 2010, Comparing the fractality of European urban neighbourhoods: do national contexts matter?, *Journal of Geographical System*, 1-20.
- Tokay, M., 1973, Kuzey Anadolu Fay zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, *Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem*, 103-31.
- Turcotte, D. L., 1986, Fractals and fragmentation, *Journal of Geophysical Research*, 91, 1921-1926.
- Turcotte, D. L., 1989, Fractals in Geology and Geophysics, *Pageoph*, 131, Nos. 1/2.
- Turcotte, D. L., 1997, *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, 2nd edition, Cambridge University Press, New York, 0-521-56733-5.
- Ufuktepe, Ü., Aslan, İ., 2001, Fraktal Geometri'den Bir Kesit, *Matematik Dünyası*, C:11, S:1.
- Ural, M., Demireli, E., 2009, Hurst üstel katsayısı aracılığıyla fraktal yapı analizi ve İmkb'de bir uygulama, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23, 2.
- Ürey, H., 2006, *Fraktal Geometri ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- William, A. B., Ellen, F. S., 2008, *National Quaternary Fault and Fold Database Data Compilation for the State of California*, U. S. Geological Survey National Earthquake Hazards Reduction Program, Final Technical Report.
- Wilson, T. H., Dominic, J., 1998, Fractal Interrelationship Between Topography and structure, *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 509-525.
- Wilson, T. H., 2001, Scale Transitions in Fracture and Active Fault Networks, *Mathematical Geology*, 33, 5.
- Wyss, M., Sammis, C. G., Nadeau, R. M., Wiemer, S., 2004, Fractal Dimension and b-Value on Creeping and Locked Patched of the San Andreas Fault near Parkfield, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 2, 410-421.
- Yılmaz, D., 2013, *Doğanın Fraktal Geometrisi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

EKLER

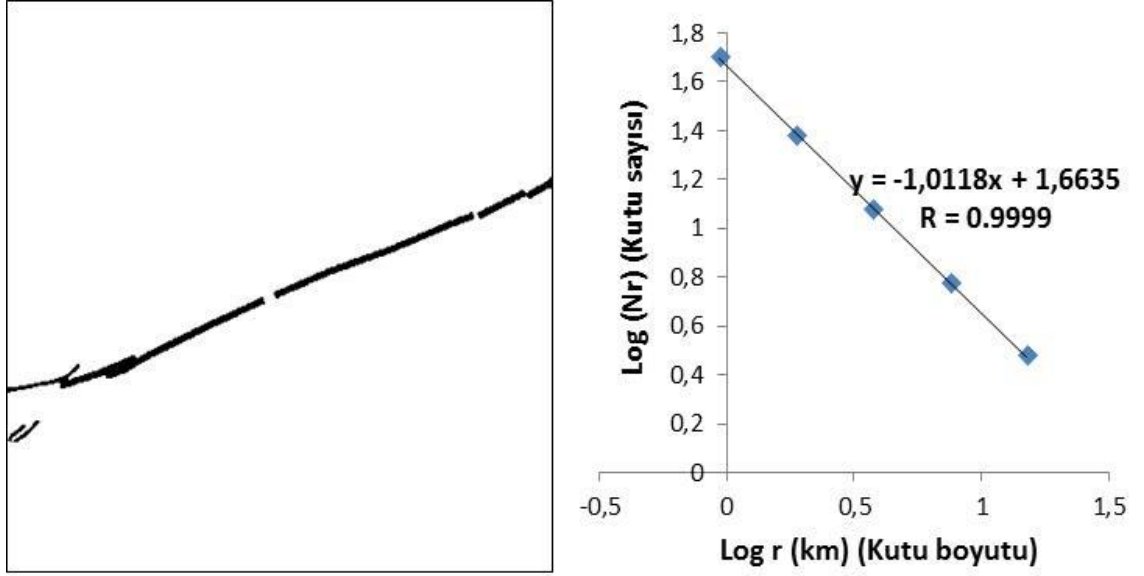
EK A: KUZEY ANADOLU FAY ZONUNDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ



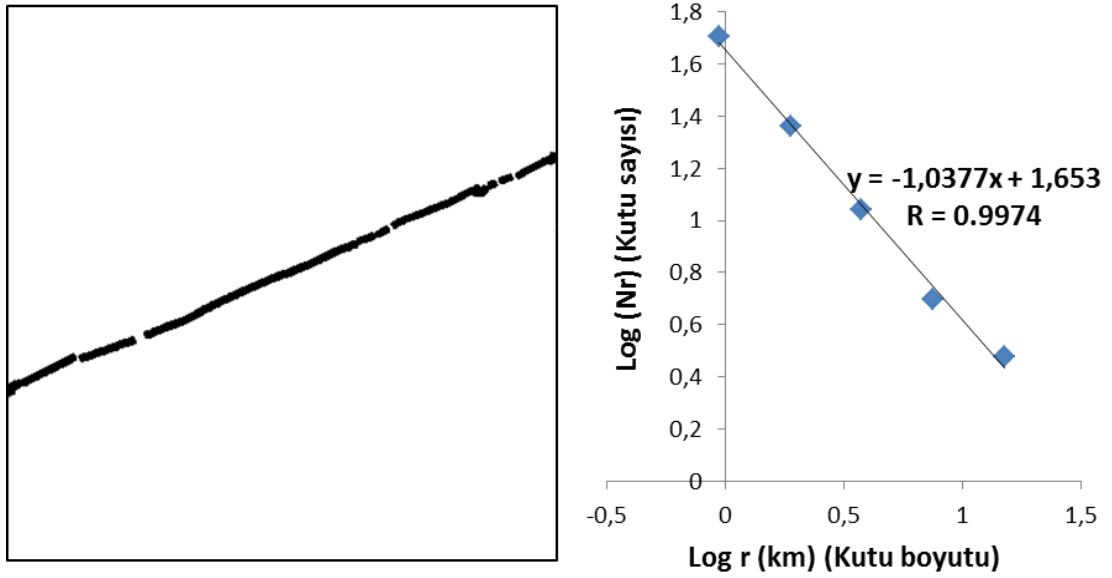
Şekil A.1: KAF₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



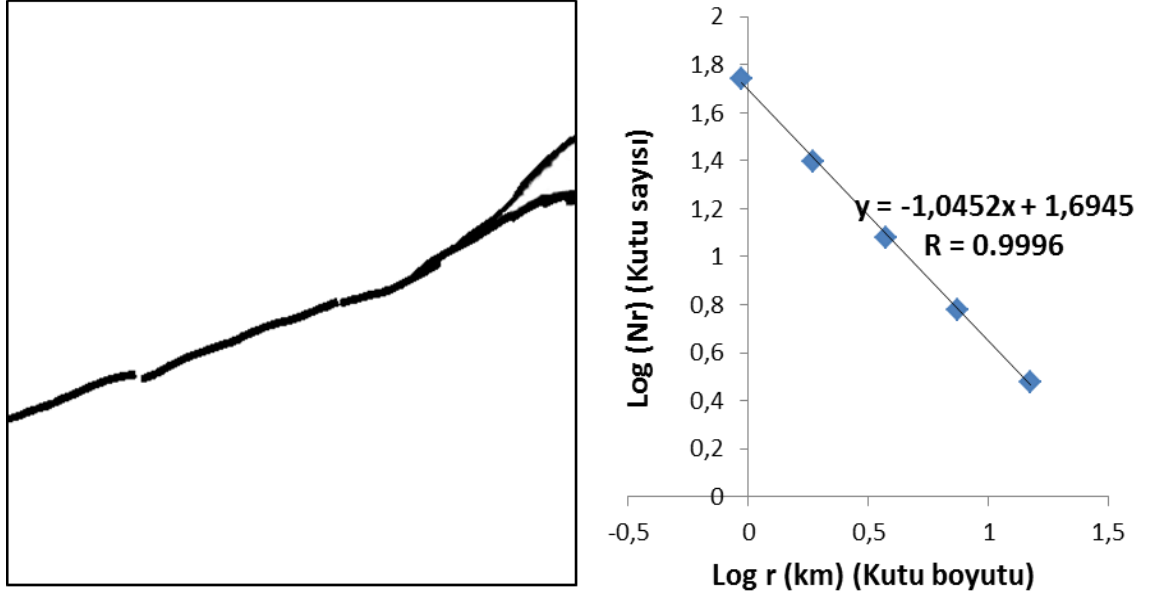
Şekil A.2: KAF₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



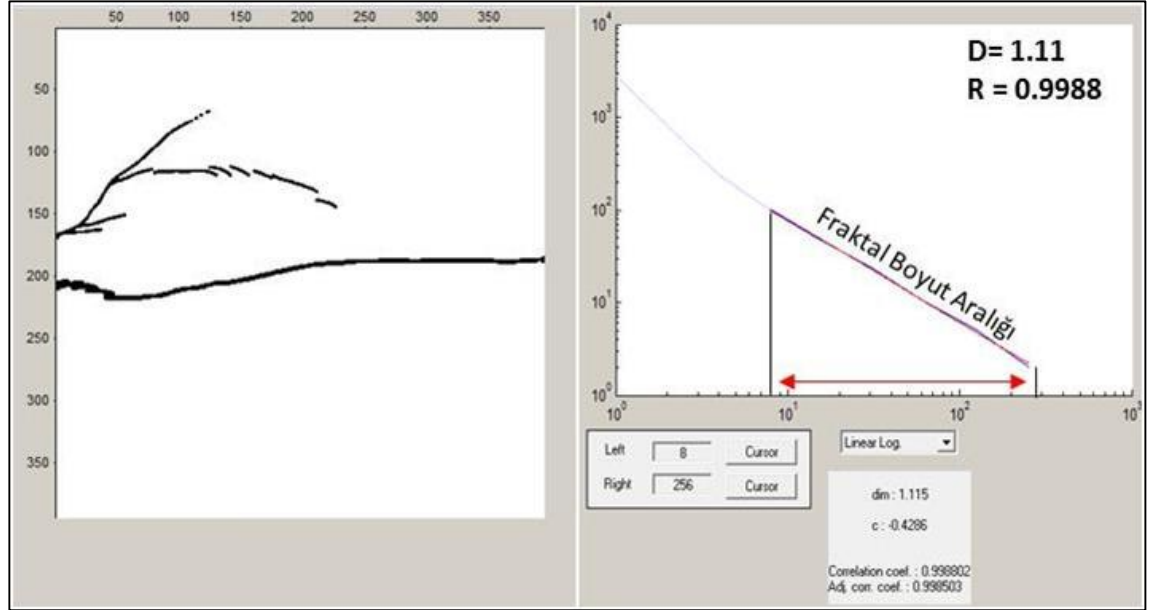
Şekil A. 3: KAF₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



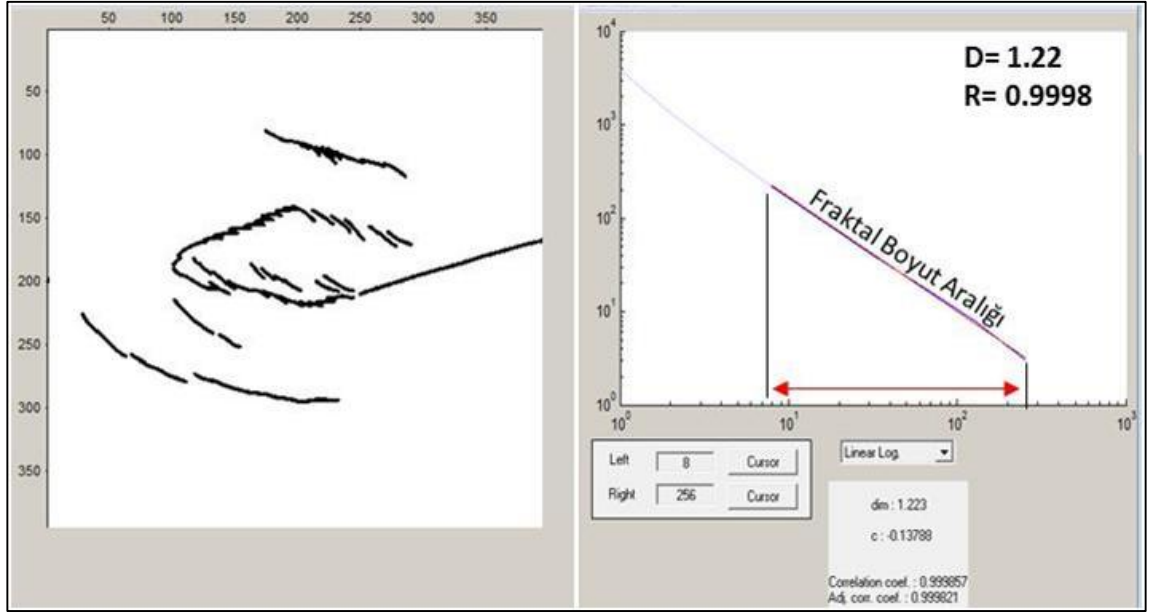
Şekil A.4: KAF₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



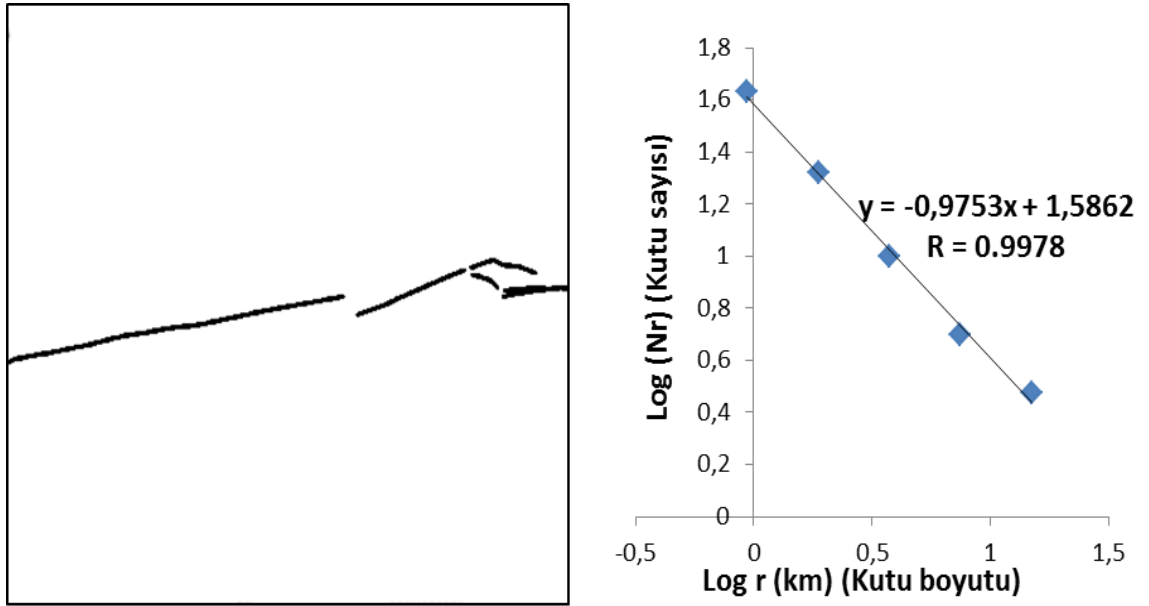
Şekil A.5: KAF₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



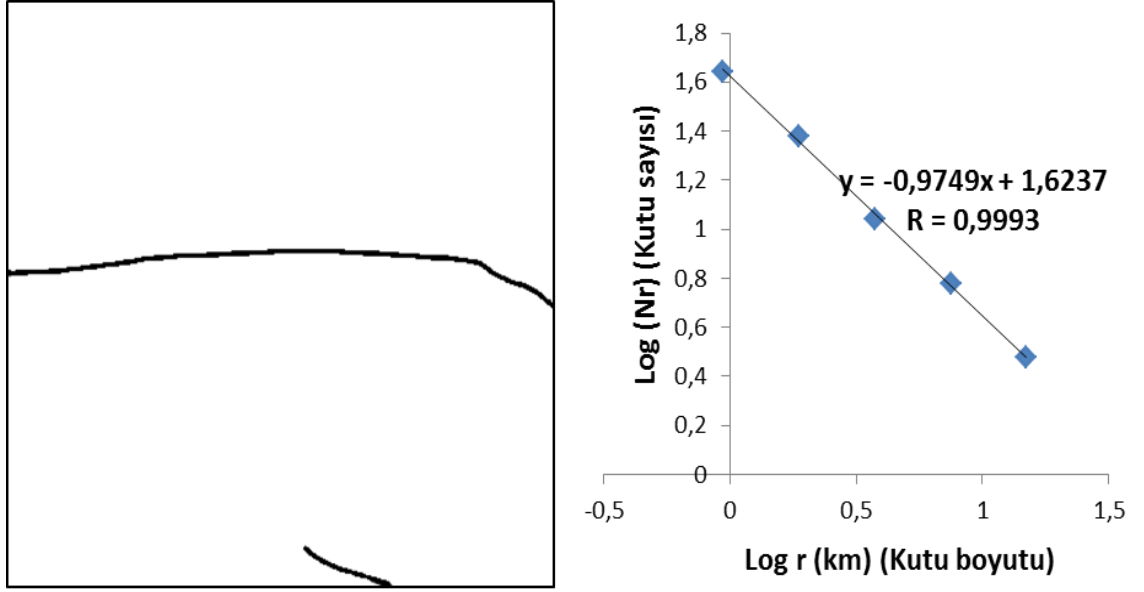
Şekil A.6: KAF₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



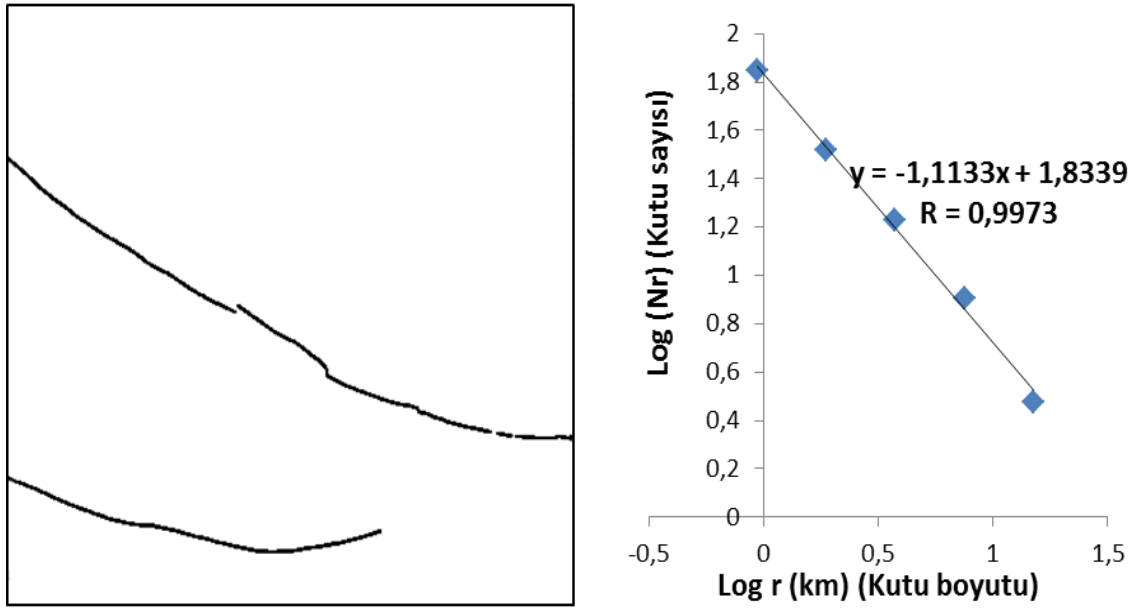
Şekil A.7: KAF₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



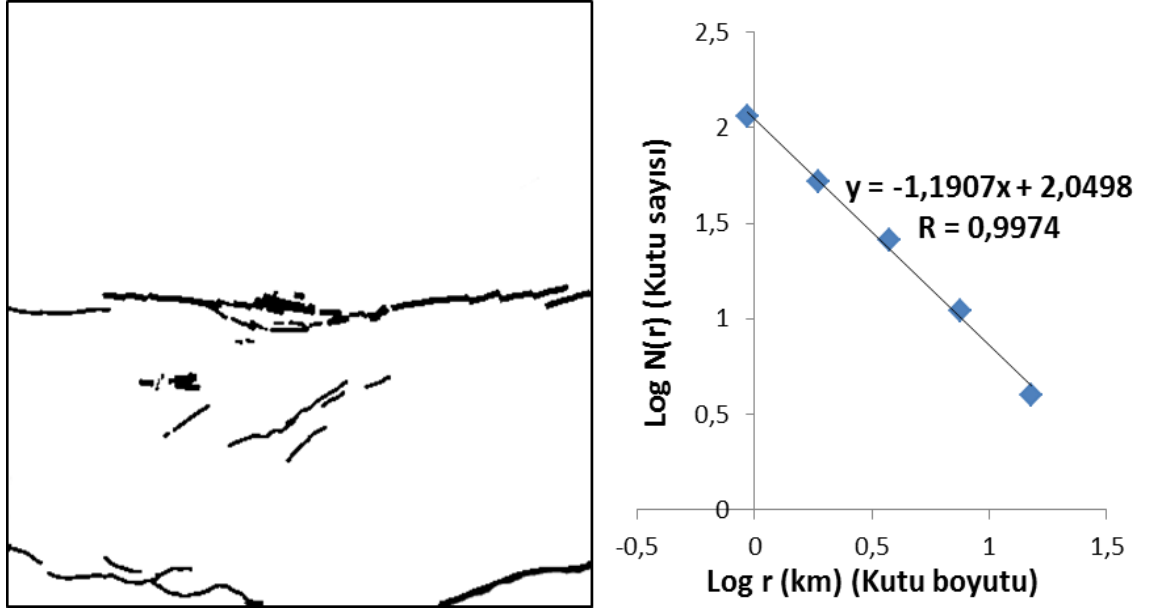
Şekil A.8: KAF₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



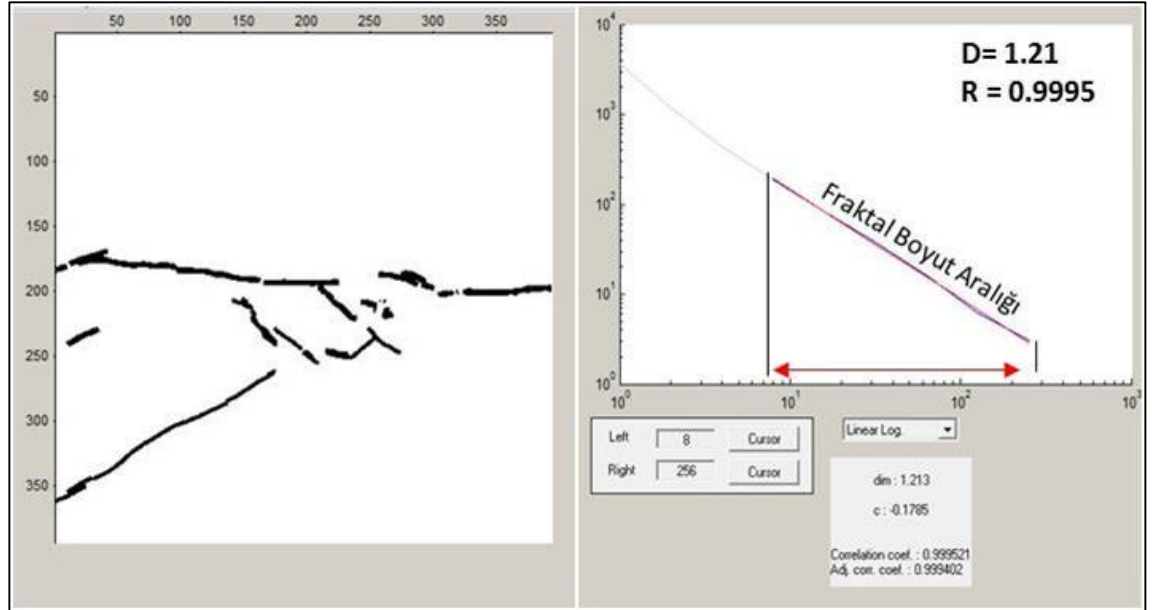
Şekil A.9: KAF₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



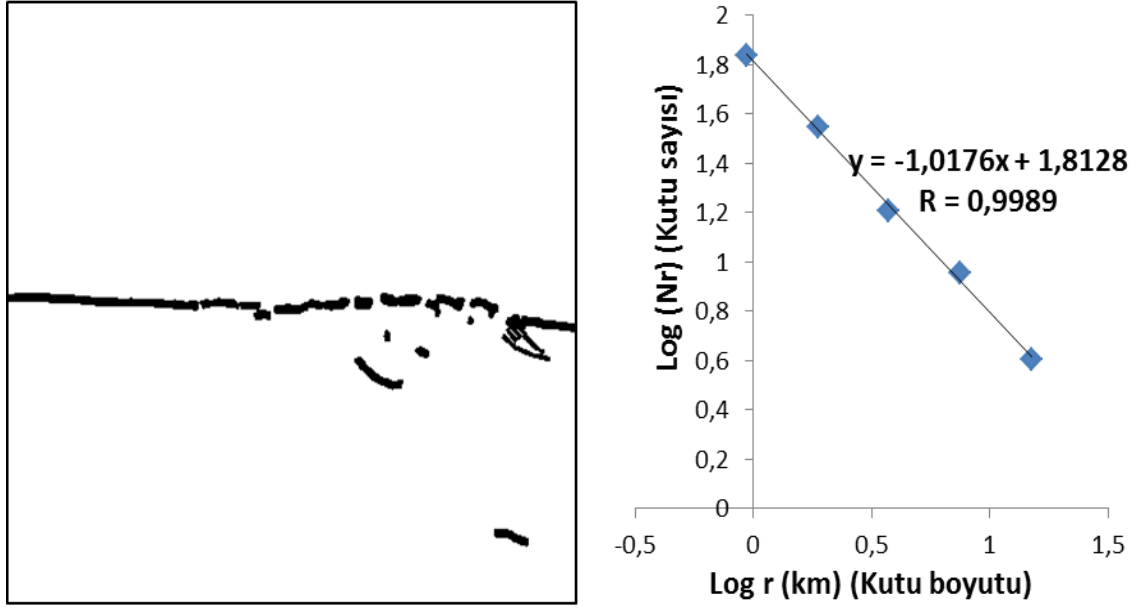
Şekil A.10: KAF₁₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



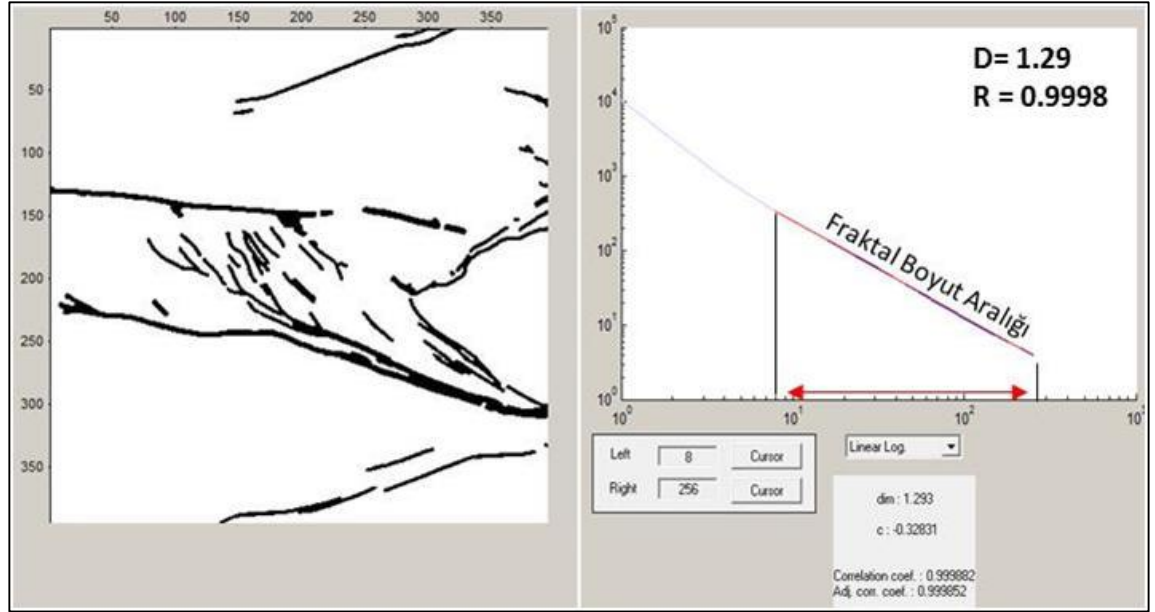
Şekil A.11: KAF₁₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



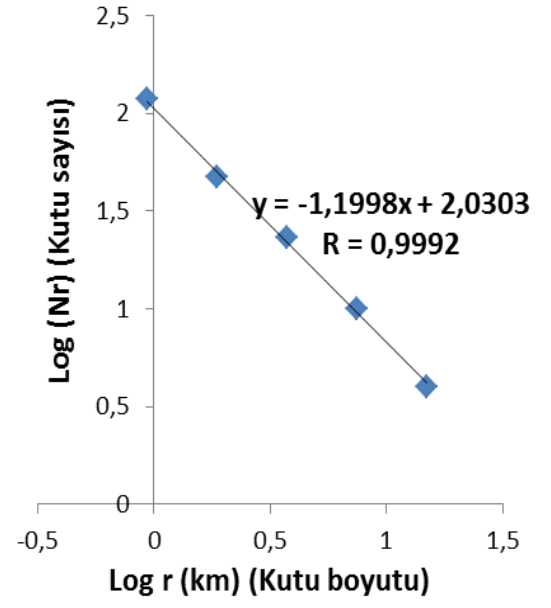
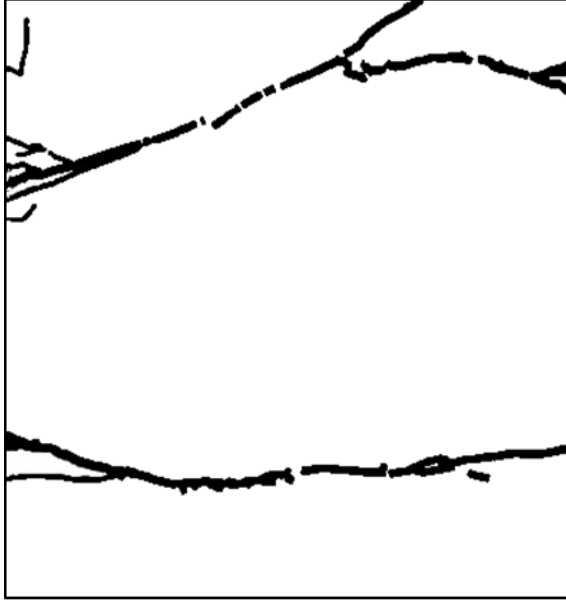
Şekil A.12: KAF₁₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



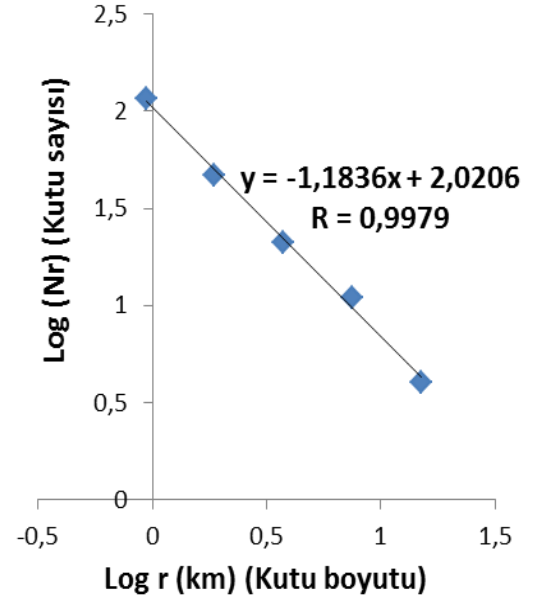
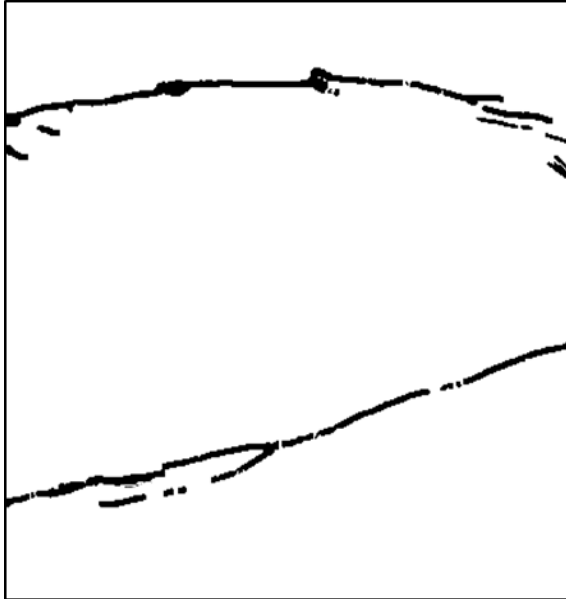
Şekil A.13: KAF₁₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



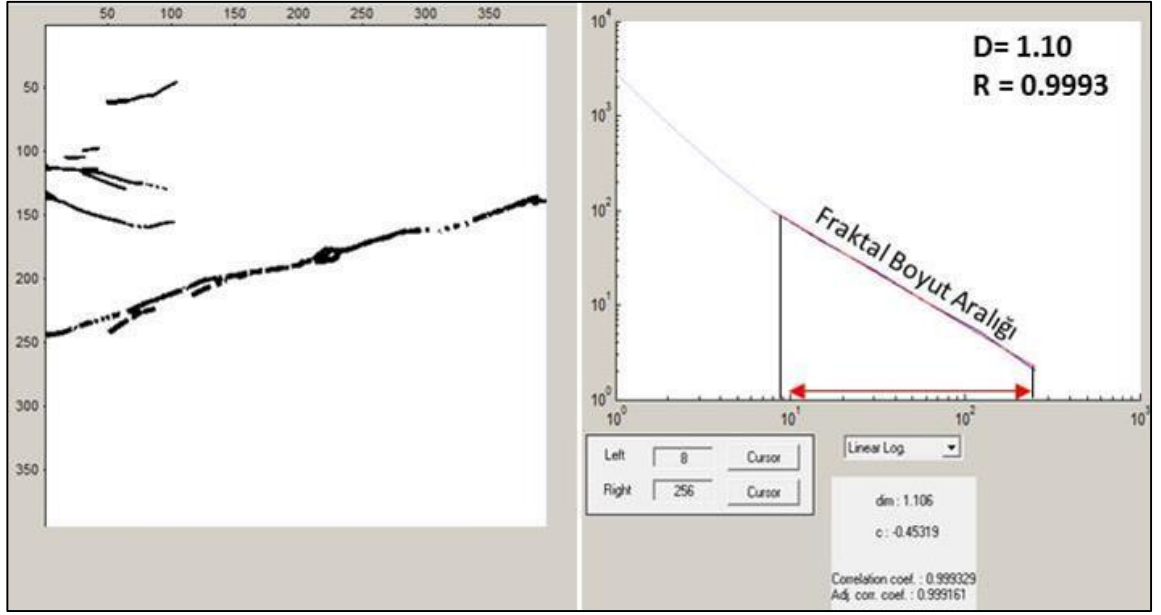
Şekil A.14: KAF₁₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



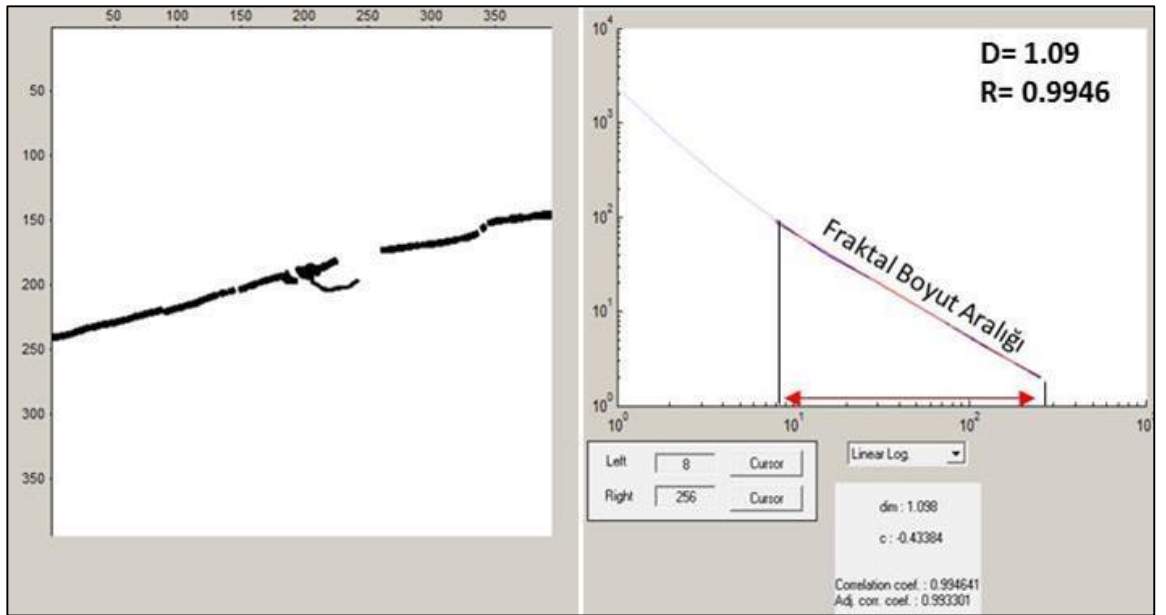
Şekil A.15: KAF₁₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



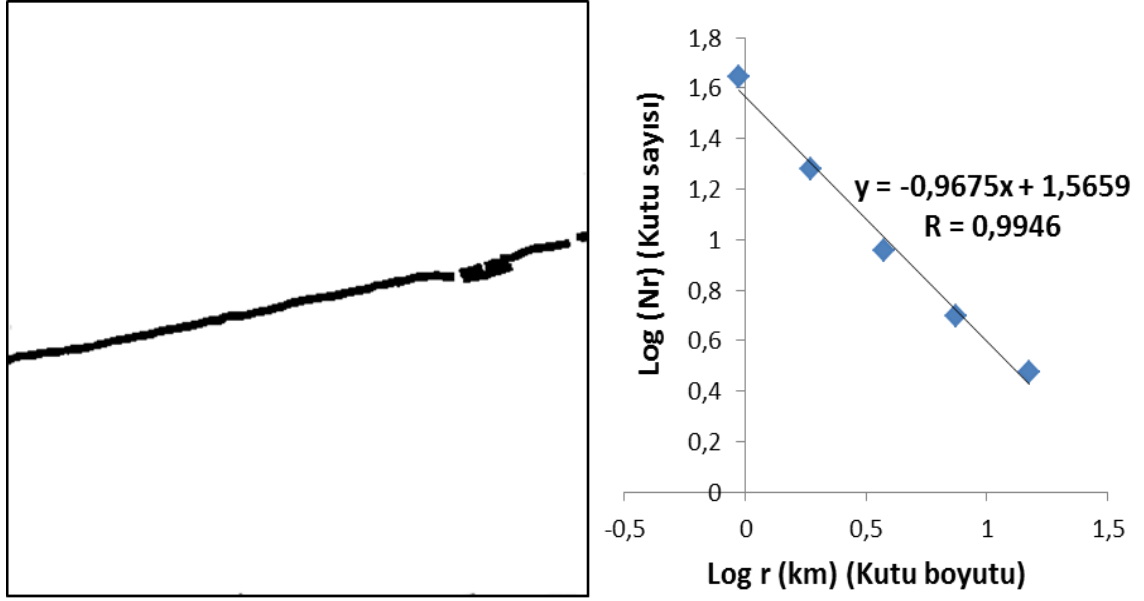
Şekil A.16: KAF₁₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



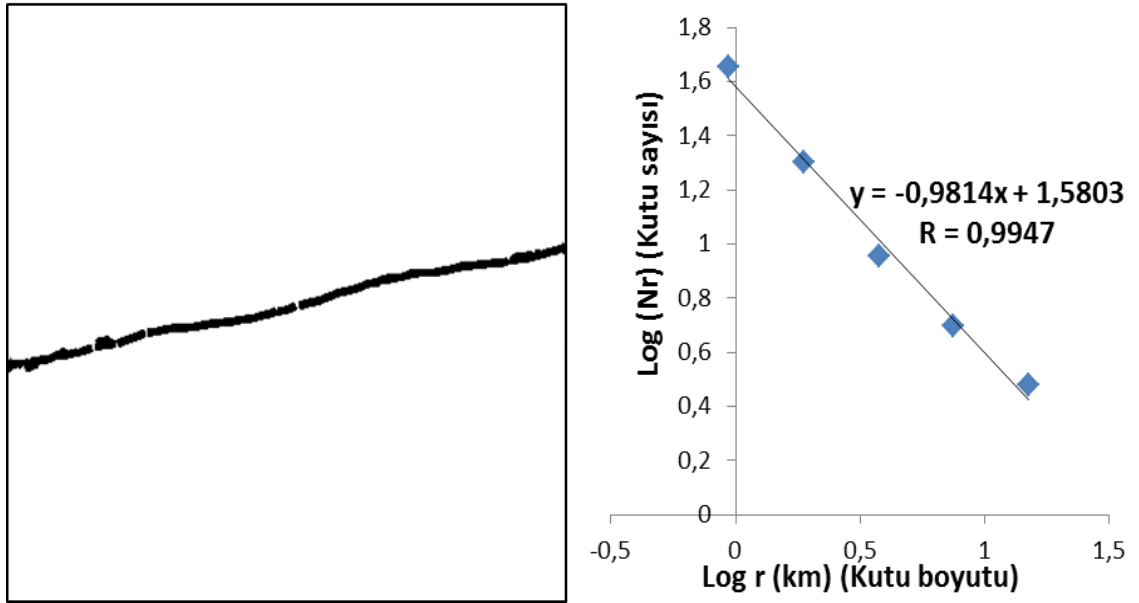
Şekil A.17: KAF₁₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



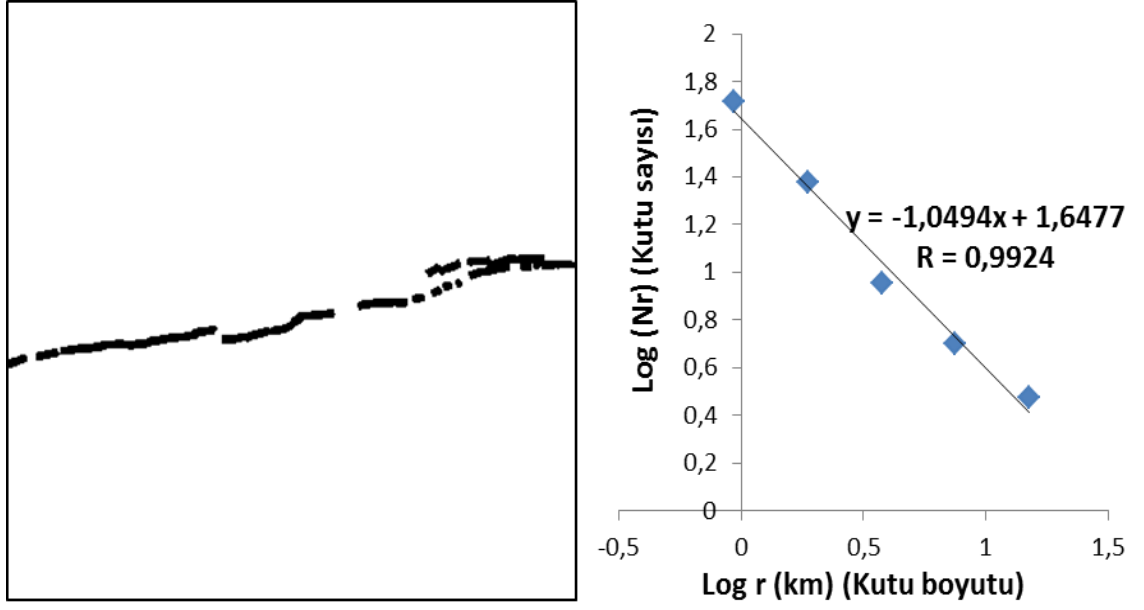
Şekil A.18: KAF₁₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



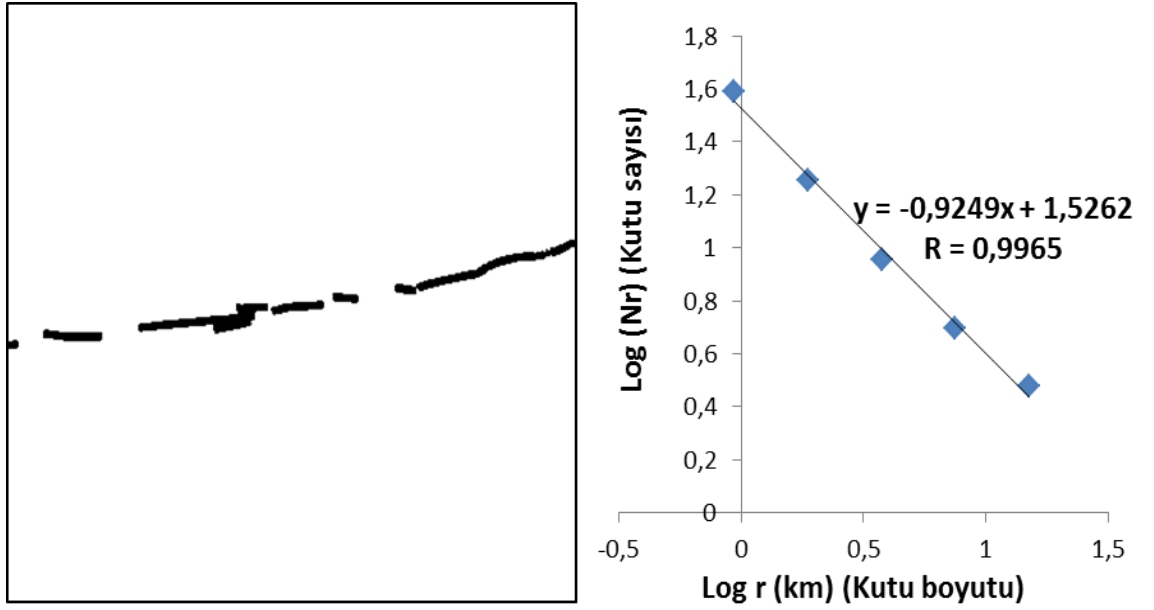
Şekil A.19: KAF₁₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



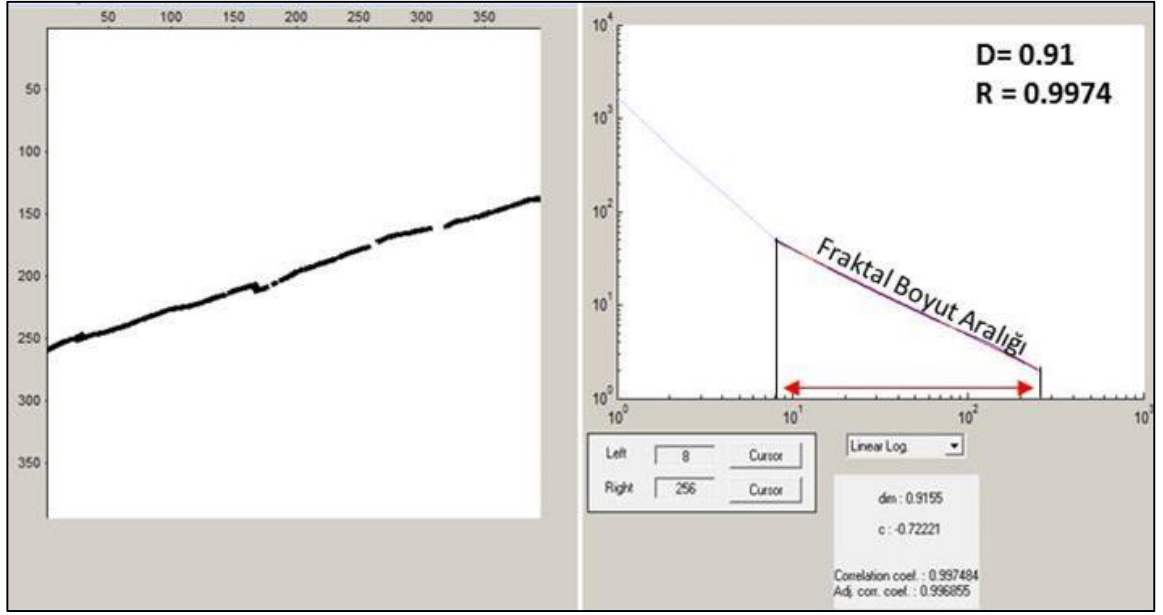
Şekil A.20: KAF₂₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



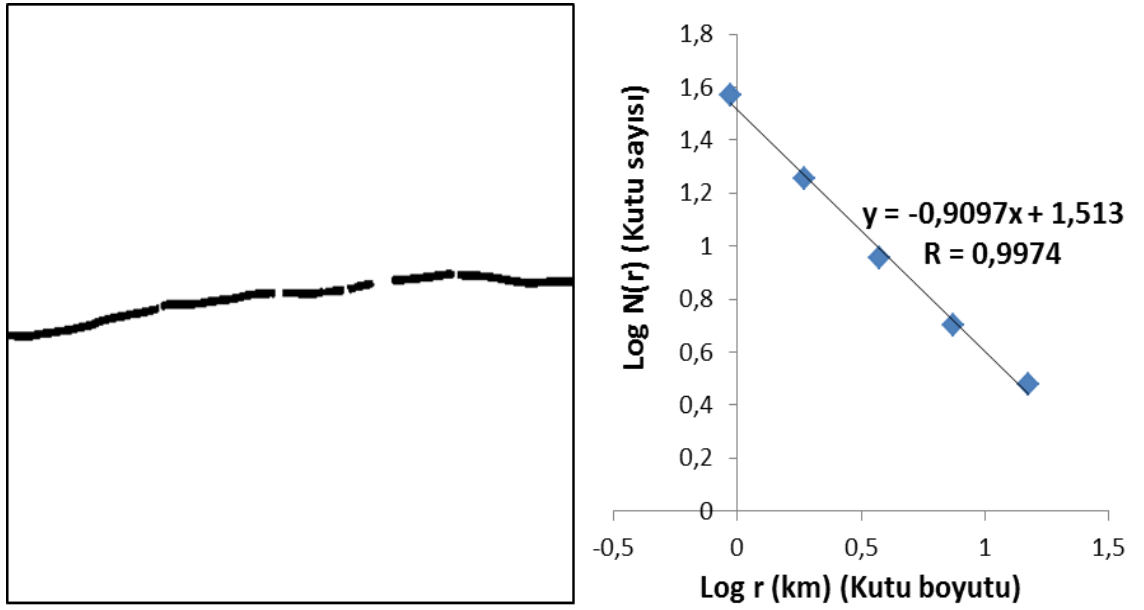
Şekil A.21: KAF₂₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



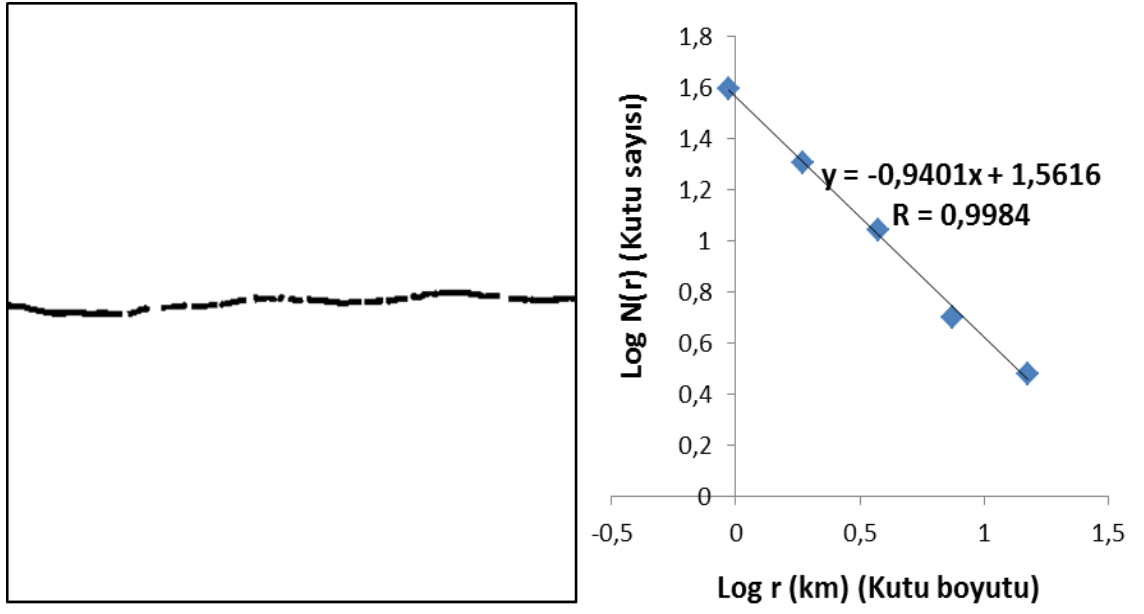
Şekil A.22: KAF₂₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



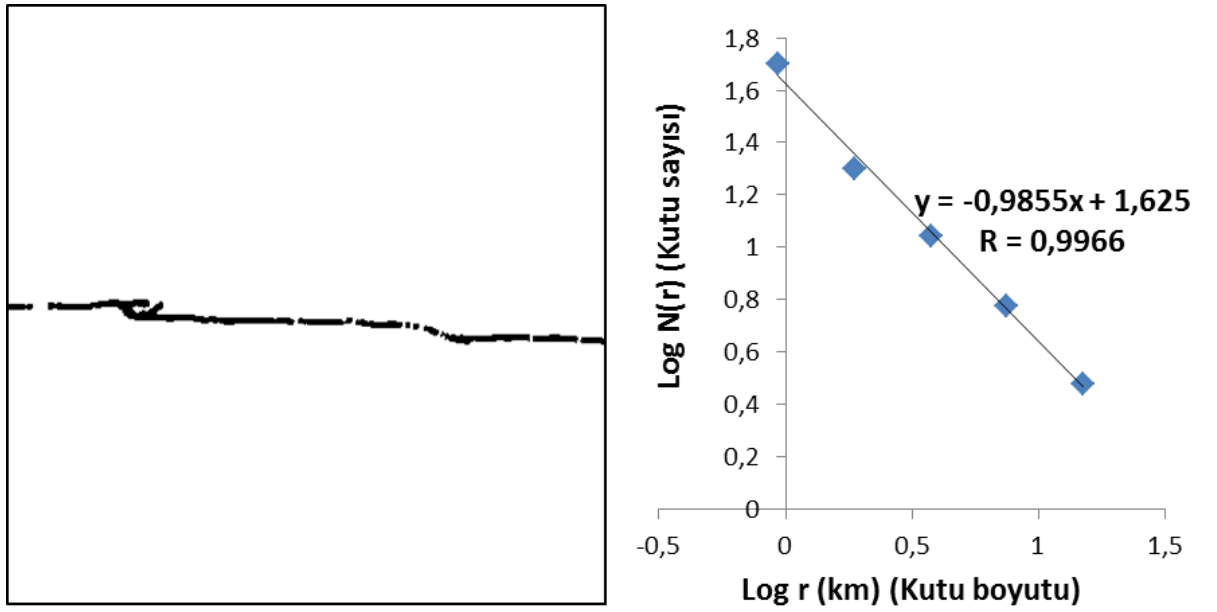
Şekil A.23: KAF₂₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



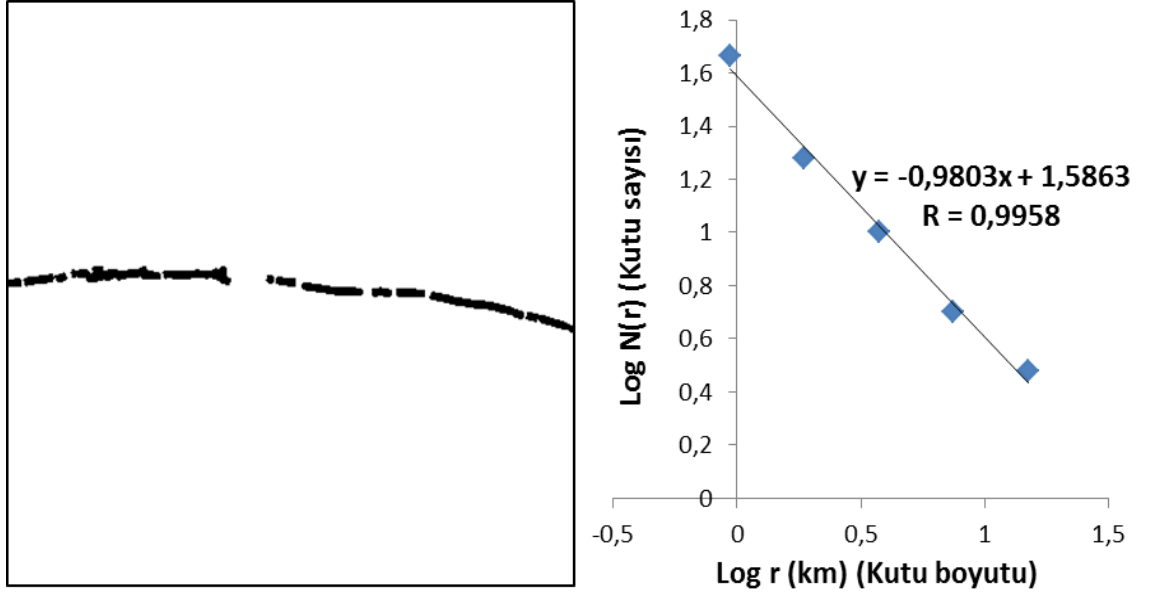
Şekil A.24: KAF₂₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



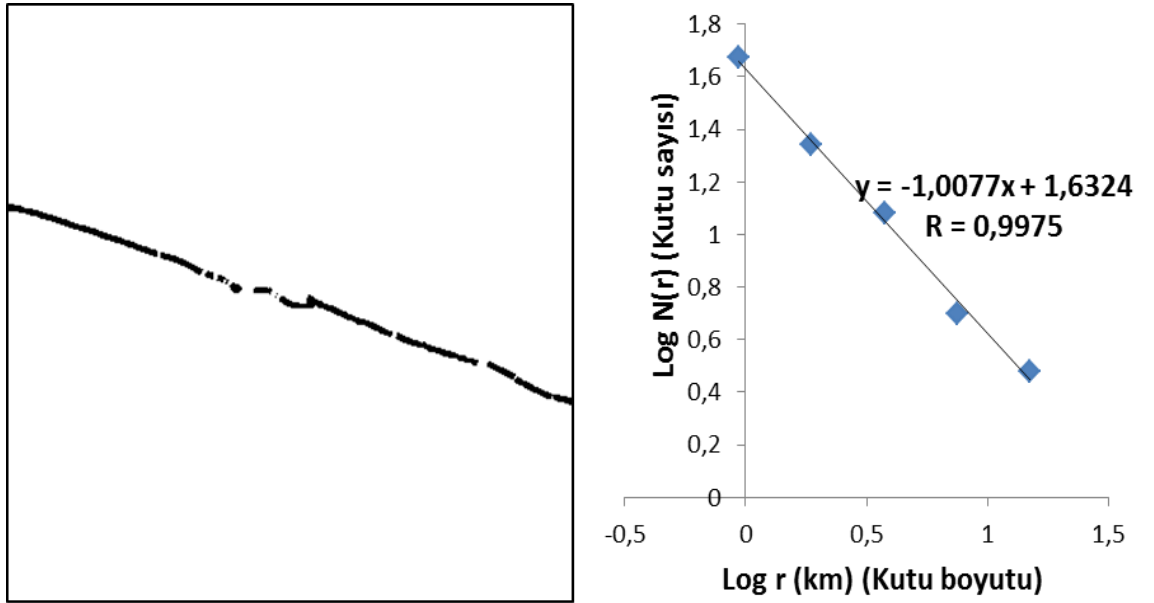
Şekil A.25: KAF₂₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



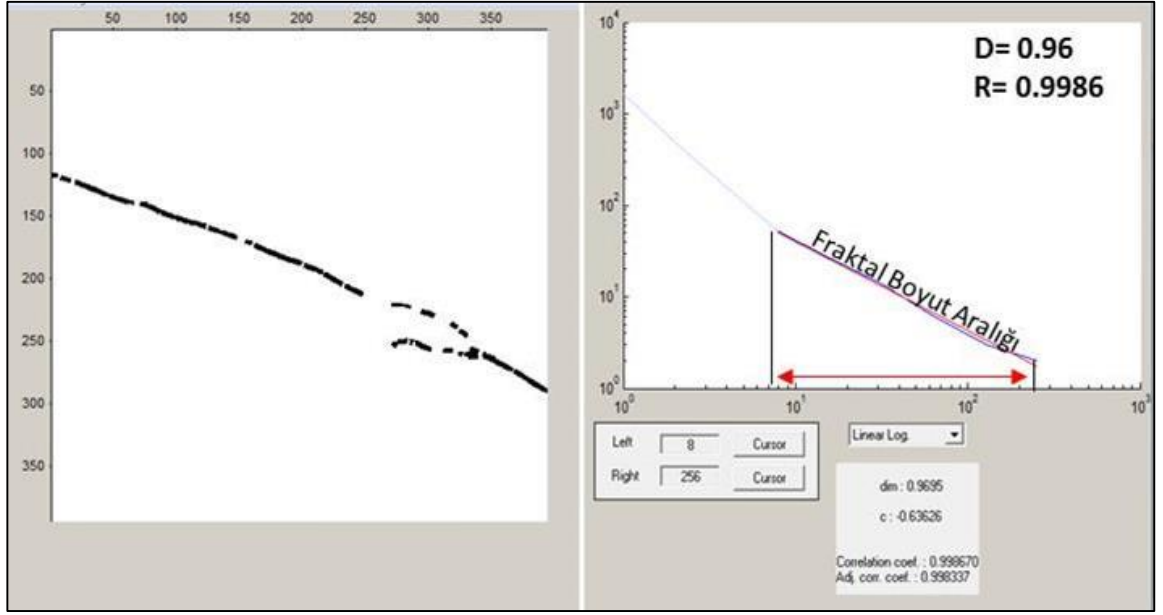
Şekil A.26: KAF₂₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



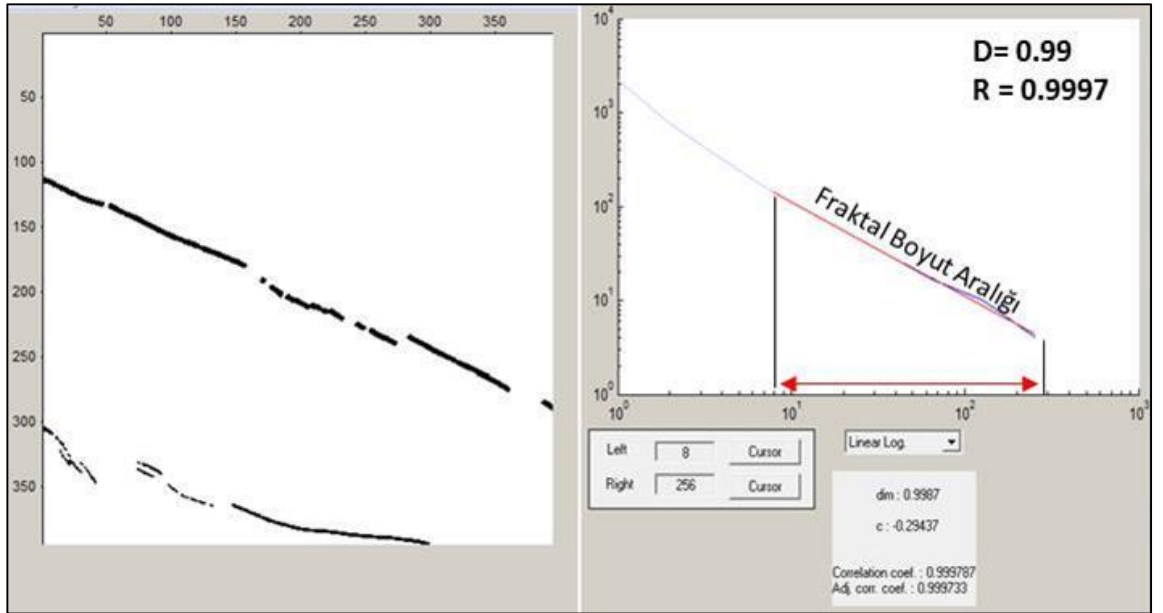
Şekil A.27: KAF₂₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



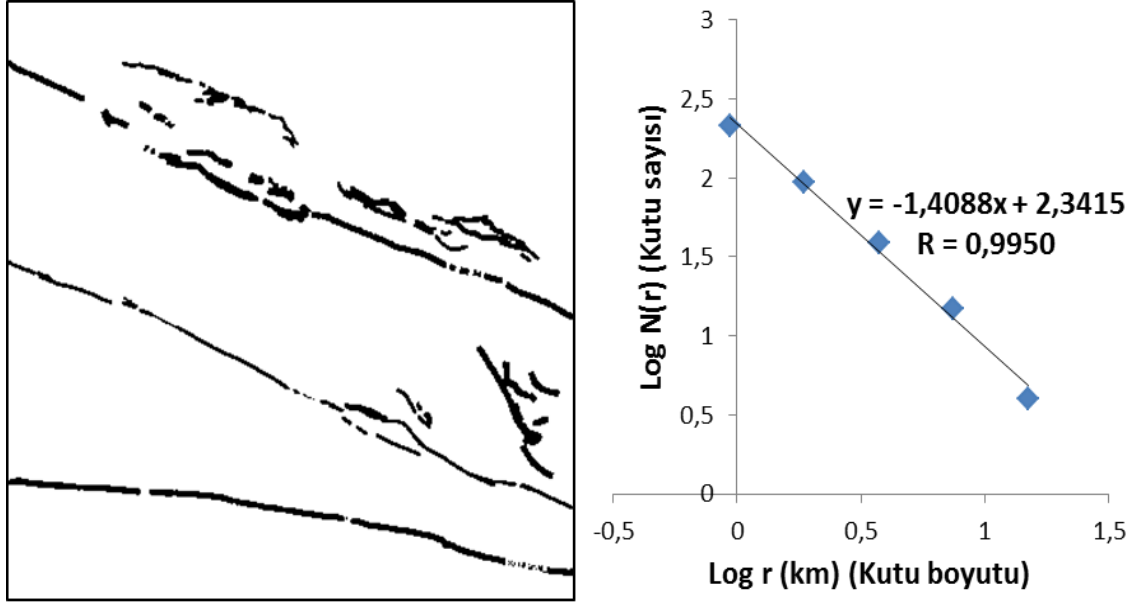
Şekil A.28: KAF₂₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



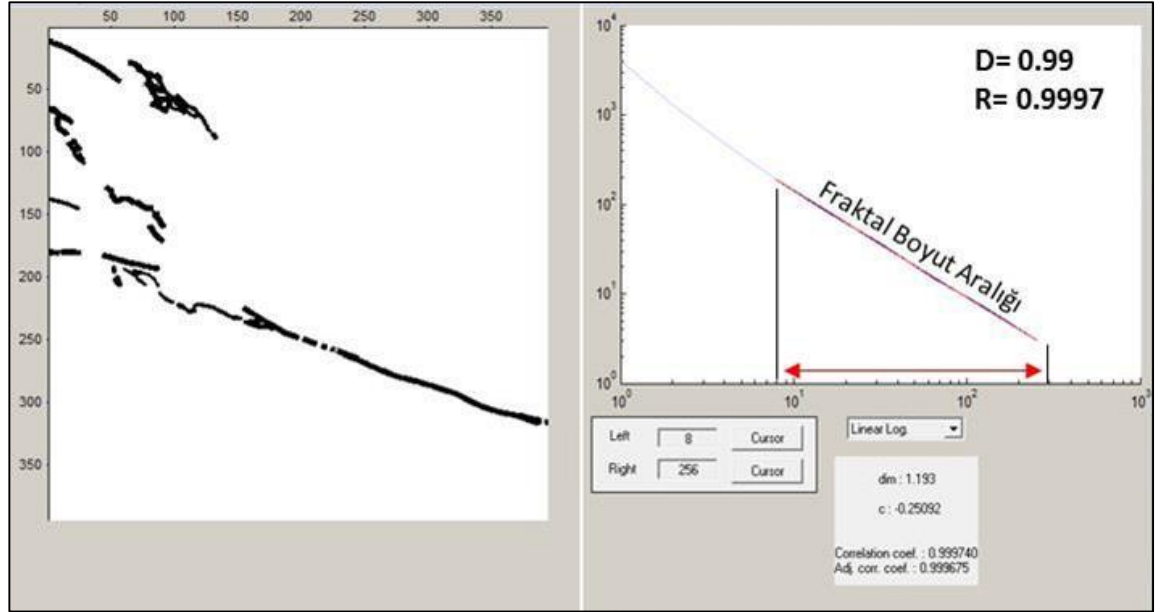
Şekil A.29: KAF₂₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



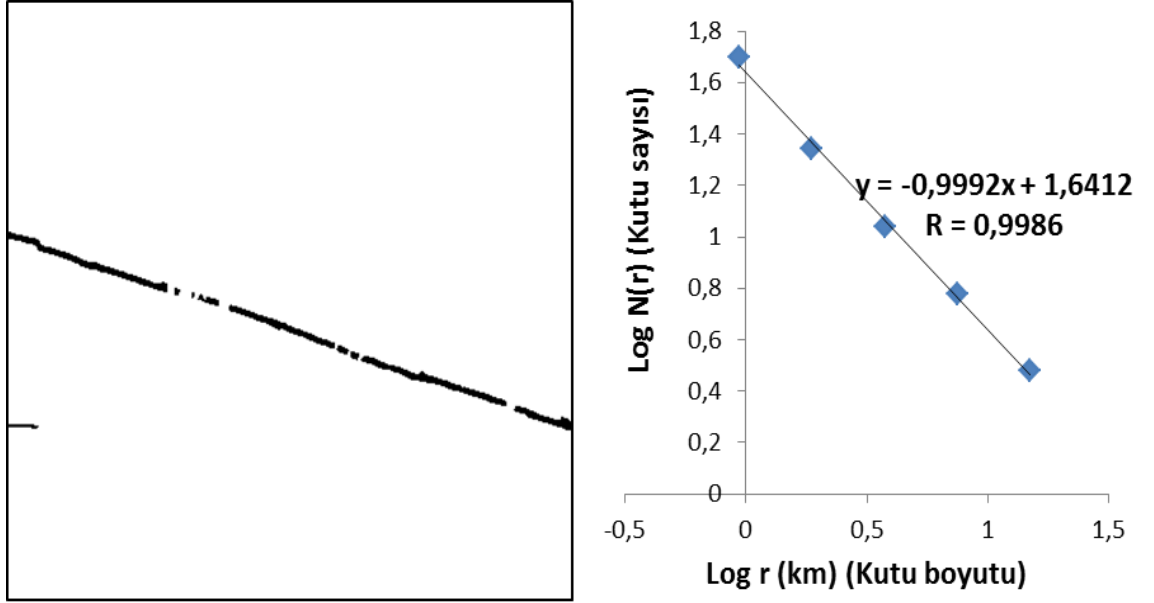
Şekil A.30: KAF₃₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



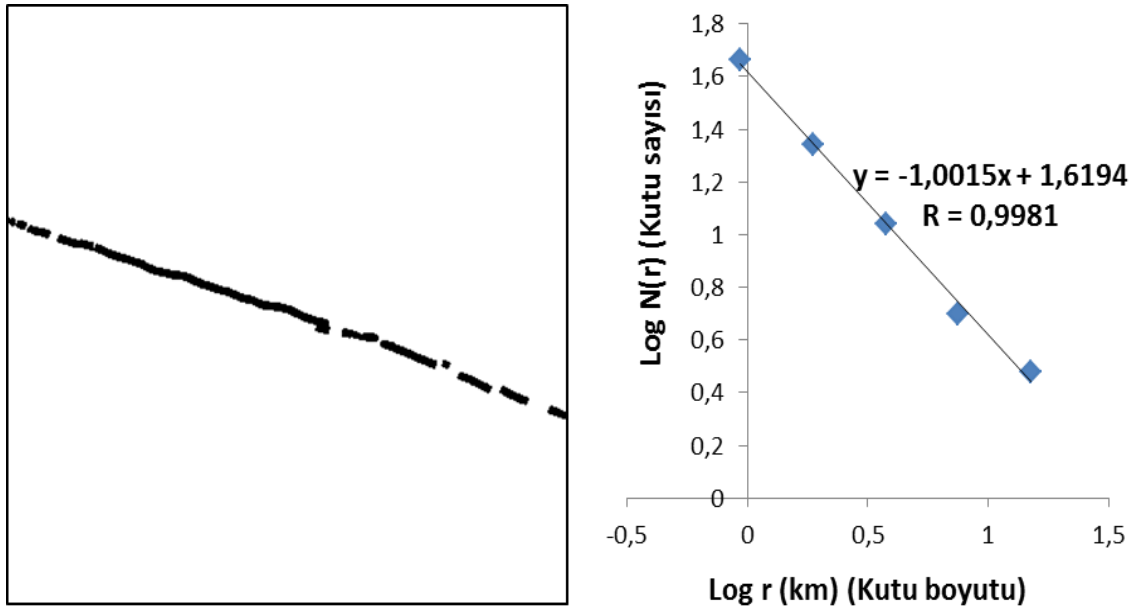
Şekil A.31: KAF₃₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



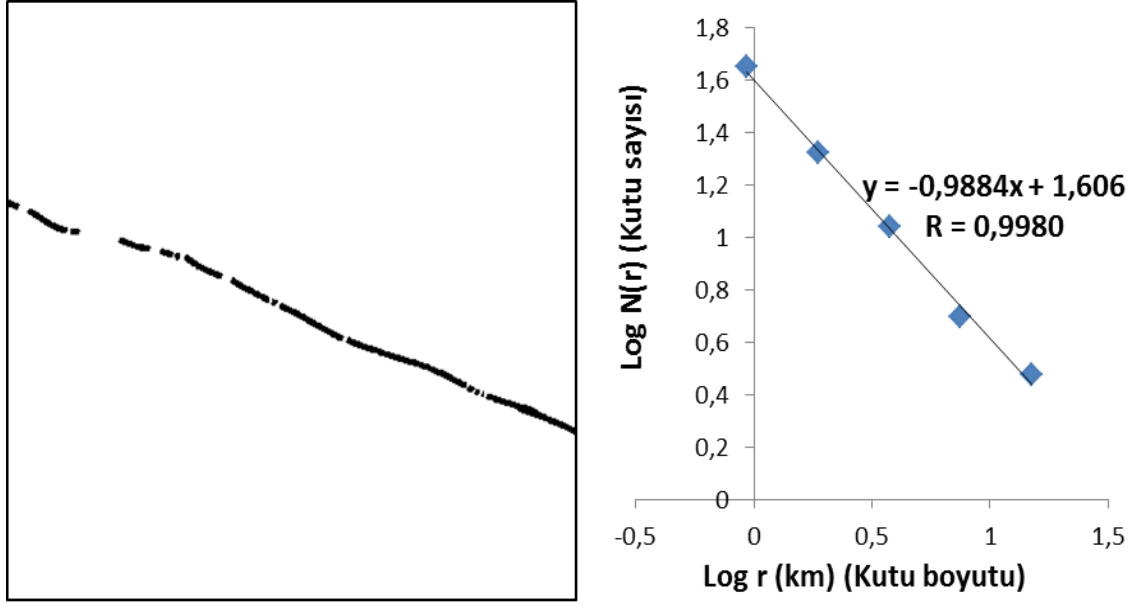
Şekil A.32: KAF₃₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



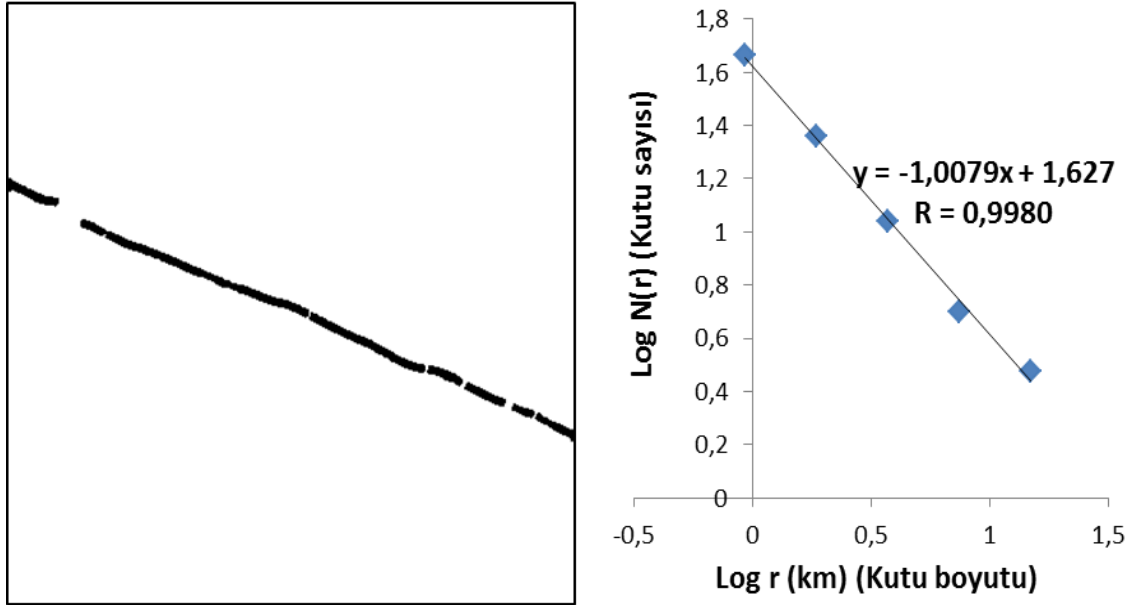
Şekil A.33: KAF₃₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



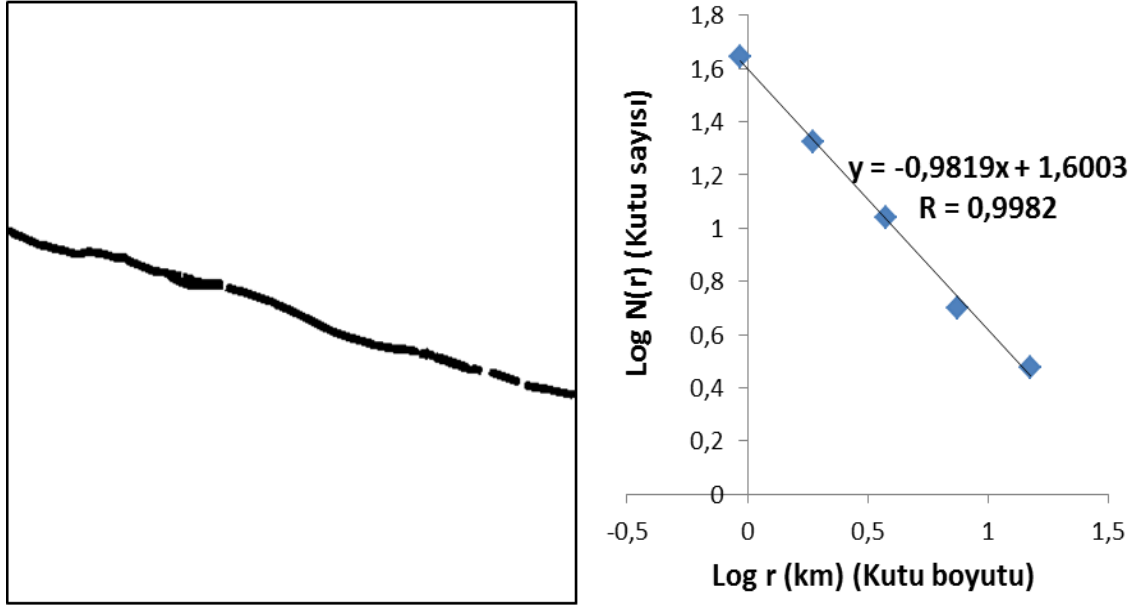
Şekil A.34: KAF₃₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



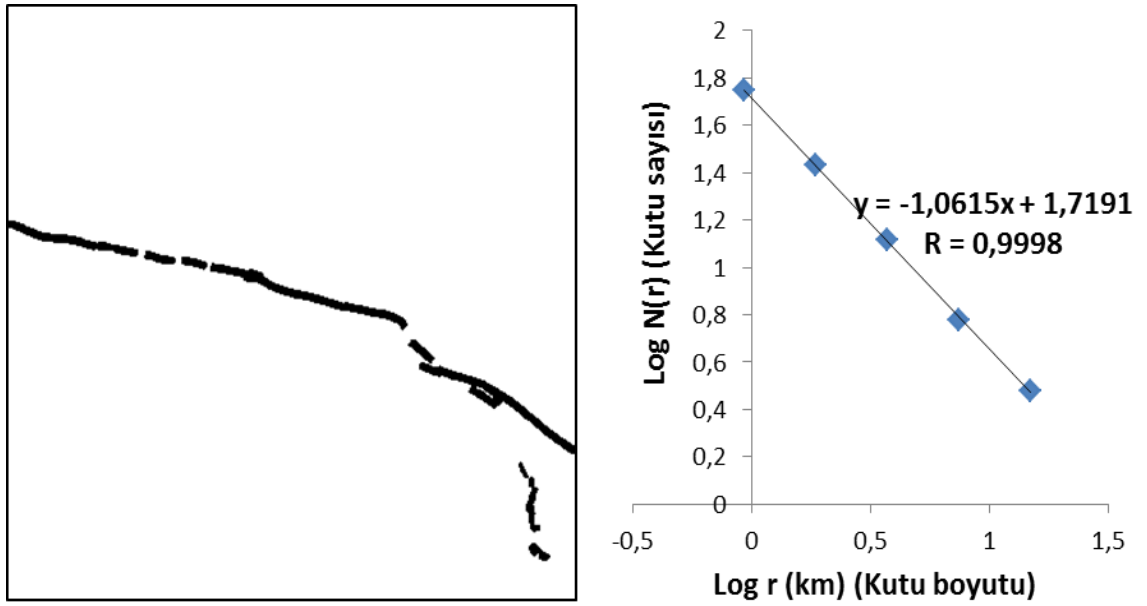
Şekil A.35: KAF₃₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



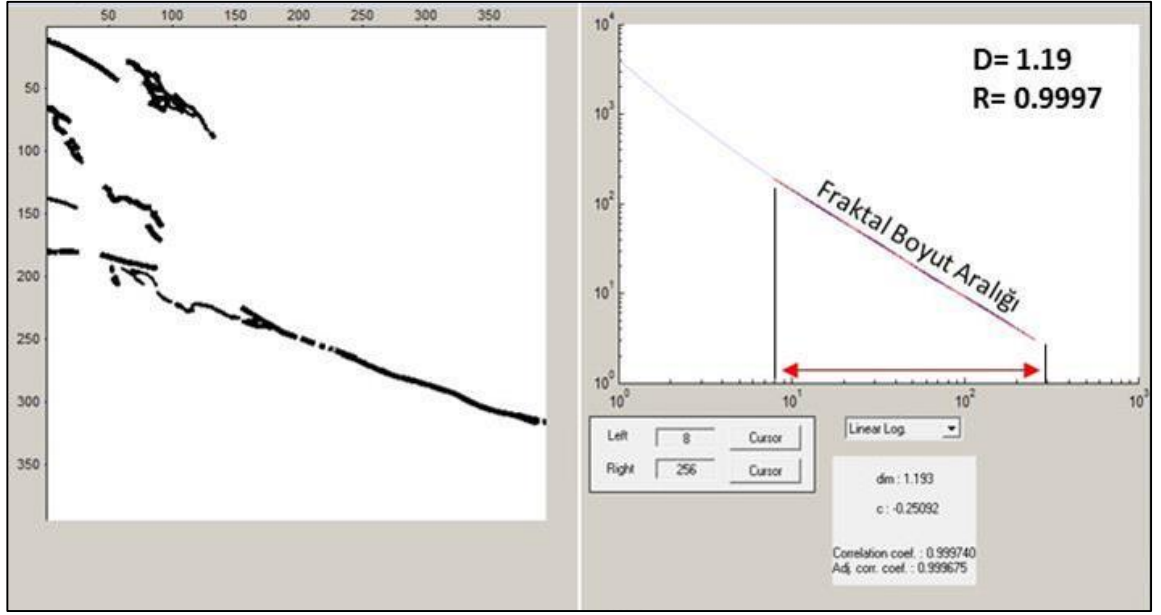
Şekil A.36: KAF₃₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



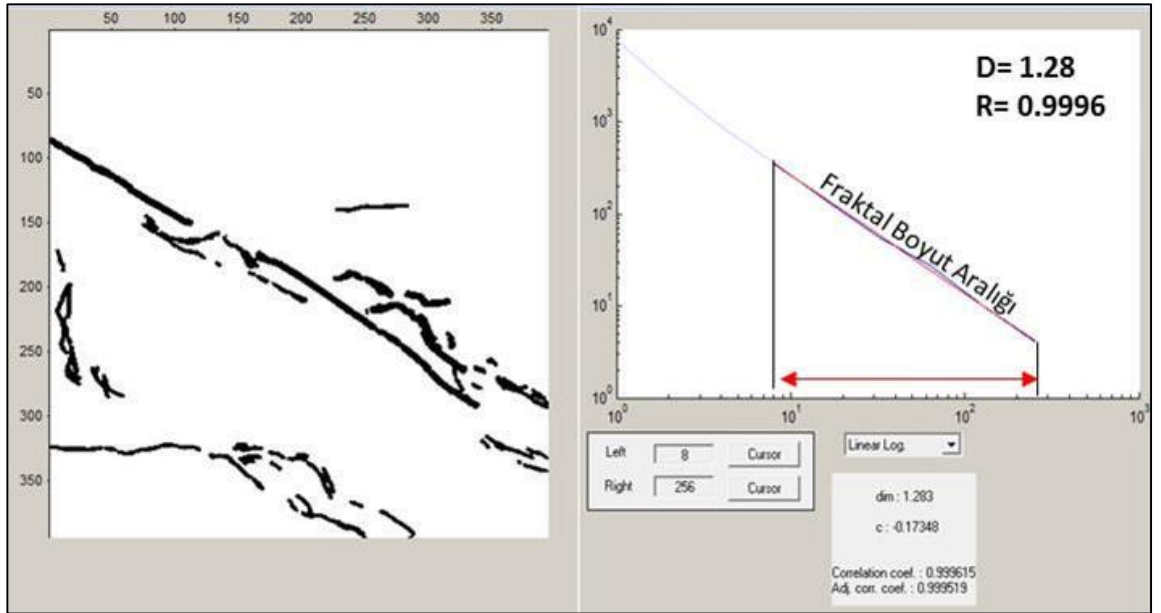
Şekil A.37: KAF₃₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



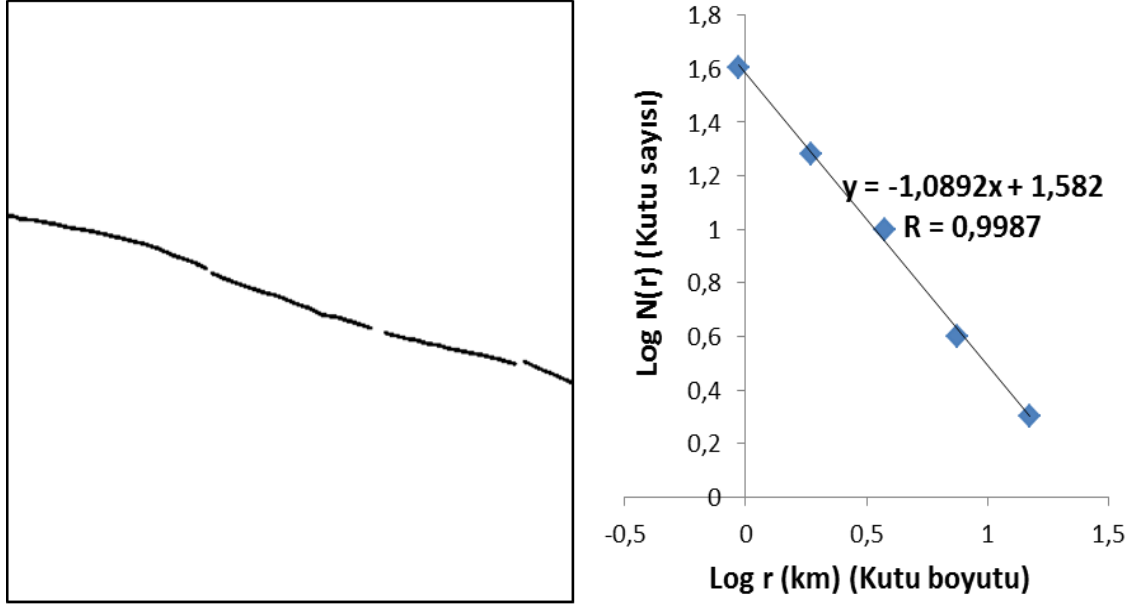
Şekil A.38: KAF₃₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



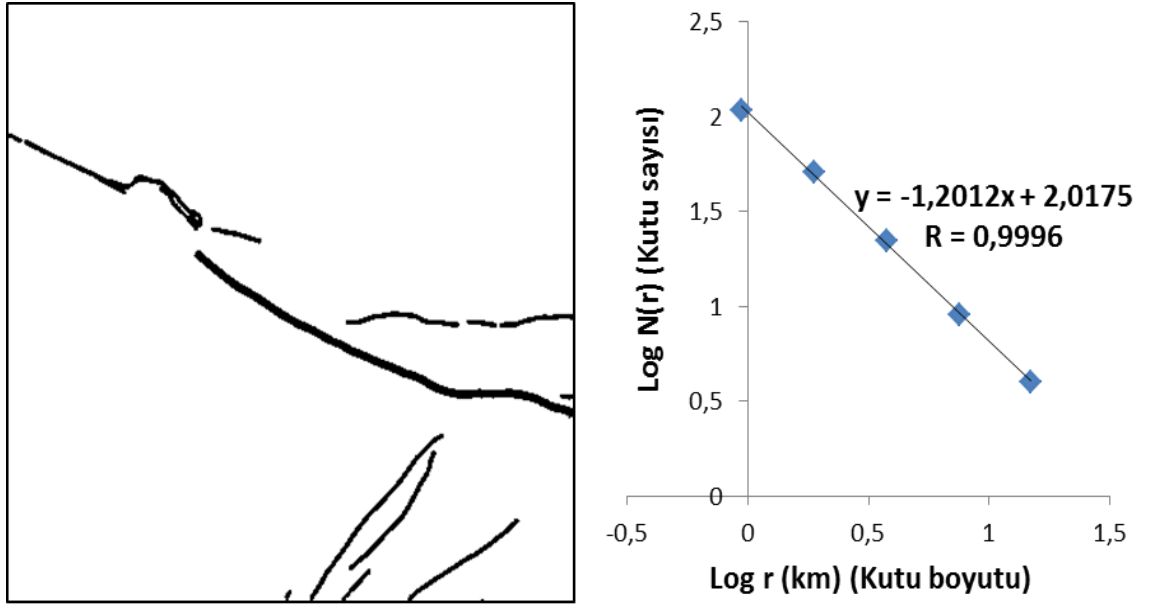
Şekil A.39: KAF₃₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



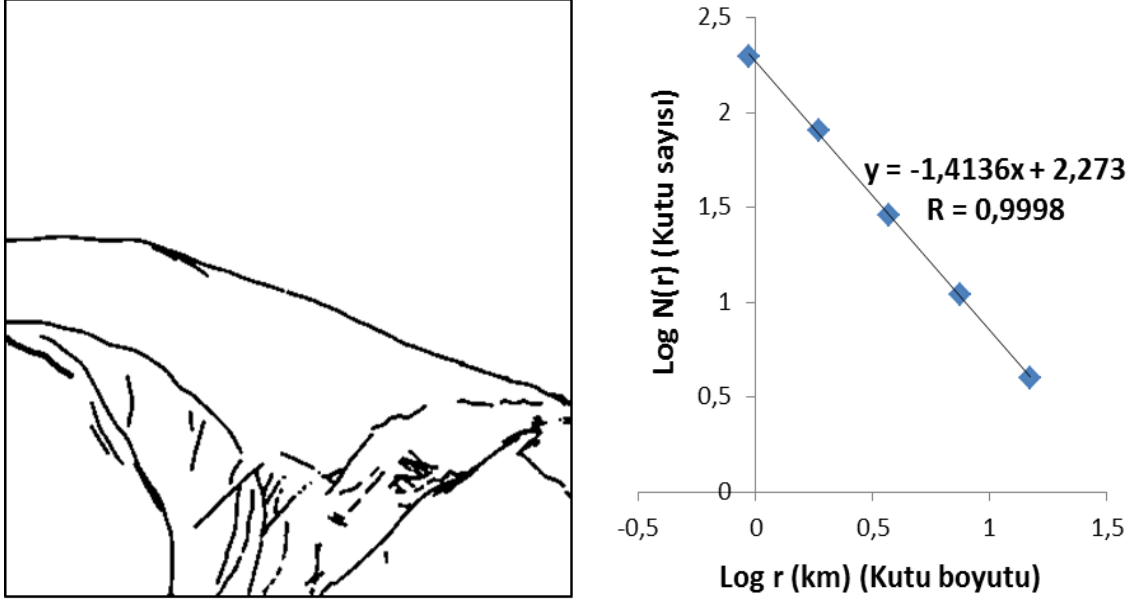
Şekil A.40: KAF₄₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



Şekil A.41: KAF₄₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.

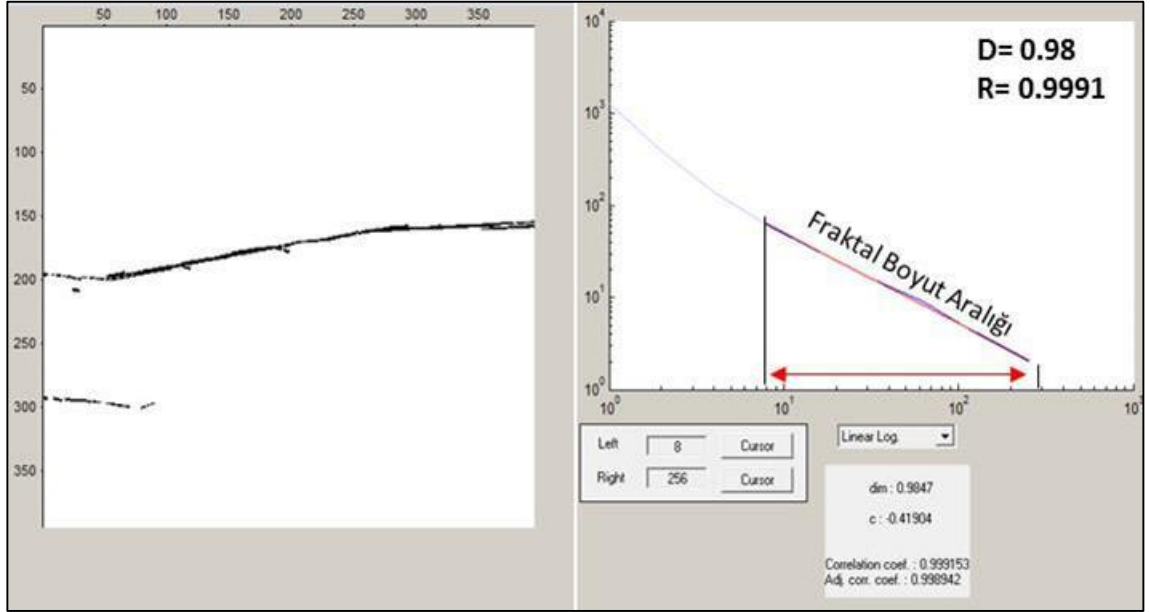


Şekil A.42: KAF₄₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.

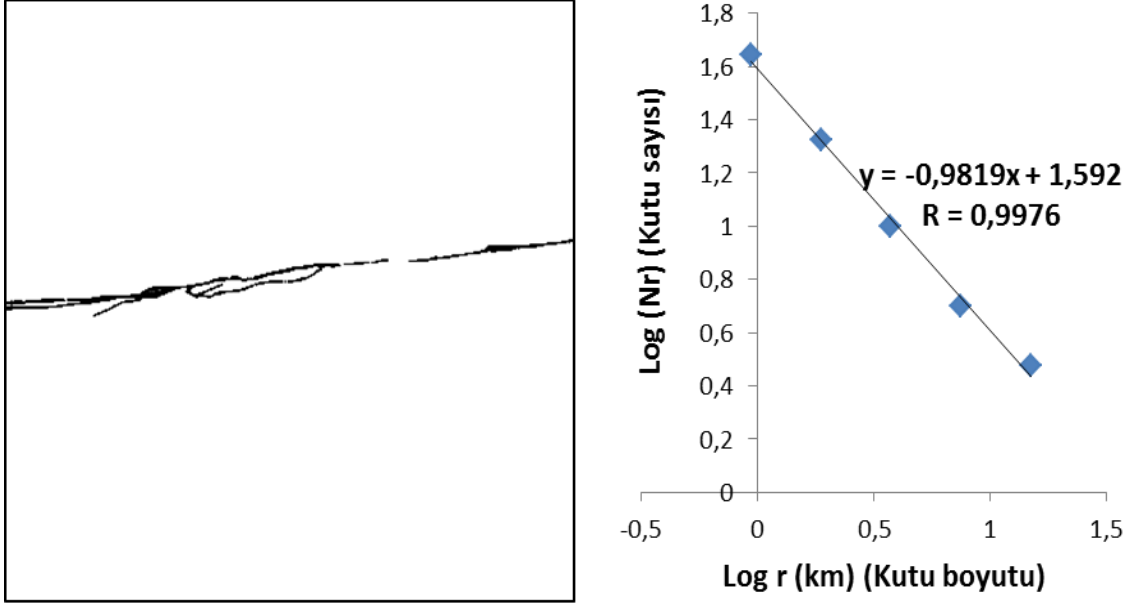


Şekil A.43: KAF₄₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.

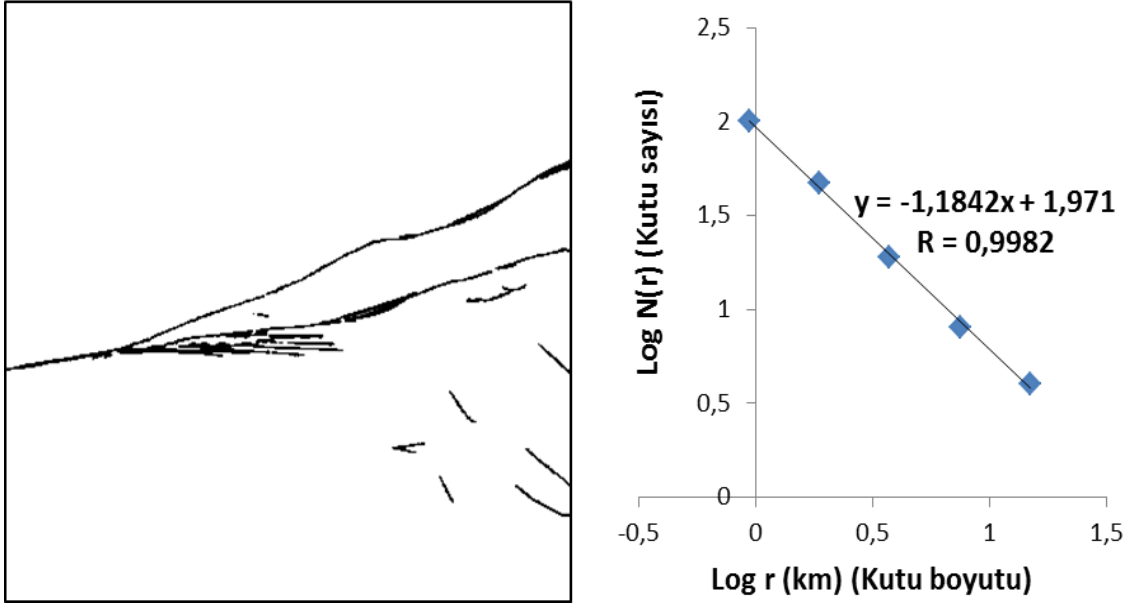
EK B: SAN ANDREAS FAY ZONUNDA AKTİF FAY VERİLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ



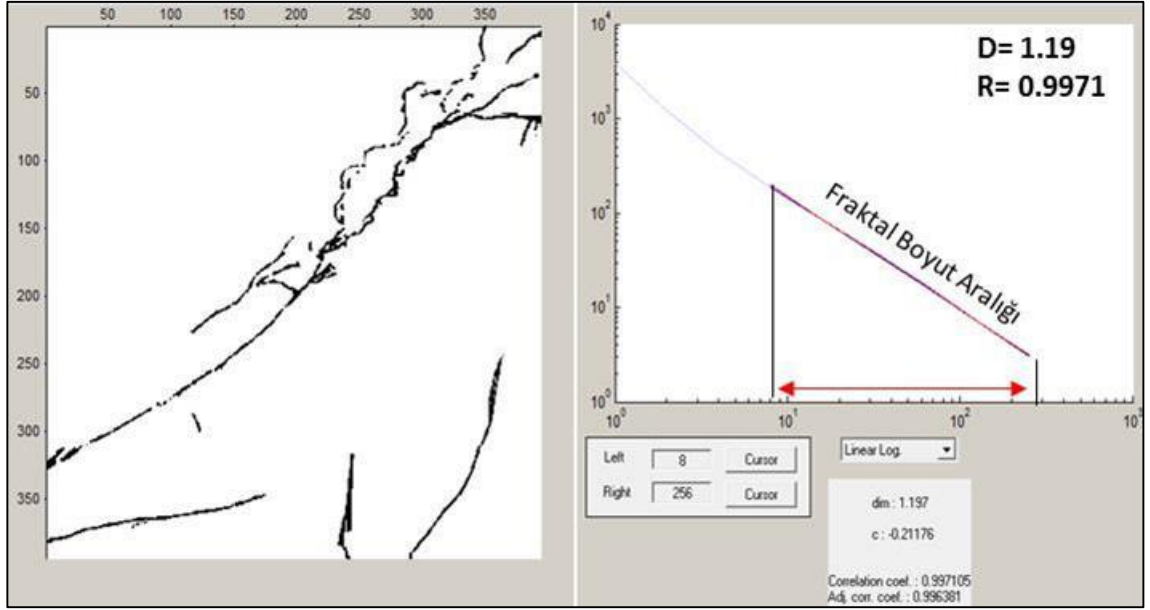
Şekil B.1: SAF₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



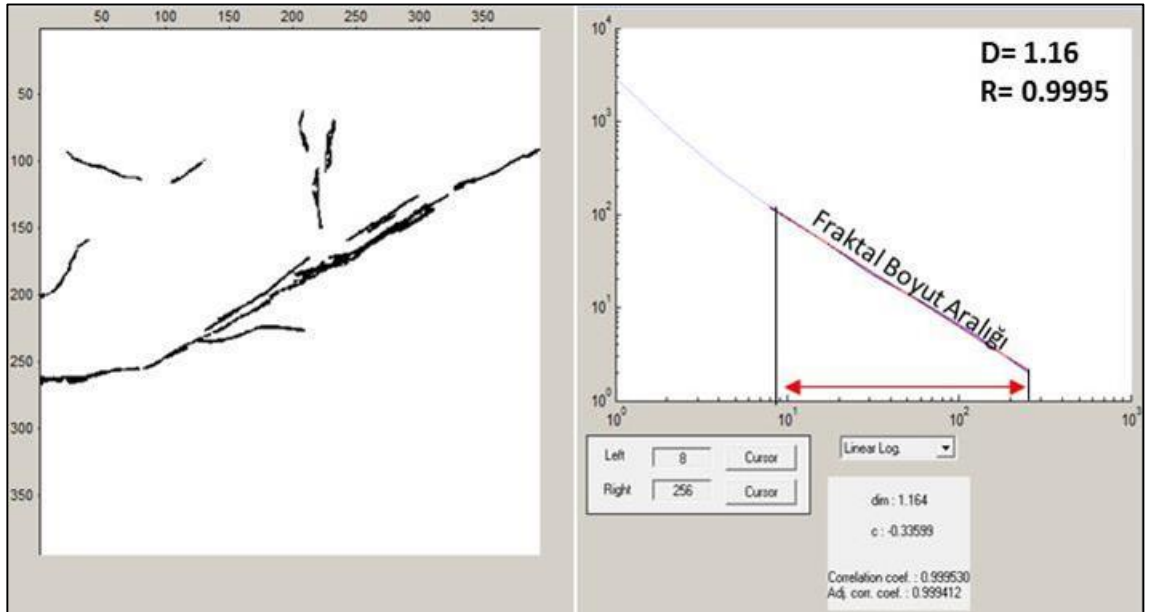
Şekil B.2: SAF₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



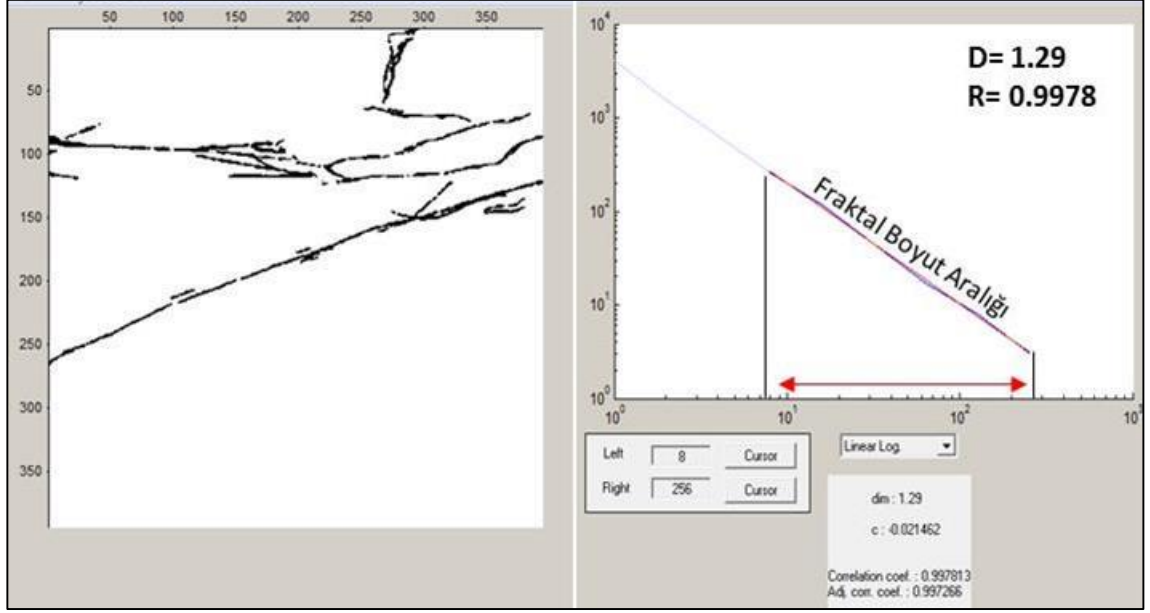
Şekil B.3: SAF₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



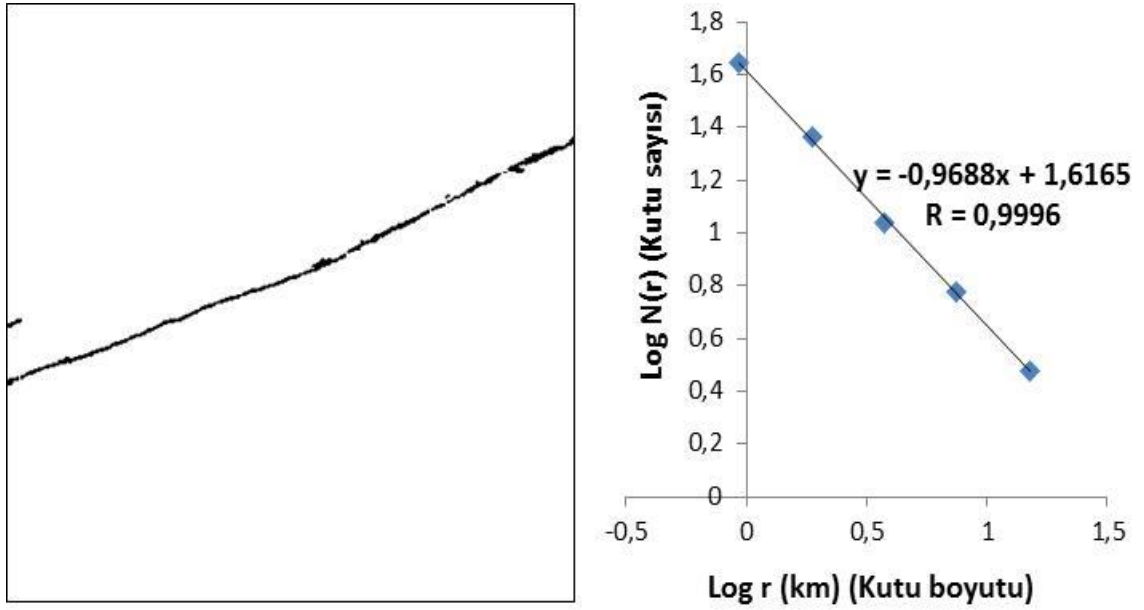
Şekil B.4: SAF₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



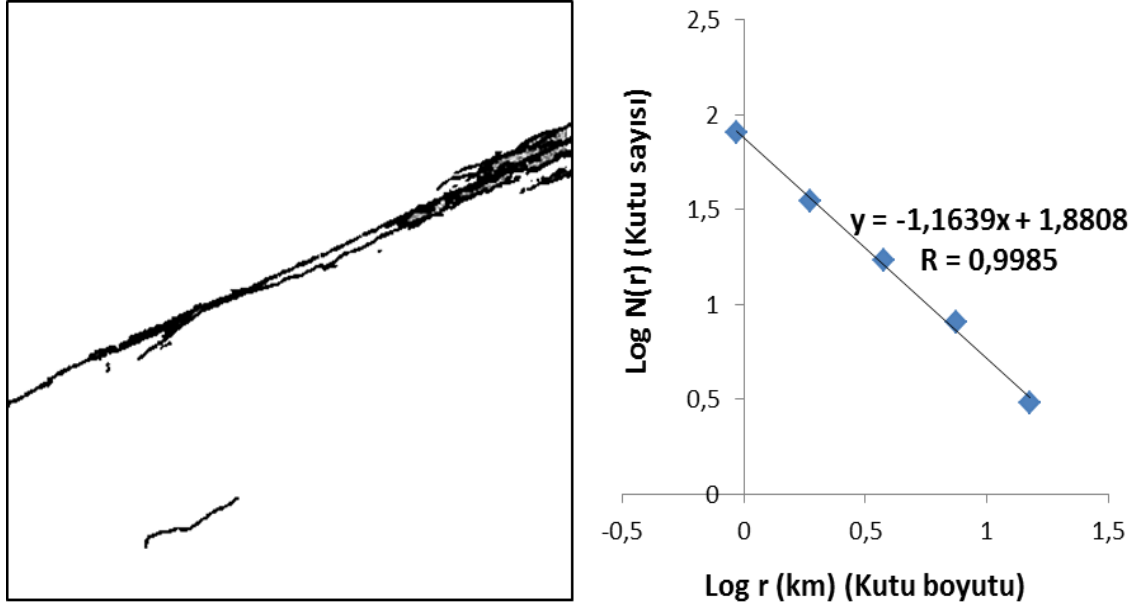
Şekil B.5: SAF₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



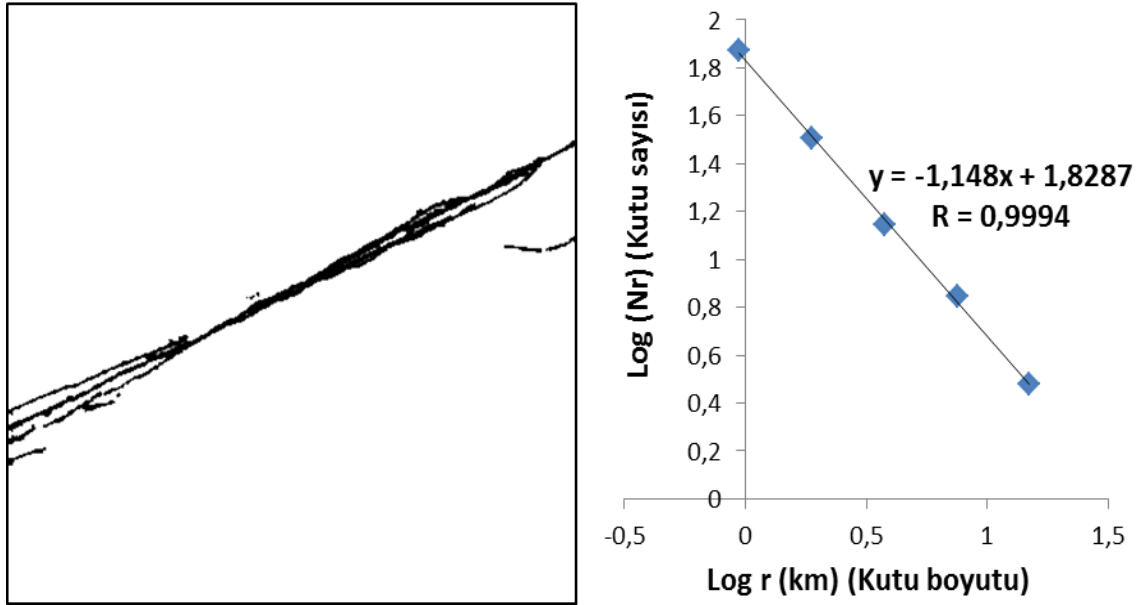
Şekil B.6: SAF₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



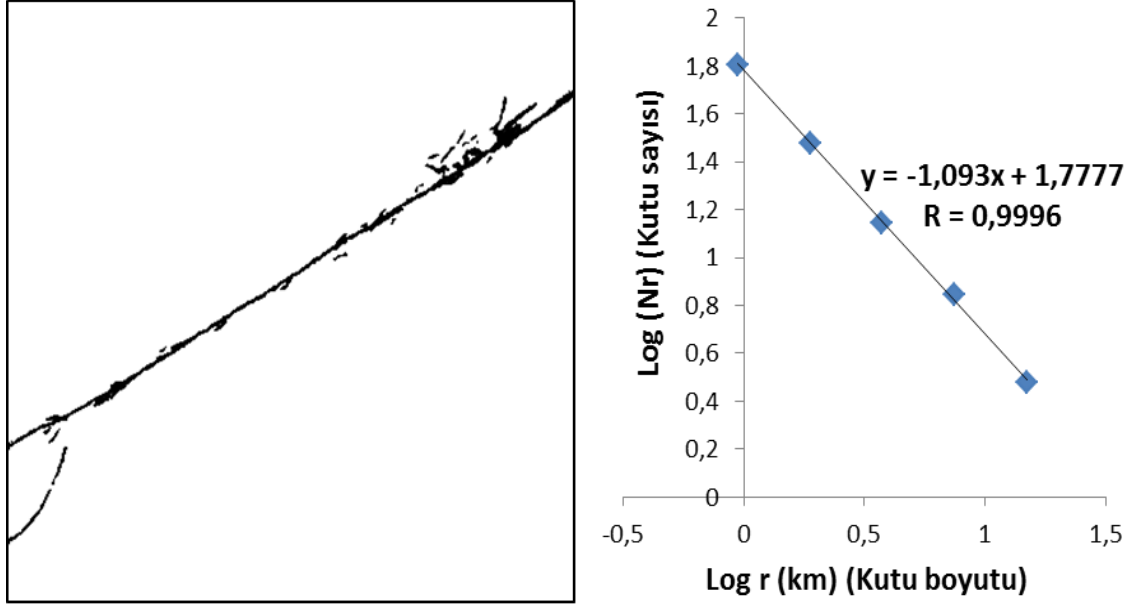
Şekil B.7: SAF₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



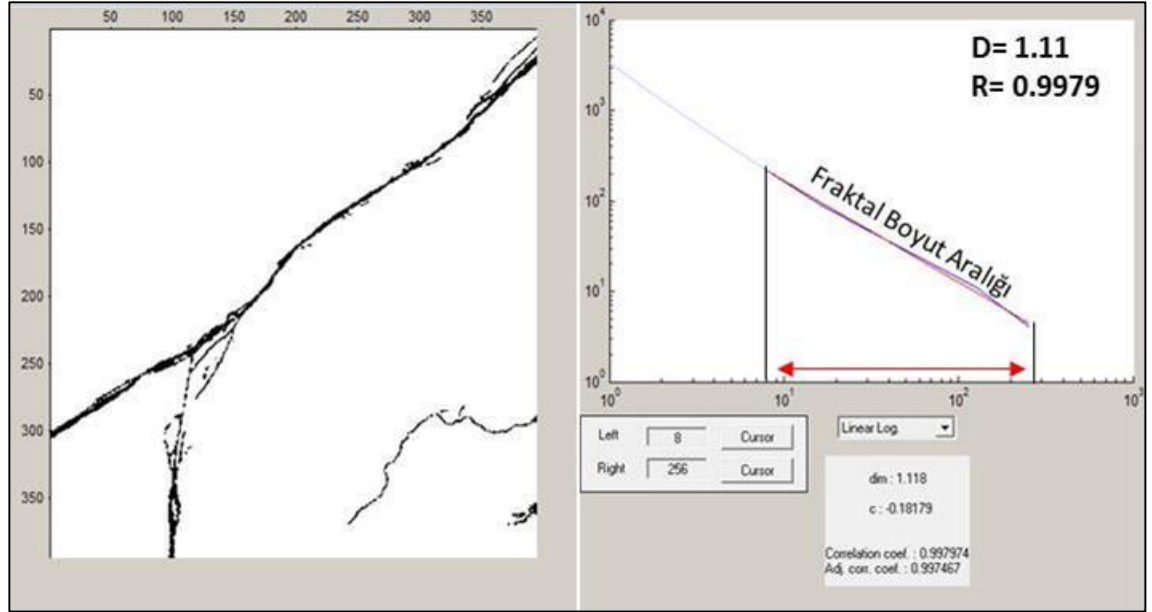
Şekil B.8: SAF₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



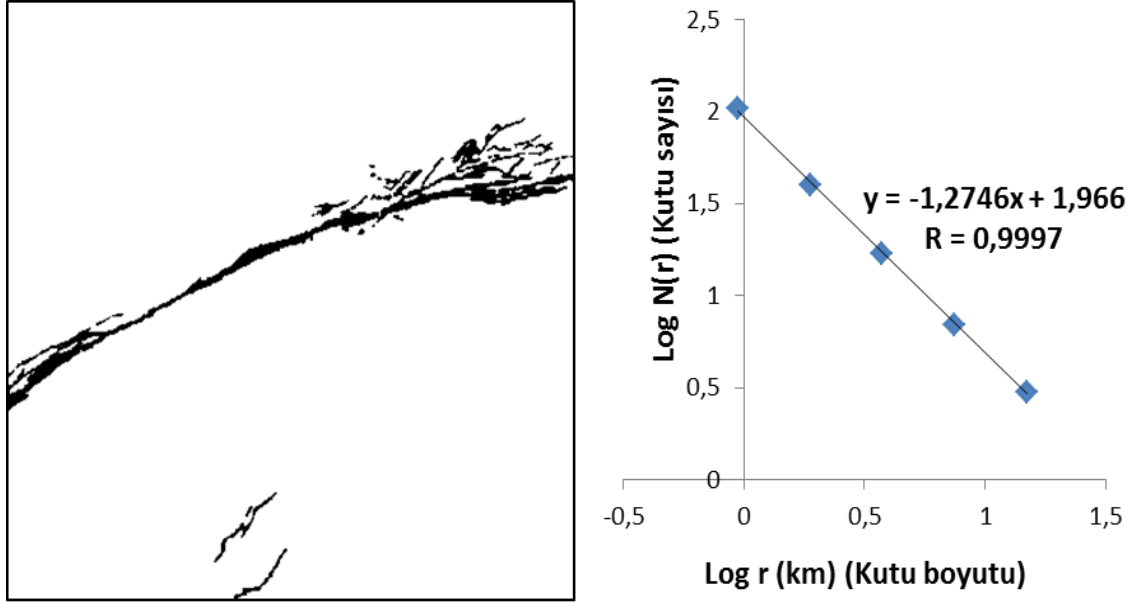
Şekil B.9: SAF₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



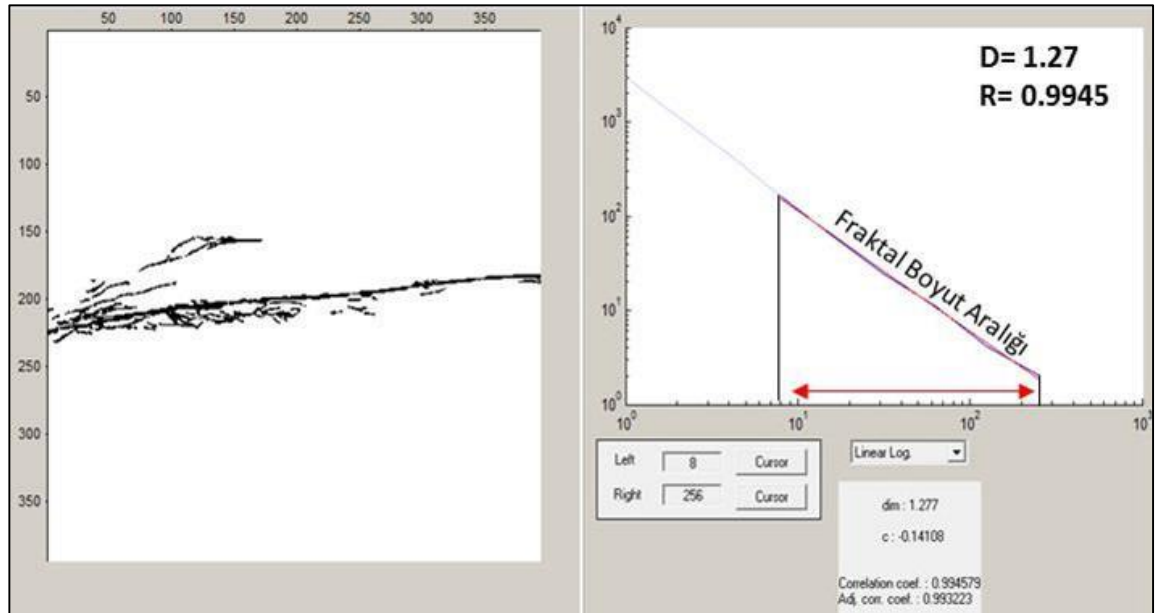
Şekil B.10: SAF₁₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



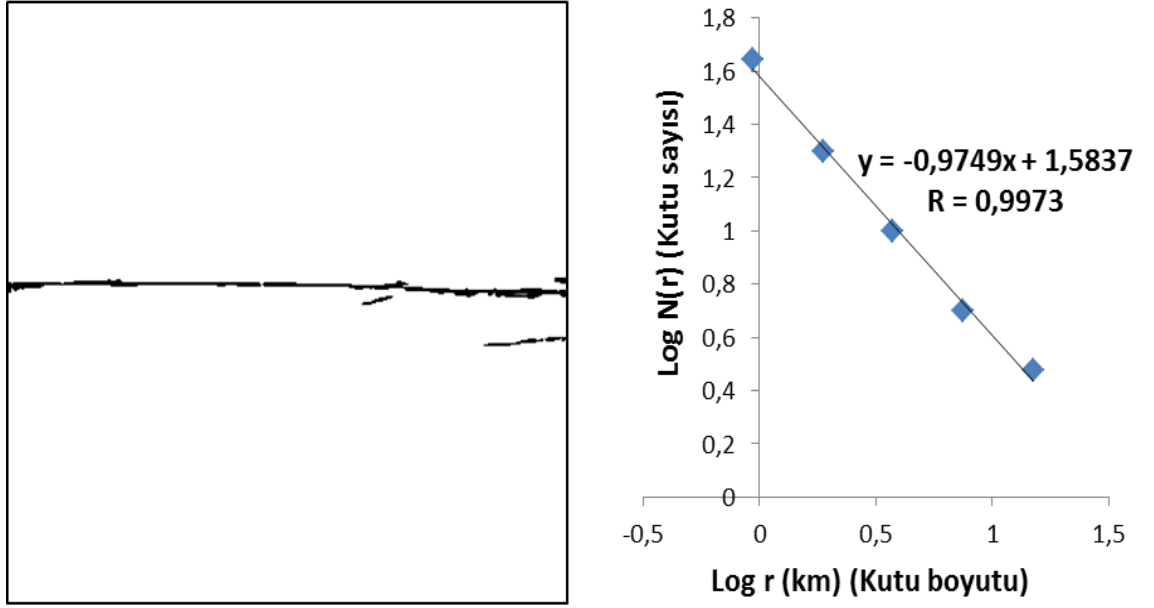
Şekil B.11: SAF₁₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



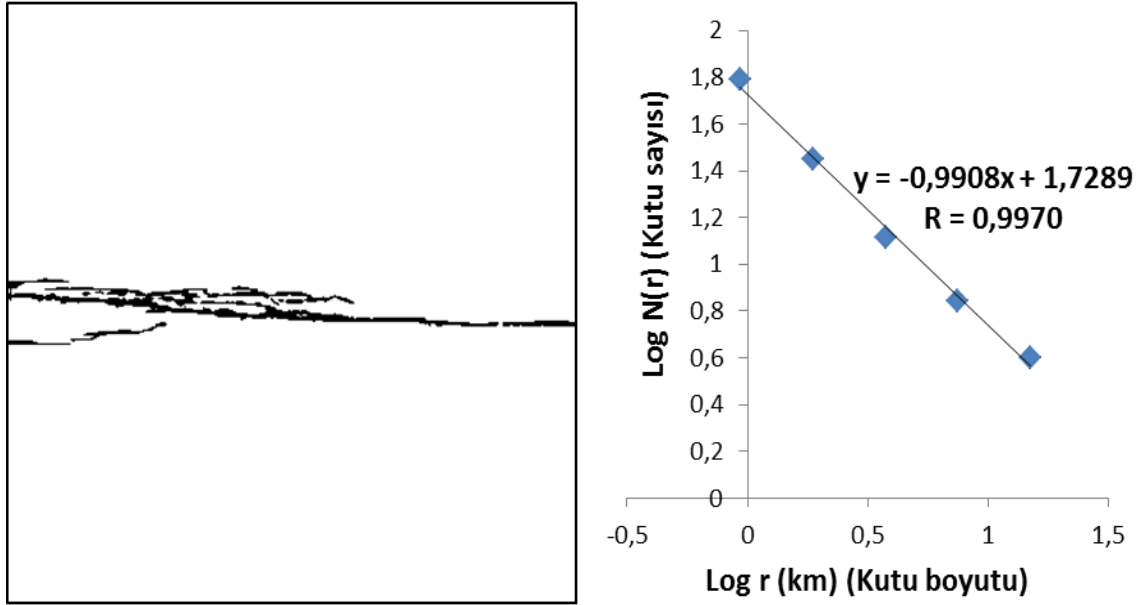
Şekil B.12: SAF₁₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



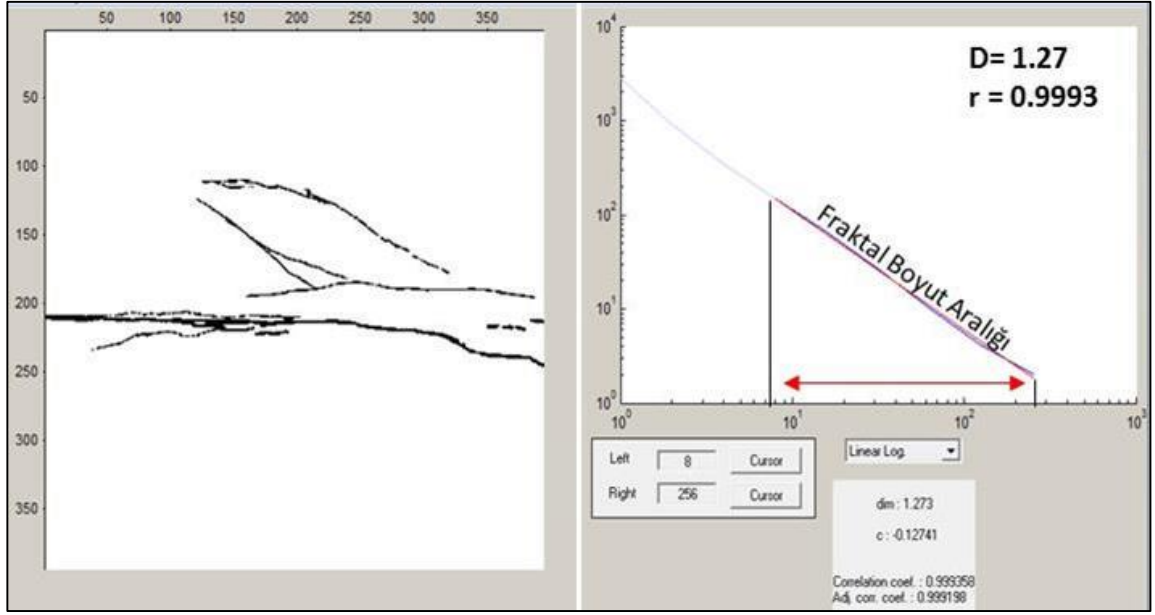
Şekil B.13: SAF₁₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



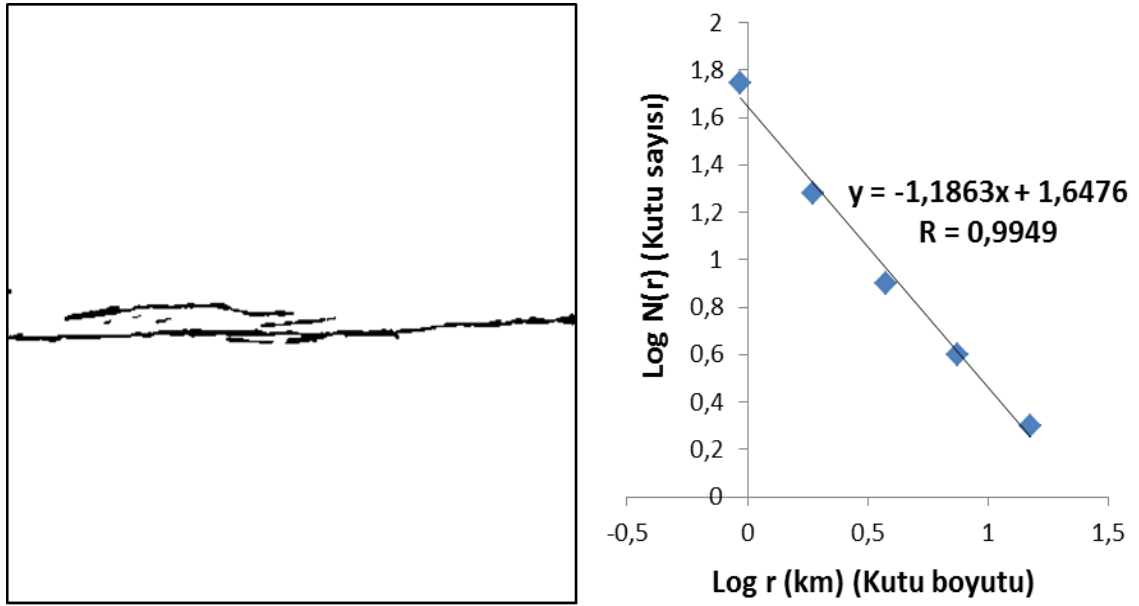
Şekil B.14: SAF₁₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



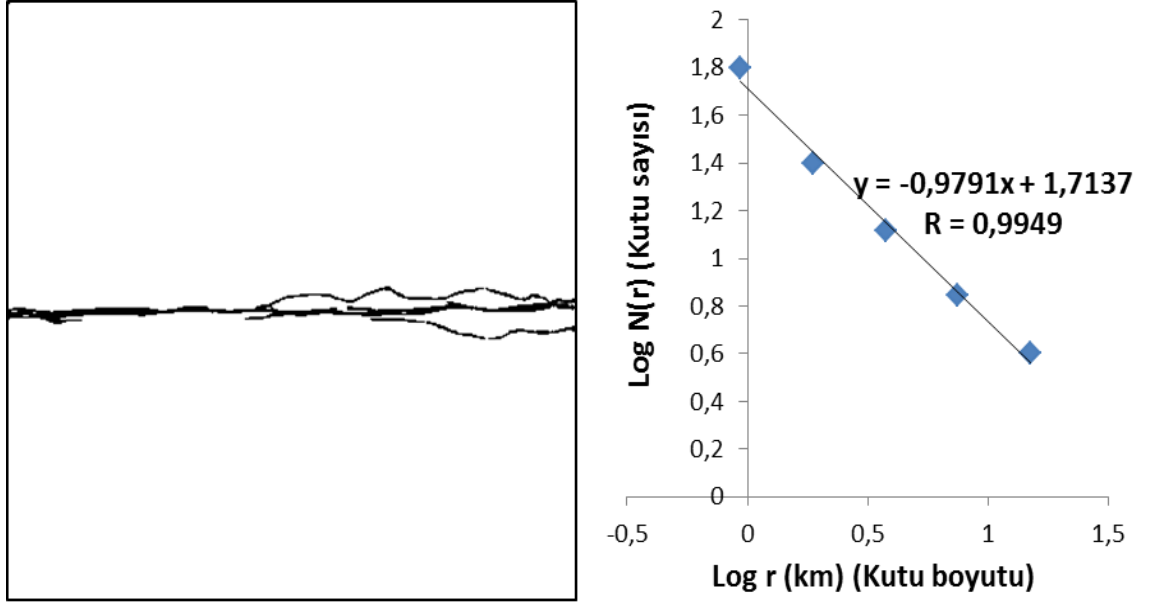
Şekil B.15: SAF₁₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



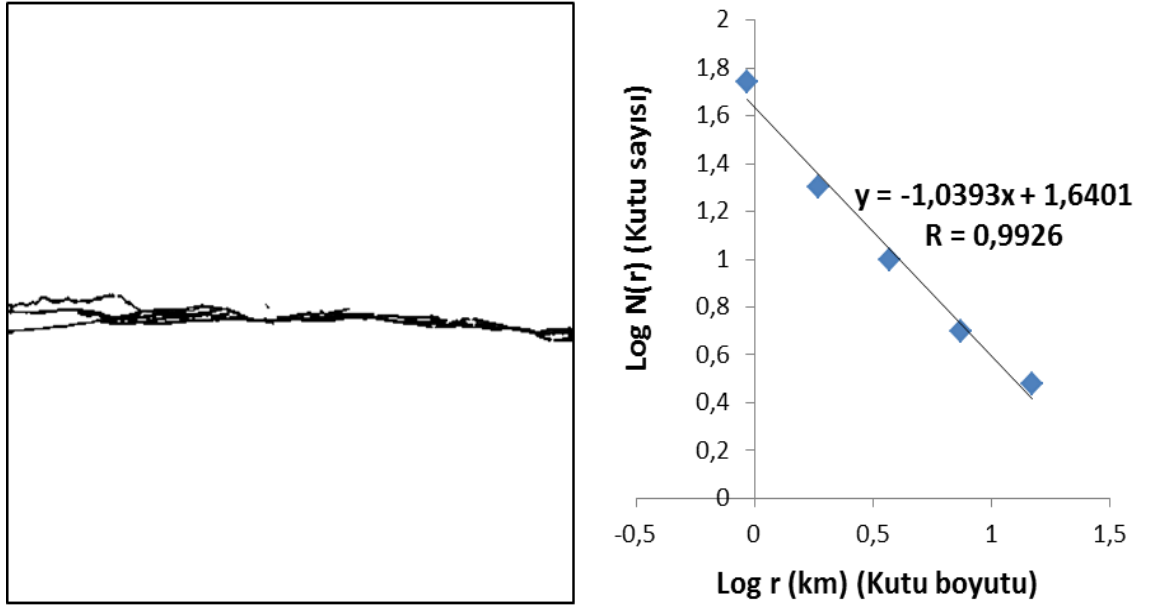
Şekil B.16: SAF₁₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



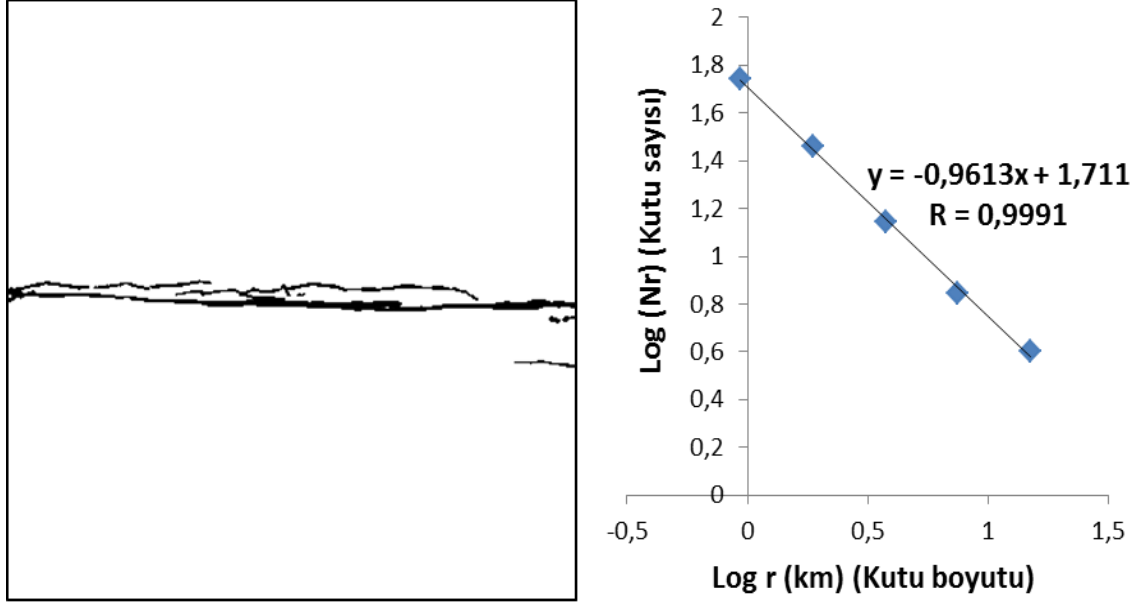
Şekil B.17: SAF₁₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



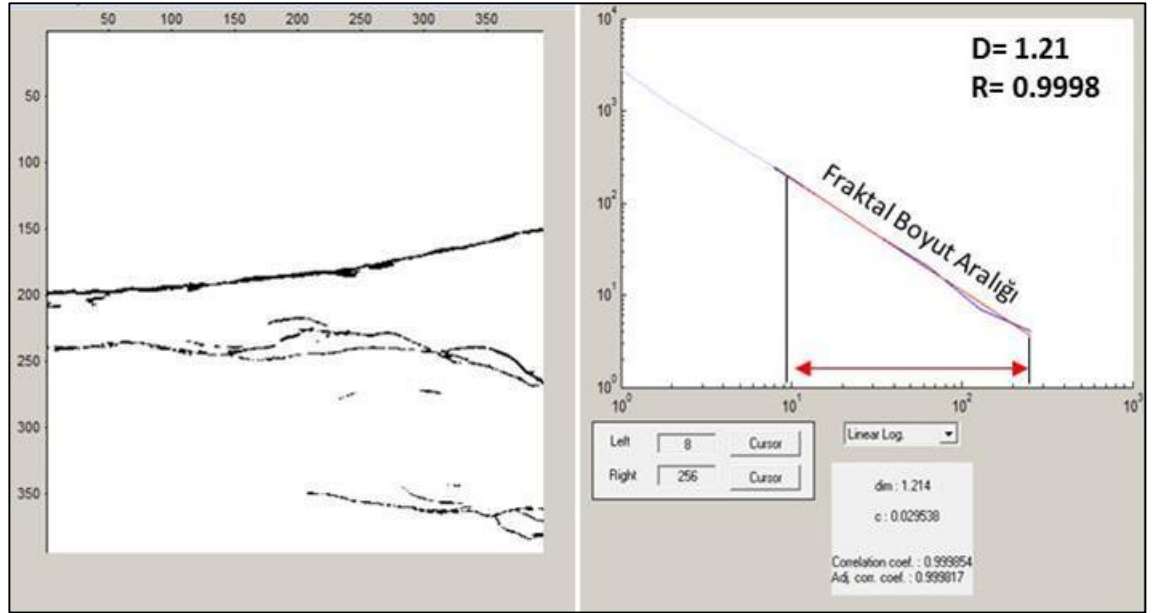
Şekil B.18: SAF₁₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



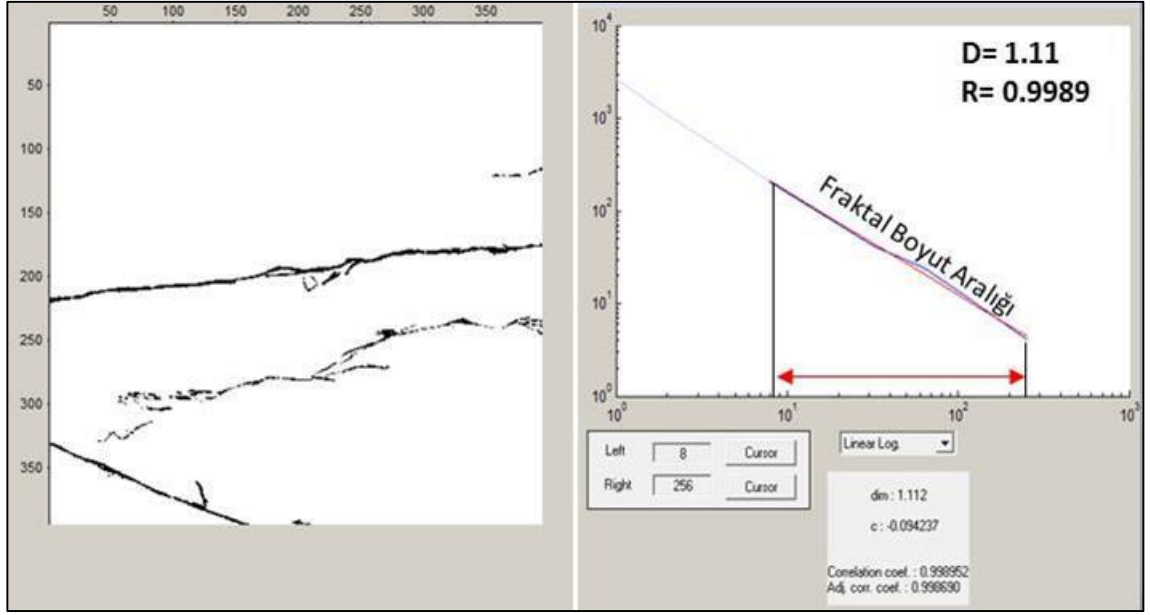
Şekil B.19: SAF₁₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



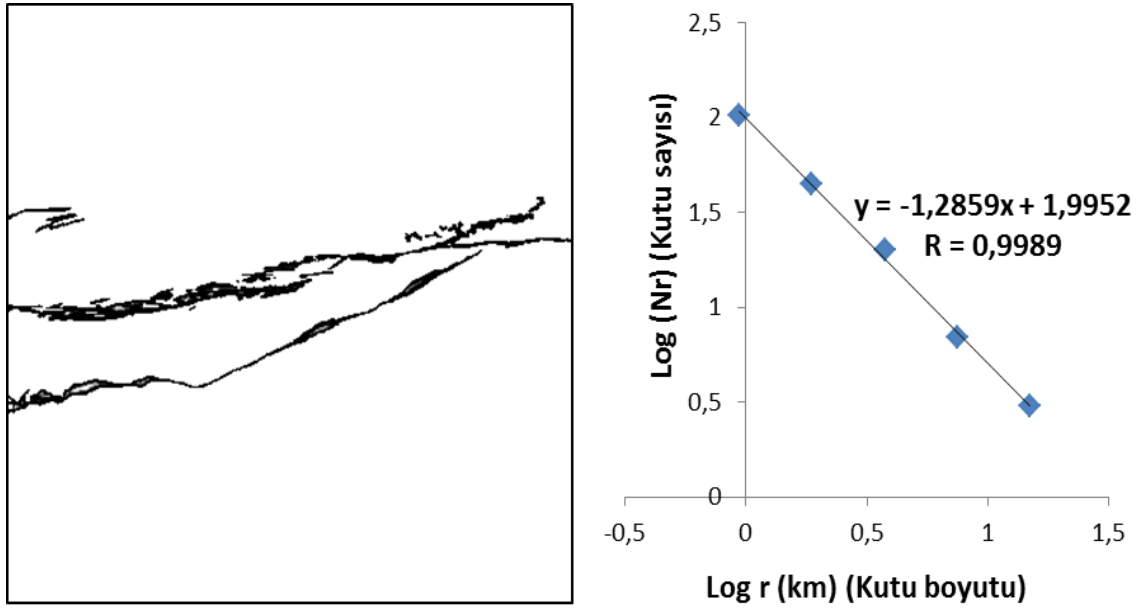
Şekil B.20: SAF₂₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



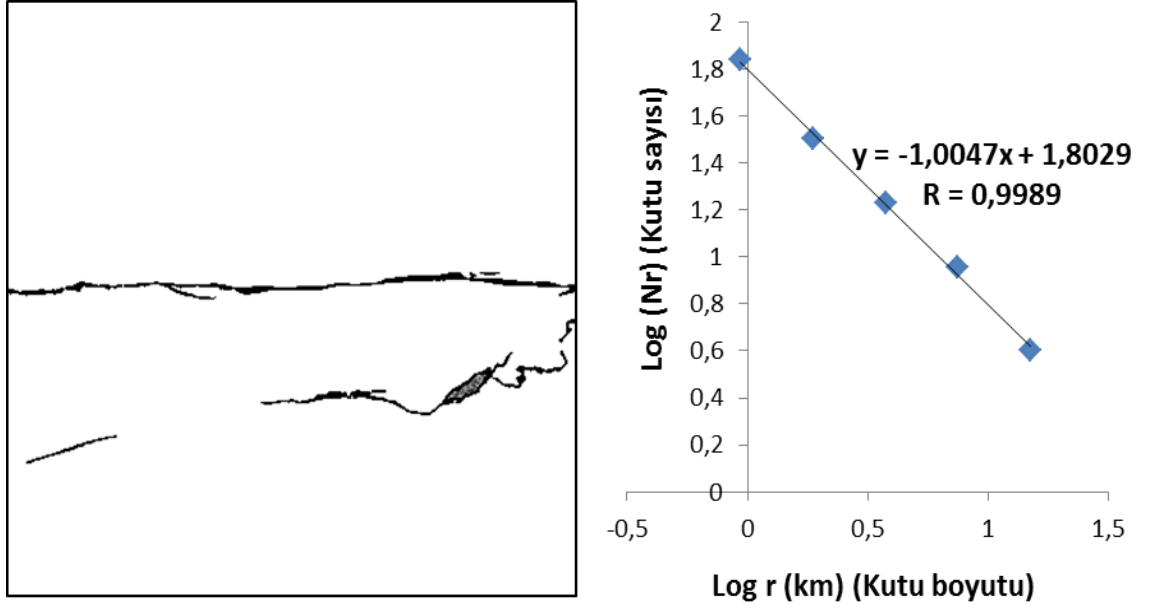
Şekil B.21: SAF₂₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



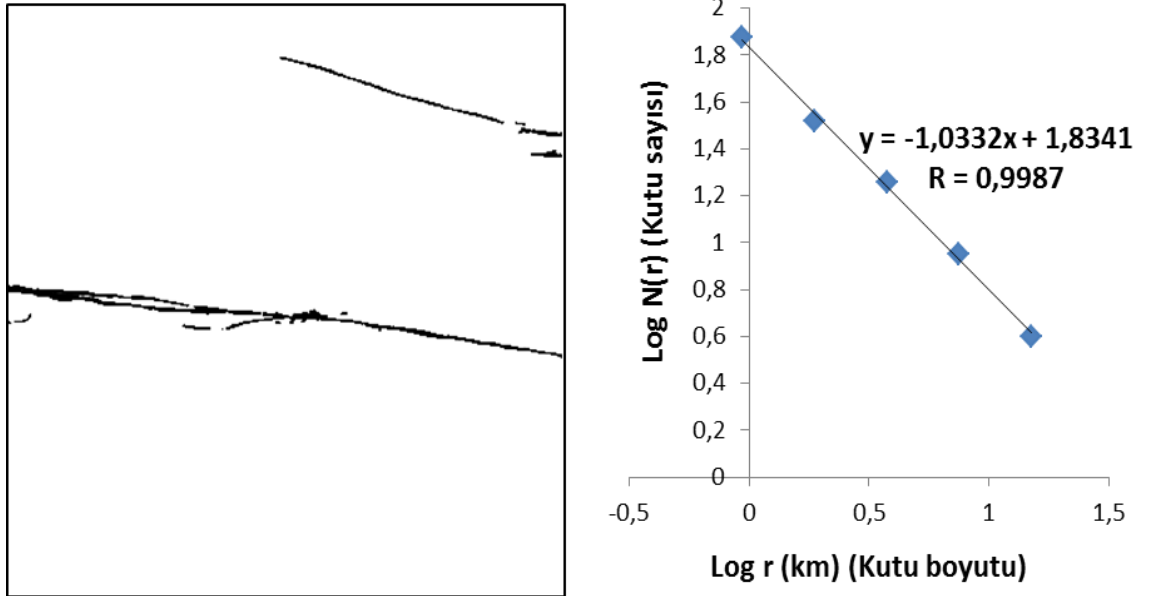
Şekil B.22: SAF₂₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



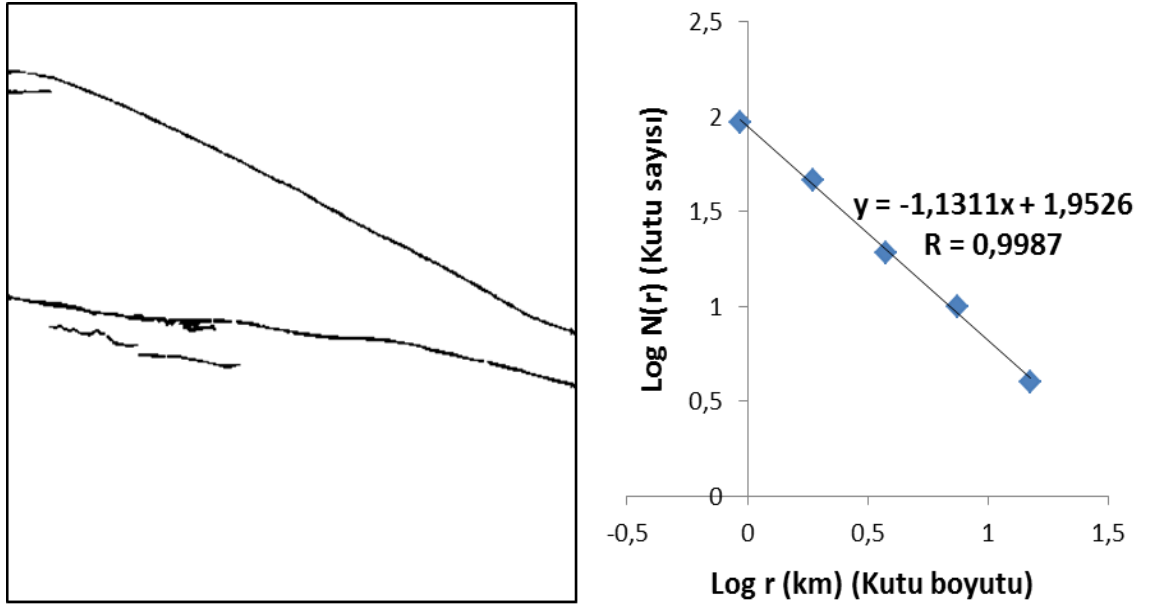
Şekil B.23: SAF₂₃ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



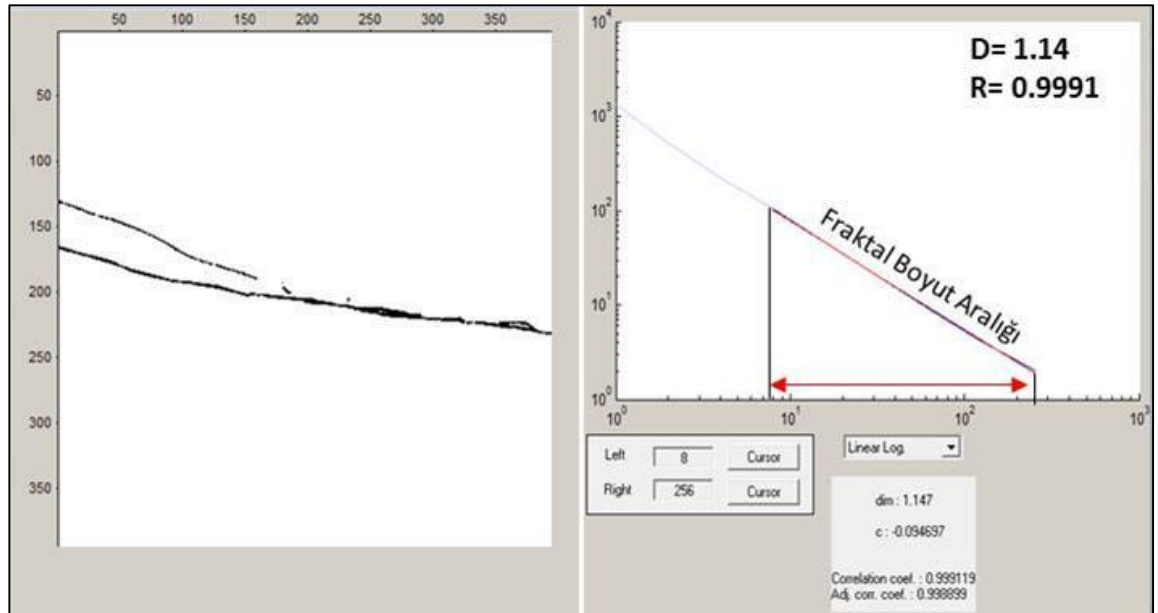
Şekil B.24: SAF₂₄ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



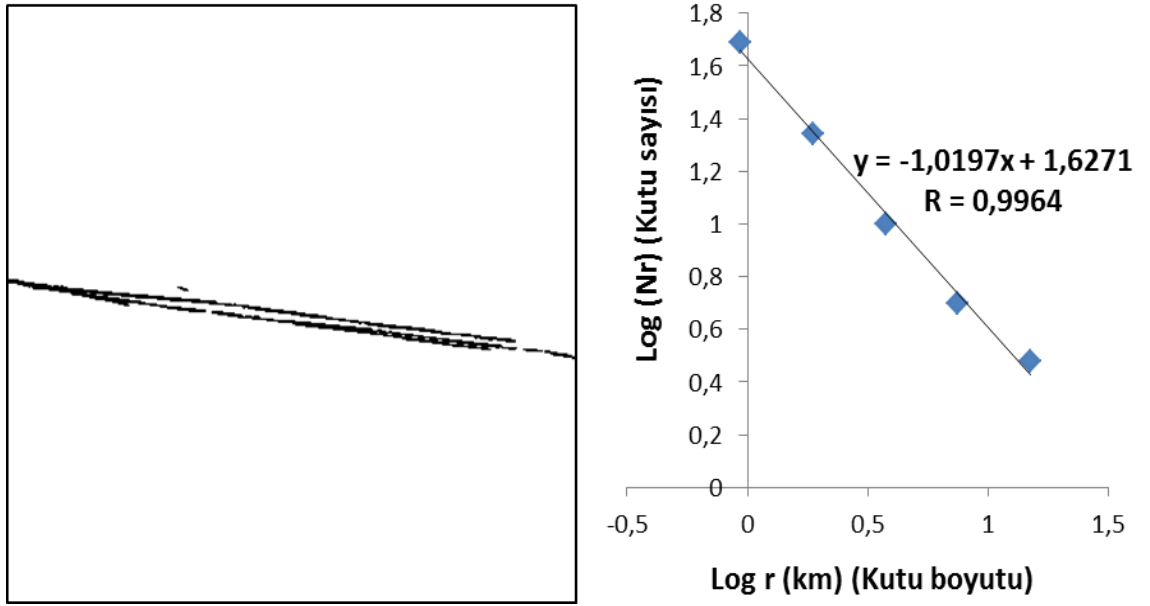
Şekil B.25: SAF₂₅ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



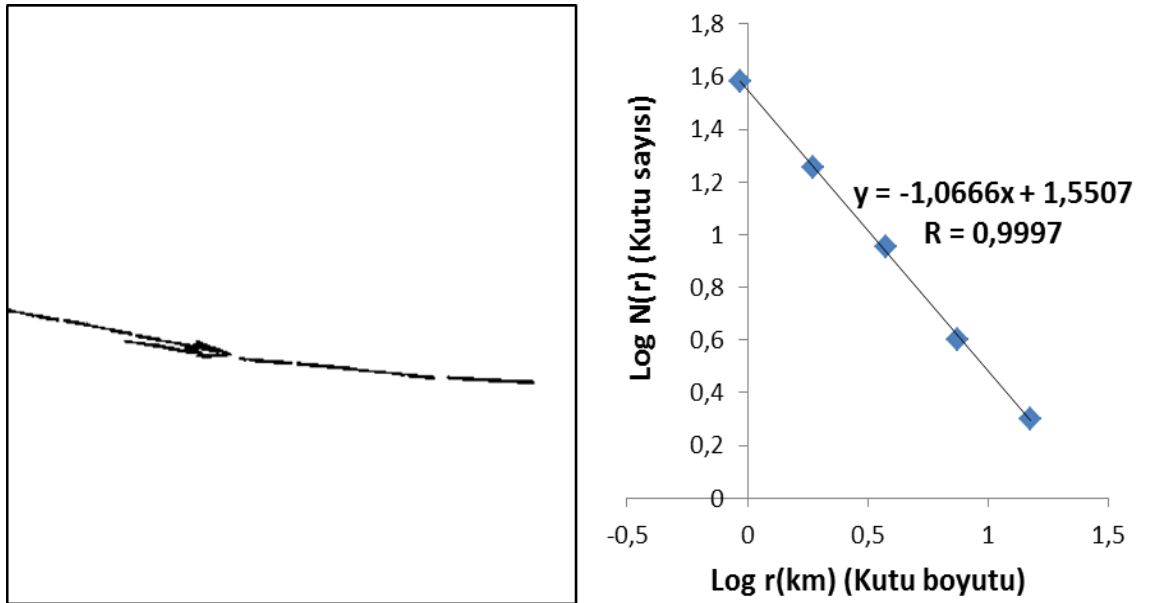
Şekil B.26: SAF₂₆ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



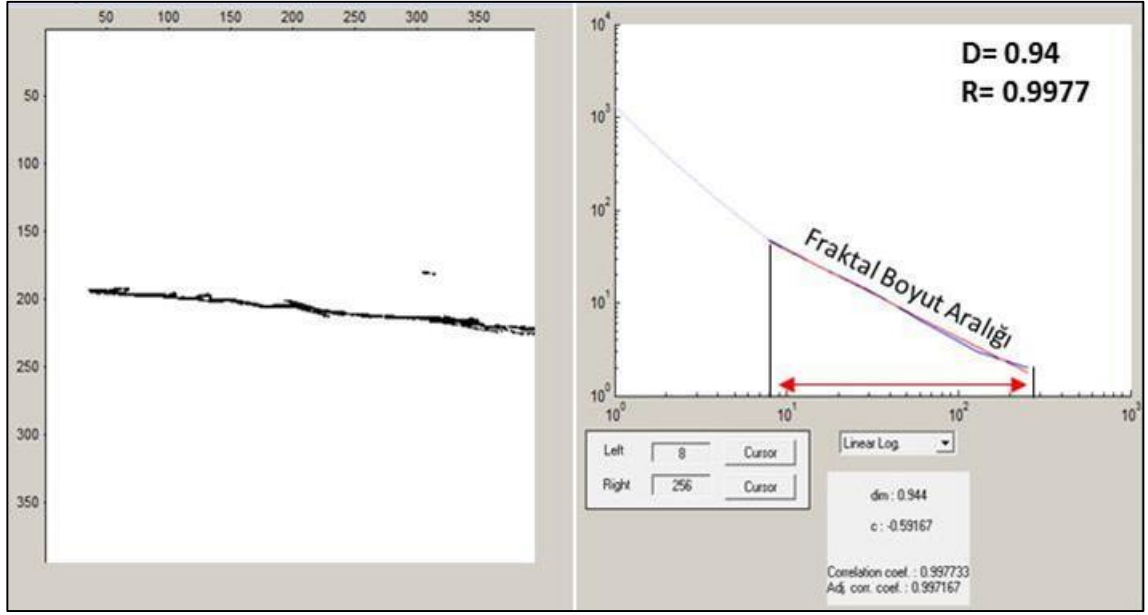
Şekil B.27: SAF₂₇ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Grid) uygulaması.



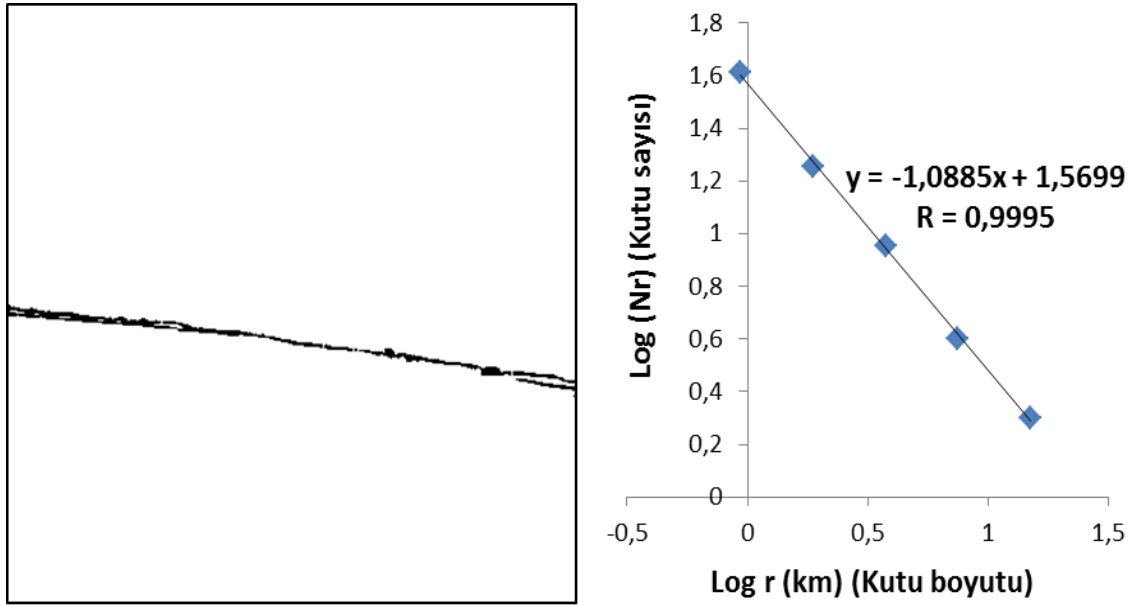
Şekil B.28: SAF₂₈ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



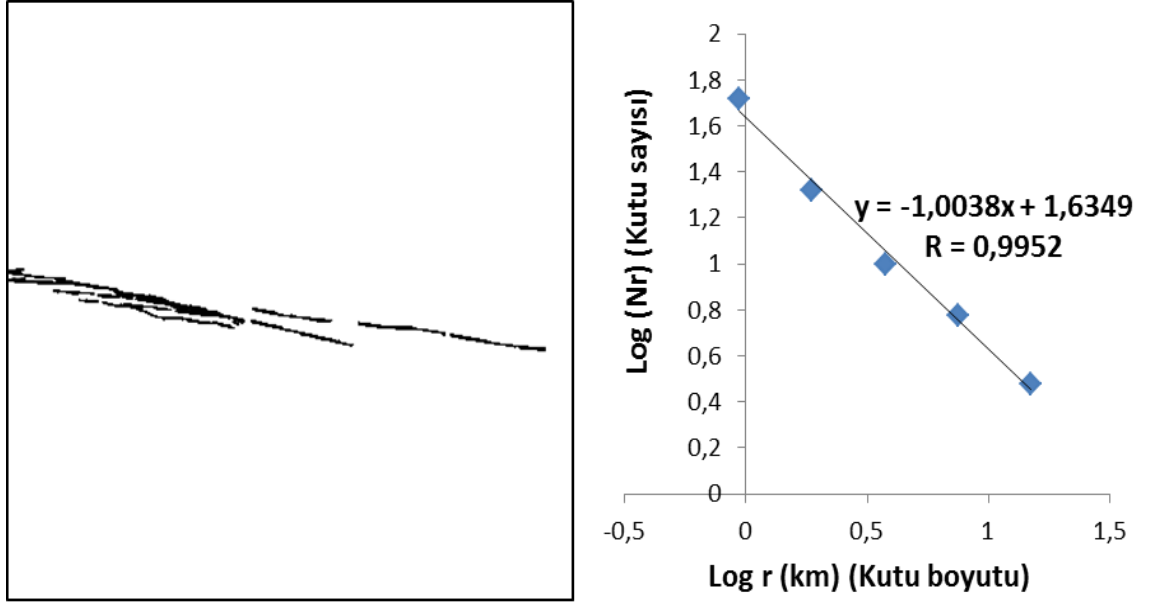
Şekil B.29: SAF₂₉ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



Şekil B.30: SAF₃₀ kutusal alan için kutu sayma yönteminin modern (Free Box) uygulaması.



Şekil B.31: SAF₃₁ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.



Şekil B.32: SAF₃₂ kutusal alan için kutu sayma yönteminin klasik uygulaması.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Ebru AYDINDAĞ
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	21.01.1989, Bakırköy
Telefon	(0535) 7781558
E-mail	ebruaydindag@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Mühendislik Bilimleri Bölümü /	2015
Lisans	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi/Matematik	2012
Lise	Gelenbevi Lisesi/Yabancı Dil Ağırlıklı Lise	2006

Makaleler / Bildiriler

<p>Aydındağ, E., Öncel A.O, Temel S., 2014, "Kentsel Dönüşümde Riskli Alanların İzlenmesinde Sosyal Katılım:101 Deprem Evi Projesi", <i>Kentsel Dönüşümün Sosyal Boyutu Sempozyumu</i>, ABE Yayıncılık ISBN:978-605-65722.</p> <p>Temel, S., Öncel A.O, Aydındağ, E., 2014, "Kentsel Dönüşümde Yapılaşma Jeofiziği ve Sosyal Risk Boyutunun Değişimi", <i>Kentsel Dönüşümün Sosyal Boyutu Sempozyumu</i>, ABE Yayıncılık ISBN:978-605-65722.</p> <p>Aydındağ, E., Öncel, A. O., 2015, Kuzey Anadolu Fay Zonunda Aktif Fay Verilerinin Fraktal analizi, <i>19. Aktif ve Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı</i>, 7-9 Ekim 2015, Sakarya (Poster Sunu).</p>
--