



Agregaların köşelliliğinin ve pürüzlülüğünün belirlenmesinde fraktal boyut yönteminin kullanılması

Use of the fractal dimension method for determining the angularity and surface roughness of aggregates

Ersin KOLAY

Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 66200, YOZGAT

Kamil KAYABALI

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100, ANKARA

Geliş (received) : 24 February 2005

Kabul (accepted) : 05 July 2005

ÖZ

Süreksizlik yüzeylerinin dalgalılığı ve pürüzlülüğü ile agregaların köşellilik ve pürüzlülüğü değişik amaçlı mühendislik çalışmalarına konu olmaktadır. Bu özellikler; kimi zaman nitel, kimi zaman da nicel olarak değerlendirilmektedir. Bazı deneysel çalışmalarda agregaların şekil ve köşelliliğinin belirli koşullara göre hazırlanması gerekliliği vardır. Bu nedenle, agregaların köşellilik ve pürüzlülüğü pek çok araştırmacı tarafından nitel ve nicel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise, agregaların köşellilik ve pürüzlülük özellikleri fraktal analiz ile nicel olarak tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında, laboratuvara getirilen kaya bloklarından köşeli, yarı köşeli ve yuvarlatılmış olmak üzere üç grupta, her grup için 120' şer örnek hazırlanmıştır. Bu örneklerin dörder profillerine ait fraktal boyut değerlerinden (bir grup için 480 profil) her grubun köşellilik ve pürüzlülüğünü ifade eden ortalama fraktal boyutları (D_{ort}) hesaplanmıştır. Köşeli agregaların ortalama fraktal boyutu 1.047, yarı köşeli agregaların 1.037 ve yuvarlak agregaların ise 1.030 olarak bulunmuştur. Ayrıca agregaların köşellilik ve pürüzlülüklerinin belirlenmesinde kolaylık sağlamak amacıyla, agregalara ait muhtemel profilleri ve bu profillerin fraktal boyutlarını gösteren bir kılavuz oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Agregalar, fraktal boyut, köşellilik, yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

The waviness and roughness of discontinuity surfaces as well as the angularity and surface roughness of aggregates have been the subject of various engineering investigations. These features are treated using both quantitative and qualitative methods. Certain experimental investigations require that aggregates be prepared upon specific surface features such as angularity and roughness. In this regard, the angularity and surface roughness of aggregates have been analyzed by various investigators both quantitatively and qualitatively. This study handles the angularity and surface roughness of aggregates utilizing the concept of fractal dimension in a quantitative manner. Within the context of the study, large chunks of rocks were brought to the laboratory and broken into pieces as angular, subangular, and spherical shapes. Each group consisted of 120 samples. Four surface profiles were prepared for each sample to be assessed for fractal dimension. The average fractal dimension (D_{avg}) for each sample in every group was calculated. The average fractal dimensions of angular, subangular and spherical aggregates were found to be 1.047, 1.037, and 1.30, respectively. The final product of the study is a guide consisting

of various surface profiles along with the accompanying fractal dimensions. It is intended to provide ease of use for determining the fractal dimension of various angularities and surface roughness profiles of aggregates.

Key Words: Aggregate, fractal dimension, angularity, surface roughness.

GİRİŞ

Tanelerin köşelilik ve pürüzlülük özellikleri, zemin kütlelerinin mühendislik davranışı ve kaya parçaları ile yapılan deneysel çalışmaların (örneğin ıslak kararlılık indeksi tayininde) sonuçları üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca sedimantolojik ortam analizleri de, tanelerin köşelilik ve pürüzlülük özellikleri göz önüne alınarak yapılmaktadır. Morris (1959), Holtz ve Kovacs (1981) ve Cernica (1995), kütle içindeki agregaların profili ne kadar köşeli ve pürüzlü ise, içsel sürtünmesinin de o denli fazla olduğunu belirtmektedirler. Tanelerin taşınmayla birlikte yuvarlatılmış ve düzleştirilmiş hale gelmesi, moloz kütlelerinin içsel direncine ve taşınabileceği mesafeye etki etmektedir (Scheidegger, 1973). Boggs (1995), sedimanların şeklinin ve pürüzlülüğünün; tanelerin taşınma koşulları, bileşimleri, büyüklükleri, taşınma mesafeleri ve kütlelerin gözeneklilikleri ile yakından ilişkili olduğunu belirtmektedir. Islak kararlılık (suda dağılmaya karşı duraylılık) deneyinin küresel-yuvarlatılmış kaya parçaları ile yapılması önerilmektedir (ISRM, 1981; ASTM, 1990). Ancak kayaların doğası gereği, bu tür parçaların hazırlanması çoğu zaman mümkün olamamakta ve ıslak kararlılık deneyi farklı köşelilik ve pürüzlülüklerde hazırlanmış kaya parçaları ile yapılmaktadır. Aynı kaya türünden oluşturulmuş yuvarlak ve köşeli grupların ıslak kararlılık indeksi değerleri arasında % 25'e varan farklar meydana gelmektedir. Bu nedenle, ıslak kararlılık indeksleri değerlendirilirken, deneye tabi tutulan kaya parçalarının şekil ve pürüzlülük özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Kolay, 2004; Kolay vd., 2004).

Zemin tanelerinin ve kaya parçalarının köşelilik ve pürüzlülük özelliklerini sedimanter petrologlar tarafından geliştirilen kurallara göre nitel olarak ifade etmek mümkünse de, bu yöntem jeoteknik uygulamalarında sıkça başvurulan bir yöntem değildir (Holtz ve Kovacs, 1981). Özellikle son yıllarda gelişen model çalışmalarında, kullanılan verilerin sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, jeoloji ve inşaat mühendis-

liği çalışmalarında kullanılmak üzere, tanelerin köşelilik ve pürüzlülüğünün fraktal boyut yöntemiyle nicel olarak ifade edilmesi amaçlanmıştır.

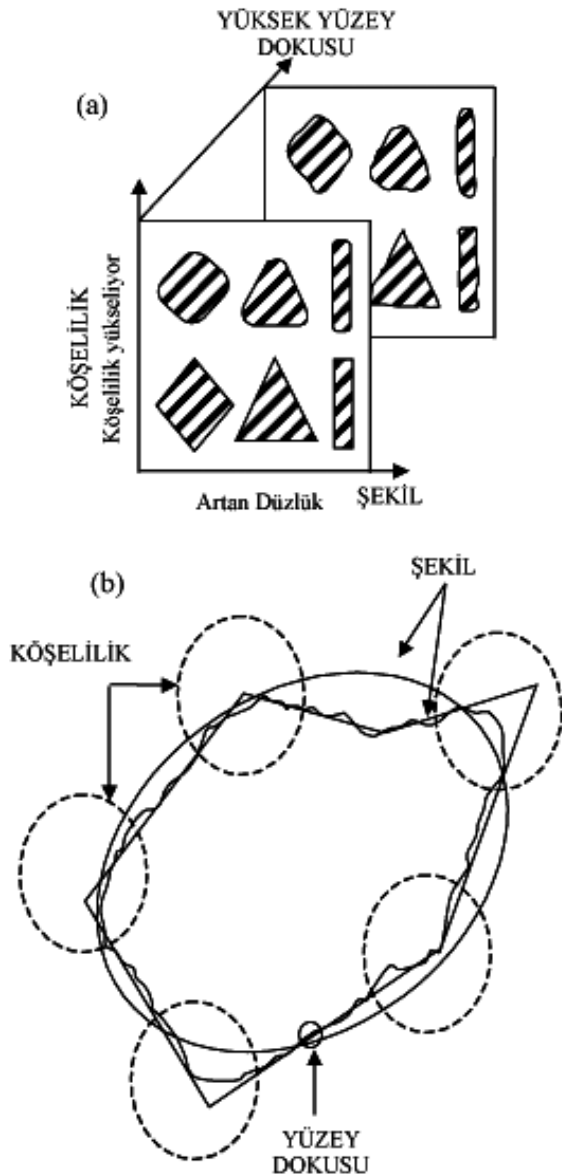
AGREGALARIN KÖŞELİLİK VE PÜRÜZLÜLÜK TANIMLAMALARI

Bir agreganın profili; şekli, köşeliliği ve yüzey dokusundan oluşmaktadır (Şekil 1). Pettijohn (1957), bir agreganın şeklinin; farklı doğrultularda ölçülen çapların göreceli farklılığını, köşeliliğinin profildeki kenar ve köşelerin göreceli keskinliğini ve yüzey dokusunun (pürüzlülük) ise, agrega yüzeyinin çizilebilirliği ile yüzeydeki girinti-çukurlukları ifade ettiğini belirtmektedir. Agreganın şekli, Şekil 2'dekine benzer sınıflandırmalar yardımıyla belirlenmektedir. Agreganın köşeliliği (ρ); agreganın tüm köşelerinin ortalama yarıçapı (ρ_{ort}) ile agreganın içine çizilen en büyük çemberin (Şekil 3) çapı arasındaki orandan bulunmakta ve sınıflandırılmaktadır (Pettijohn, 1957). Jeoteknik mühendisleri, Şekil 2'yi ve Çizelge 1'i, kaya profillerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanmışlardır (MacIver, 1967). Clayton vd. (1995), çakılların köşeliliğinin Şekil 4'deki gibi tanımlandığını belirtmektedir. Powers (1953)'ün sedimanter taneler için, tanelerin görünümüne göre geliştirdiği yuvarlaklık ölçeği ise, Şekil 5'de görülmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, Powers (1953), Barret (1980) ve Clayton vd. (1995), tanelerin şekil ve köşeliliğini nitel olarak tanımlamışlardır. Bu tanımlamaların uygulamalı jeoloji ve sedimantolojile ilgili model çalışmalarında, bu halleriyle kullanılması mümkün değildir. Pettijohn (1957)'un yönteminde ise; tanelerin köşeliliği ifade edilirken, özellikle tane yüzey dokusu yani pürüzlülük ifade edilmemektedir. Bu çalışmada kullanılan fraktal analiz yönteminde ise, yöntem gereği tanenin tüm profili analiz edildiği için, hesaplanan fraktal boyut değeri (D) tanenin şeklini, köşeliliğini ve pürüzlülüğünü birlikte ifade etmektedir.

FRAKTAL ANALİZ

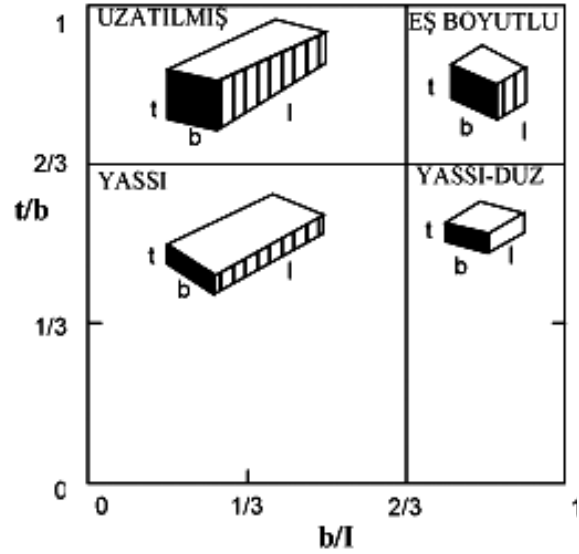
Bu çalışmada, bir agreganın köşeliliği ve pürüzlülüğü; fraktal analiz yöntemiyle agreganın fark-



Şekil 1. Tane şeklinin (şekil, yuvarlaklık ve yüzey dokusu) basitleştirilmiş grafiksel gösterimi: (a) parametreler arasındaki bağımsız ilişki ve (b) hiyerarşik ilişki (Barret, 1980 ve Boggs, 1995' ten).

Figure 1. Simplified graphical representation of particle form, roundness, and surface texture. (a) independence of these parameters, and (b) their hierarchical relationship (after Barret, 1980, and Boggs 1995).

lı yüzeylerine ait profillerin köşelliliğini ve pürüzlülüğünü belirten fraktal boyutlarının (D) hesaplanması ve ortalamalarının alınmasıyla ifade edilmiştir. Matematiğin bir alanı olan öklit geometrisi; noktaların, çizgilerin ve hacimlerin özellikleri ve ölçüleriyle ilgilidir. Örneğin; topo-



Şekil 2. Tane şekillerinin sınıflandırılması (Vallejo, 1994).

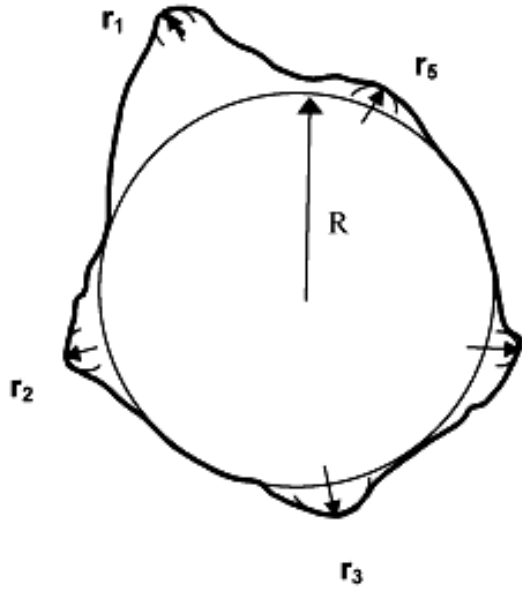
Figure 2. Classification for grain shapes (Vallejo, 1994).

lojik boyutlar olarak da adlandırılan tam düz çizgi 1-boyutlu, ideal düzlem 2-boyutlu ve ideal küre 3-boyutlu özellik göstermektedir. Öklit geometrisine göre, doğru çizgileri mükemmel doğru çizgileri ve eğriler de mükemmel bir dairenin yaylarıdır. Doğada bulunan dağlar, kıyılar, nehir sistemleri, bulutlar ve ağaçlar gibi nesne ve şekillerin alışlagelmiş klasik öklit geometrisiyle tam olarak tanımlanamaması, fizik ve matematik alanında yeni fikirlerin ve geometrik kavramların gelişmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, fraktal geometri kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram, öklit geometrisi ve rastgelelik arasındaki sınıra oturmaktadır (Haston, 1996).

Fraktal geometri kavramı ilk kez, Mandelbrot (1967) tarafından, doğada bulunan düzensiz şekillere sahip cisimlerin (metal yüzeyleri, ülke

Çizelge 1. Köşellilik sınıflaması (Pettijohn, 1957).
Table 1. Classification for angularity (Pettijohn, 1957).

Sınıf	$\rho = (r_{ort}) / R$
Köşeli	0 – 0.15
Yarı köşeli	0.15 – 0.25
Yarı yuvarlak	0.25 – 0.40
Yuvarlak	0.40 – 0.60
Son derece yuvarlak	0.60 – 1.00



Şekil 3. Köşellik sınıflandırmasında kullanılan çapların belirlenmesi (Pettijohn, 1957).
Figure 3. Radii of curvature of particle corners used for angularity classification (Pettijohn, 1957).

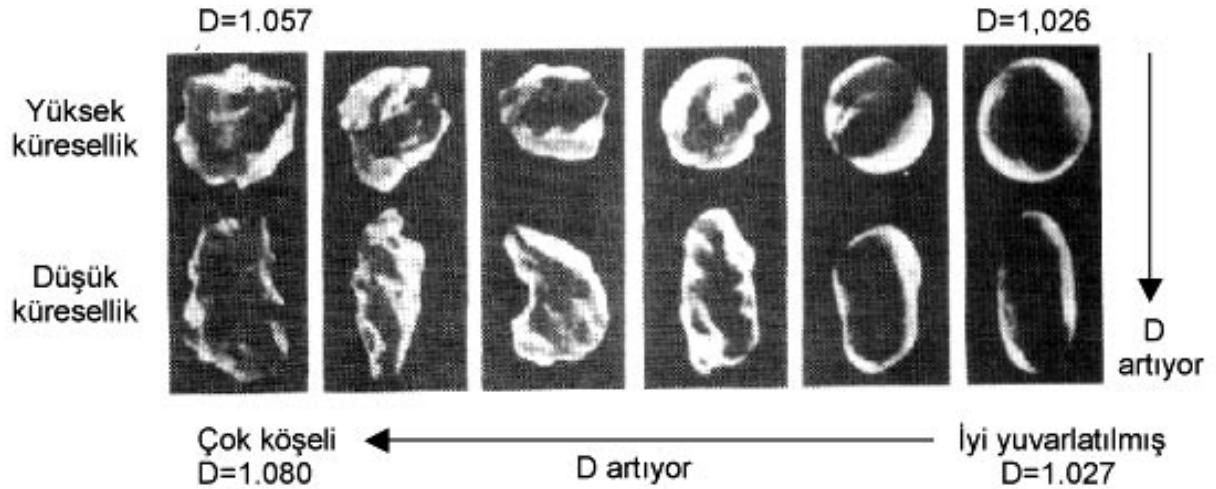
sınırları) geometrilerini tanımlamak amacıyla önerilmiştir. Mandelbrot (1967) tarafından latince fractus' dan türetilen ve düzensiz şekillerin geometrisini nicel olarak tanımlamak için kullanılan fraktal boyut (fractal dimension), kırılma ve parçalara ayırma anlamına gelmektedir.

Benzerlik (self-similar) ve eşlenik (self-affine) yöntemler, fraktal boyutun (D) belirlenmesinde

	YUVARLAK
	YARI YUVARLAK
	YARI KÖŞELİ
	KÖŞELİ

Şekil 4. İri zemin tanelerinin köşelliliği (Clayton vd., 1995' den).
Figure 4. The angularity of coarse soil grains (after Clayton et al., 1995).

kullanılan önemli yöntemlerdir (Haston, 1996). Power ve Tullis (1991), doğal süreksizlik profillerinin istatistiksel olarak benzerlik göstermesin-



Şekil 5. Sedimanter tanelerin yuvarlaklığını belirlemede kullanılan agrega şekilleri (Powers, 1953; Boggs, 1995' den).
Figure 5. Grain images for estimating the roundness of sedimentary particle (after Powers, 1953; Boggs, 1995).

Çizelge 2. Şekil 7' deki profile ait uzunluk ve fraktal boyut değerleri (Vallejo, 1994).
Table 2. Values of length and fractal dimensions of the profile in Figure 7 (Vallejo, 1994).

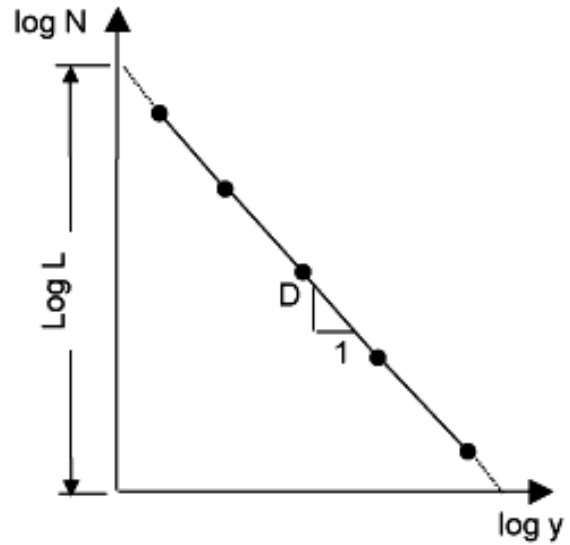
Parça uzunluğu, y (mm)	Parça sayısı, N	Profil uzunluğu L = Ny (mm)	Fraktal boyut, D
1	47.8	47.8	1.046
2	22.5	45.0	
4	11.2	44.8	
8	5.5	44.0	

den dolayı, fraktal boyut hesaplamalarında benzerlik yönteminin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmektedirler. Yaygın olarak kullanılan benzerlik yöntemleri bölme, geliştirilmiş bölme ve kutu yöntemleridir. Bu çalışmada agrega profillerinin fraktal boyutları belirlenirken, bölme yöntemini esas alan "fraktal programı" kullanılmış ve programın nasıl çalıştığı sonraki bölümde sunulmuştur.

Fraktal boyut, ilk kez deniz kıyısının uzunluğunun belirlenmesi çalışmalarında kullanılmış (Mandelbrot, 1967) ve kıyı uzunluğu cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Uzun ve kısa olmak üzere iki tür cetvel kullanılmış, kısa cetvel ile yapılan ölçümlerin daha sağlıklı olduğu belirlenmiştir. Bölenler bir mesafe (y: bölen aralık mesafesi) ile birbirinden ayrılmış ve kıyı şeridi boyunca tekrarlanmıştır. Kıyı şeridinin bitimine kadar olan aralık sayısı N ve kıyı şeridi uzunluğu ise L ile tanımlanmış olup, aralarındaki ilişki ise aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$L = Ny \quad (1)$$

Bölen aralık uzunluğunun değişimine bağlı olarak, kıyı şeridinin çevre uzunluğu da değişebilmektedir. Çünkü kıyı şeridi fraktal özellik göstermektedir. Eğer kıyı şeridi şekli bir öklit şekli (yani bir kare şekli) olsaydı, kıyı şeridinin çevre uzunluğu tüm bölen aralık mesafeleri (y) için sabit olacaktı. Böyle olmadığı için, kıyı şeridinin uzunluğu sabit kabul edilmemiştir. Bu konuda yapılan çalışmada (Mandelbrot, 1983), bölen aralıklarının sayısının (N) logaritması ile bölen aralık mesafesinin (y) logaritması arasında çizilen grafikten sabit bir eğimin elde edilebileceği gösterilmiştir. Eğimin (D) (Hausdorff ve Besicovitch boyutu) olarak tanımlandığı örnek Şekil 6' da, bu grafikten geliştirilen N ve y arasındaki sabit bağıntı ise aşağıda verilmiştir (Mandelbrot, 1983).



Şekil 6. Hausdorff ve Besicovitch grafiği (Mandelbrot, 1983).

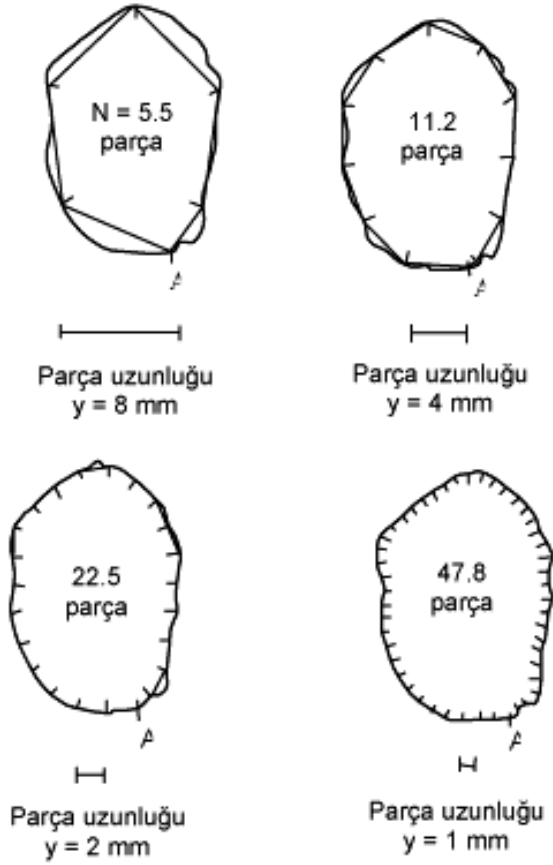
Figure 6. Graph of Hausdorff and Besicovitch (Mandelbrot, 1983).

$$N = Ly^{-D} \quad (2)$$

Bu eşitlik Carr ve Warrnier (1987) tarafından aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir.

$$\log N = \log L - D \log y \quad (3)$$

Fraktal boyut kavramı, Vallejo (1994) tarafından ıslak kararlılık deneyine tabi tutulan örneklerin deney öncesi ve 2. çevrim sonrası profil özelliklerini belirlemek, böylece aradaki değişimi ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Şekil 7'deki kaya ageragasına ait profilin fraktal boyutunun (D) belirlenmesi için planlı yürüyüş tekniği kullanılmıştır. Şekil 7'deki agreganın profiline ait çevre uzunluğunu (L) ölçmek için, kumpasın sivri uçları belirli y mesafelerinde açılmakta ve profil üzerinde poligon yaratmak üzere kumpas hareket ettirilmektedir. Çoğunlukla bu hareketi ta-

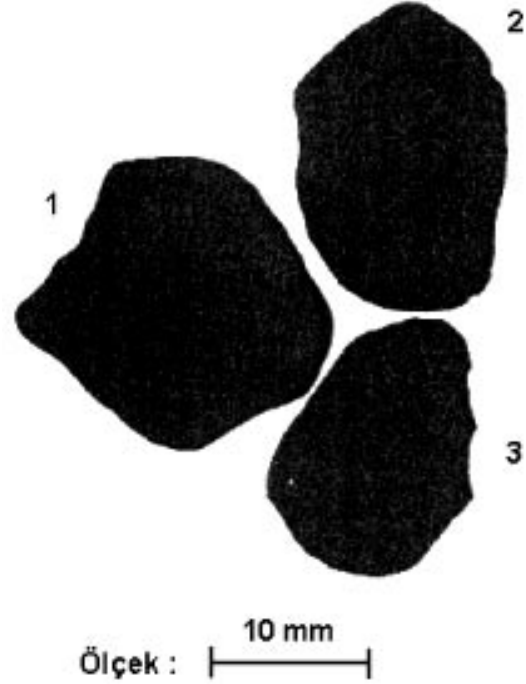


Şekil 7. Agreganın profilinin fraktal boyutunun planlı yürüyüş tekniğiyle hesaplanması (Vallejo, 1994).

Figure 7. Calculation of the fractal dimension of aggregate profile using structured-walk technique (Vallejo, 1994).

mamlamak için küçük basamaklar gerekmektedir. Bu basamaklar (N) eklenerek toplam sayısı belirlenir. Agreganın çevre uzunluğu eşitlik 1' deki bağıntı yardımıyla bulunmaktadır (Vallejo, 1994). Şekil 7'deki profilin, dört farklı y değeri ile elde edilen çevre uzunlukları Çizelge 2'de verilmiştir.

Mandelbrot (1977) ve Turcotte (1992)'ye göre; parçaların sayısı (N) ile parçaların uzunlukları (y) arasında logaritmik olarak çizgisel bir ilişki varsa, agreganın bu profili fraktal profil özelliği göstermektedir. y ve N arasındaki ters eğimli doğrusal ilişkinin eğiminin mutlak değeri, profilin fraktal boyutunu (D) belirtir. D, profilin köşeliliğinin ve pürüzlülüğünün bir ölçüsüdür (Vallejo, 1994). Bir profile ait fraktal boyut değeri eşitlik 4' deki bağıntı yardımıyla da bulunabilmektedir.



Şekil 8. Üç agregaya ait profiller (Vallejo, 1994).
Figure 8. Profiles for three aggregates (Vallejo, 1994).

Şekil 8 ve Çizelge 3'de bazı agregalara ait fraktal boyut değerleri görülmektedir (Vallejo, 1994).

$$D = - \frac{\sum (\log_{10}(N) \log_{10}(y)) - (\sum \log_{10}(N) \sum \log_{10}(y)) / J}{\sum (\log_{10}(y))^2 - (\sum \log_{10}(y))^2 / J} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte J, parça uzunluğu sayısıdır.

Agregaların Fraktal Boyutlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, agregalarının fraktal boyut değerleri, FORTRAN programlama dilinde kodlanmış Fraktal programı kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan kaya türleri ve alındığı yerler Çizelge 4'de verilmiştir. Bir agregaya ait fraktal boyutun belirlenmesi sırasında yapılan işlemlerin ayrıntısı aşağıda sunulmuştur.

Çalışmanın başlangıcında, araziden getirilen kaya bloklarından kırılarak elde edilen agregalara ait profiller tarayıcı kullanılarak bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Tarayıcı ile elde edilen bir profil agreganın yüzeyini iki boyutta ifade etmektedir. Gerçekte ise, agregalar üç boyutludur. Dolayısıyla bir agreganın şekil ve pürüzlü-

Çizelge 3. Şekil 8'deki profillerin fraktal boyutunun hesaplanmasında kullanılan değerler (Vallejo, 1994).

Table 3. Values used in calculation of the fractal dimension of profiles in Figure 8 (Vallejo, 1994).

Agrega No.	Parça uzunluğu, y (mm)	Parça sayısı, N	Fraktal boyut, D
1	54.3	1.074	
2	24.6		
4	12.4		
8	5.7		
1	47.8	1.046	
2	22.5		
4	11.2		
8	5.5		
1	42.5	1.082	
3	19.1		
4	9.5		
8	4.4		

lüğünün üç boyutlu olarak ifade edilebilmesi için, her agreganın dört farklı yüzeyi taranmış ve elde edilen profilin fraktal boyutu hesaplanmıştır. Agreganın dört profiline ait fraktal boyut değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, bulunan ortalama fraktal boyut değeri (D_{ort}), o agreganın şekil ve pürüzlülüğü olarak ifade edilmiştir. Bilgisayar ortamına aktarılan agrega profilinin sınırları poligon şeklinde sayısallaştırılarak veri dosyası oluşturulmuştur. Daha sonra bu dosyadaki veriler kullanılarak, ilgili profile ait fraktal boyut değeri Fraktal programı yardımıyla hesaplanmıştır. Sayısallaştırılan tane profili, program tarafından öncelikle 0.1 mm uzunluğundaki parçalara bölünmekte ve bölümle oluşan noktalara koordinatlar verilmektedir. Böylece tanenin profili, 0.1 mm gibi oldukça yüksek bir hassasiyetle tamamen sayısal hale getirilmiş olmaktadır. Bu

Çizelge 4. Bu çalışmada kullanılan kaya türleri ve alındıkları yerler.

Table 4. Types and locations of rocks used this study.

Kaya türü	Alındığı yer
Arkoz arenit	
Litik grovak	Sorgun (Yozgat)
Litik arenit	
Granit	Yozgat
İgnimbirit	Göreme (Nevşehir)
Litik tüf	Karşıyaka (Ankara)

işlem, tane profili üzerindeki planlı yürüyüş sırasında, parçaların başlangıç ve bitiş noktalarının profil üzerine yerleştirilmesini sağlamaktadır. Planlı yürüyüş tekniği sırasında kullanılan parça uzunlukları (y) ise, tanenin profil uzunluğunun 10, 20, 30, 40 ve 50' ye bölünmesiyle elde edilmiştir. Fraktal programının kaynak kodu Ek'de, yalınlaştırılmış akım şeması ise Şekil 9'da verilmiştir.

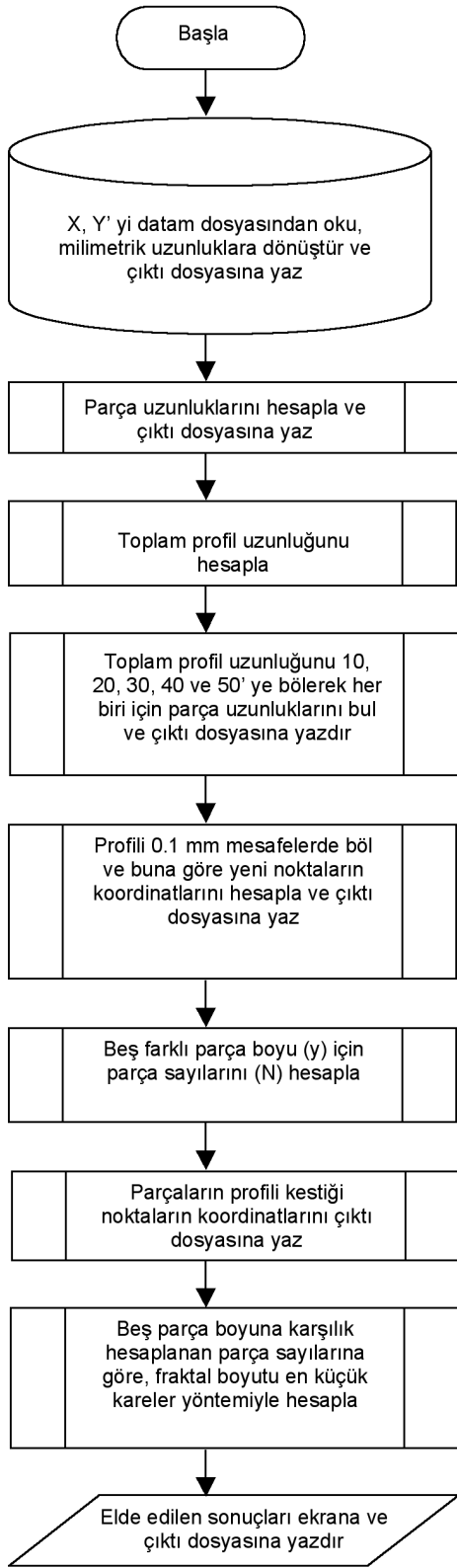
Başlangıçta çember, elips ve altıgen gibi profillerin fraktal boyutları yukarıda belirtilen yöntemler yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar $D_{(Daire)}=1.013$, $D_{(Elips)}=1.015$, $D_{(Altıgen)}=1.039$; $D_{(Daire)} < D_{(Elips)} < D_{(Altıgen)}$ olarak bulunmuştur (Şekil 10). Bu sonuçlar, "Fraktal" programının çalışma mantığının doğru olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca bu çalışmada Fraktal programı ile hesaplanan fraktal boyut değerleri (D) Şekil 10'daki bazı agregaların yanlarında verilmiştir. Şekil 10'dan da görüldüğü gibi, agregalar yuvarlaklıktan uzaklaştıkça, ayrıca agregaların köşeliliği ve pürüzlülüğü arttıkça fraktal boyut değerleri de büyümektedir.

Hesaplanan Fraktal Boyutların İstatistiksel Değerlendirmesi

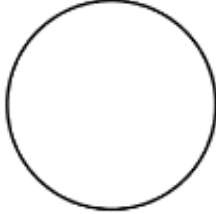
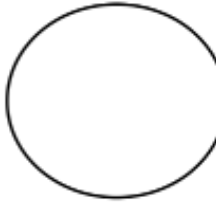
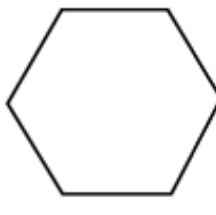

Bu çalışmada laboratuvara getirilen kaya bloklarından jeolog çekici, ucu keskinleştirilmiş özel çekiçler ve bıçaklar yardımıyla köşeli (K), yarı köşeli (Yk) ve yuvarlatılmış (Y) gruplar için 120' şer agregalar hazırlanmıştır (Şekil 11). Hazırlanan her agreganın dört profili sayısallaştırılarak bir grup için 480 veri elde edilmiştir. Her profilin fraktal boyut değeri ise, yukarıda açıklandığı gibi, fraktal analiz ile hesaplanmıştır. Gruplara göre fraktal boyut dağılımları Şekil 12'de görülmektedir. Üç gruptaki fraktal boyut değerlerinin istatistiksel parametreleri ise Çizelge 5'de verilmiştir.

Agrega gruplarının köşelilik ve pürüzlülüğü arttıkça, fraktal boyut değerlerinin dağılım genişliği ve standart sapma değerleri de artmaktadır. Köşeli grubun dağılım eğrisi standart normal dağılıma göre sola çarpık, yarı köşeli ve yuvarlak grupların dağılım eğrileri ise standart normal dağılıma yakın durumdadır. Gruplara ait ortanca ve ortalama değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle, gruplar ortalama değerleri ile



Şekil 9. Fraktal programının yalınlaştırılmış akım şeması.

Figure 9. Simplified flow diagram of Fractal programme.

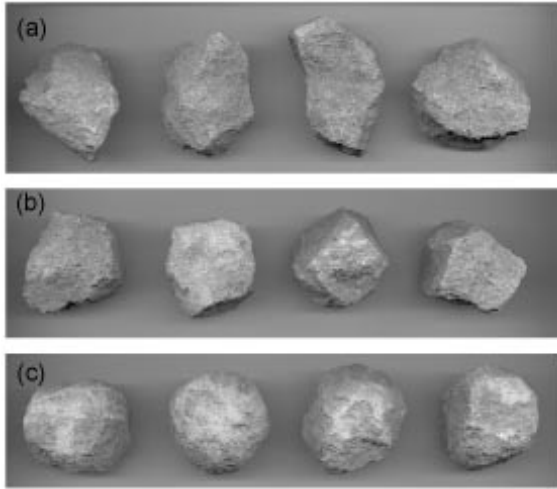
Profil	Fraktal boyut değeri, D
	1.013
	1.015
	1.039
	1.035

Şekil 10. Bazı profillerin Fraktal programı ile hesaplanmış fraktal boyut (D) değerleri .

Figure 10. The fractal dimension values of some profiles computed from the Fractal programme.

temsil edilmiştir. Yuvarlak gruptaki fraktal boyutların ortalaması 1.030, standart sapması 0.006, yarı köşeli gruptaki fraktal boyutların ortalaması 1.037, standart sapması 0.008 ve köşeli gruptaki fraktal boyutların ortalaması 1.047, standart sapması 0.014 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, agregaların köşelilik ve pürüzlülüğünün de yer aldığı model çalışmalarında kullanılabilir.

Tüm grupları kapsayan toplam 2880 fraktal boyut değeri incelendiğinde, çalışma sırasında ha-



Şekil 11. Bu çalışmada kullanılan (a) köşeli, (b) yarı köşeli ve (c) yuvarlatılmış guruba ait agregalar.

Figure 11. Aggregates of the (a) angular, (b) subangular and (c) rounded group used in this study.

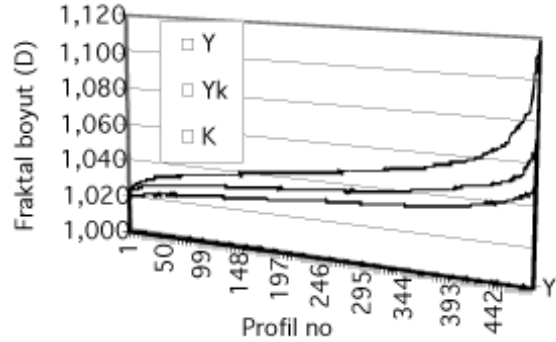
zırlanabilen en yuvarlak profili temsil eden en küçük fraktal boyut değeri 1.019, en köşeli profili temsil eden en büyük fraktal boyut değeri de 1.119 olarak bulunmuştur. Çalışmada hesaplanan en büyük fraktal boyut değerinin bu kadar yüksek olmasının nedeni; kullanılan agregaların sedimenter yolla değil, kaya bloğundan kırılarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Sedimenter yolla oluşan köşeli agregaların az da olsa bir taşınma süreci geçirmesi nedeniyle, köşelerinde ve yüzey pürüzlülüğünde bir miktar silinme olmaktadır. Buna karşın, laboratuvar ortamında elde edilen köşeli agregalarda taşınma aşaması olmadığı için, köşelerde ve yüzey pürüzlülüğünde silinme meydana gelmemektedir.

Çizelge 5. Gruplara göre fraktal boyut değerlerinin istatistiksel özellikleri.

Table 5. Statistical properties of fractal dimension values for certain groups.

Grup	Ortalama	Standart sapma	Ortalamanın standart hatası	Çarpıklık katsayısı	Ortalamanın %95 güven aralığında değişimi	
					Alt sınır	Üst sınır
K	1.047	0.014	0.00064	1.551	1.0460	1.0485
Yk	1.037	0.008	0.00038	1.011	1.0365	1.0380
Y	1.030	0.006	0.0028	0.594	1.0299	1.0310

K: Köşeli grup; Yk: Yarı köşeli grup; Y: Yuvarlatılmış grup



Şekil 12. Yuvarlak (Y), yarı köşeli (Yk) ve köşeli (K) agregalara ait 480 profilin fraktal boyut değerleri.

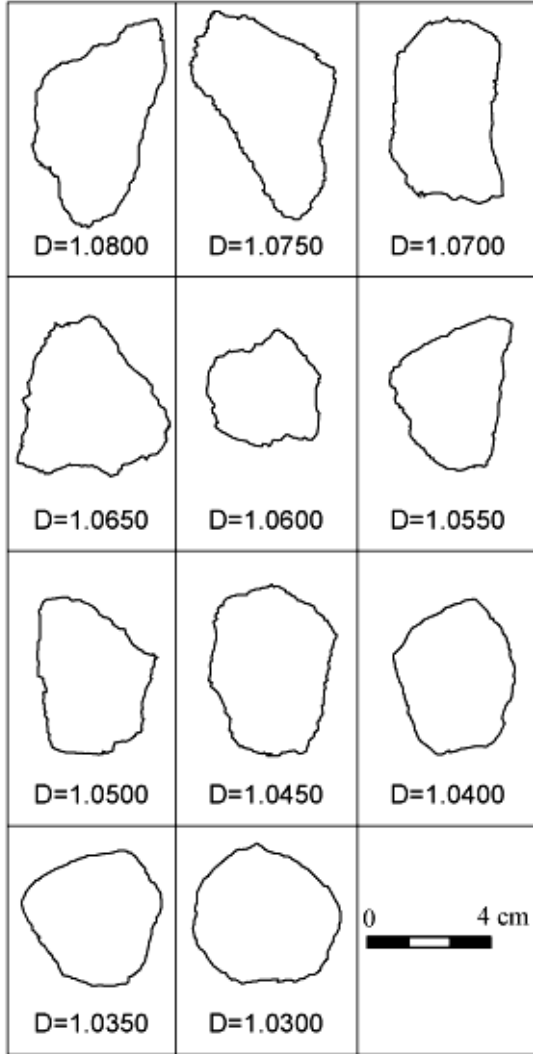
Figure 12. Fractal dimension values for 480 profiles related to rounded, subangular and angular aggregates.

Muhtemel agrega profillerine ait fraktal boyut değerlerinin kolay ve kısa sürede belirlenebilmesi için bir kılavuz hazırlanarak Şekil 13' te verilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sedimantolojik ortam analizlerinde ve bazı uygulamalı jeoloji çalışmalarında (kütlelerin içsel dirençleri, gözenekliliği, geçirimsizliği ve bazı deneysel çalışmalarda) göz önünde bulundurulmuş agregaların (tanelerin) köşellilik ve pürüzlülüğü, fraktal analiz ile modellenerek köşellilik ve pürüzlülük nicel olarak ifade edilmiştir.

Çalışmada, en küresel ve pürüzsüz durumu temsil eden ideal kürenin profiline ait fraktal boyut değeri 1.013, laboratuvar ortamında elde edilen en köşeli ve pürüzlü profilin fraktal boyut değeri ise 1.119 olarak hesaplanmıştır. Fraktal boyut değerlerine ait standart sapma değerinin yuvarlak grupta oldukça küçük, yarı köşeli ve köşeli gruplarda ise daha yüksek olmasının nedeni, yuvar-



Şekil 13. Bu çalışmada önerilen bazı agrega profilleri ve bu profillerin fraktal boyut (D) değerleri.
Figure 13. Some aggregate profiles and their respective fractal dimension (D) values suggested in this study.

lak agregaların birbirine oldukça benzer yüzeylerden-profillerden oluştuğunu, yarı köşeli ve köşeli grupların ise birbirinden oldukça farklılık gösteren yüzeylere-profillere sahip olduklarını göstermektedir.

Agregaların hem şekil, hem de pürüzlülük özellikleri fraktal boyut ile ifade edilebilmektedir. Bir agregaya ait fraktal boyutun hesaplanması ise, oldukça zor ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, jeoloji ve inşaat mühendisliği çalışmalarında karşılaşılabilecek muhtemel agrega profilleri ve bu profillere ait fraktal boyut değerleri için bir kıla-

vuz önerilmiştir. Gelecekte agregaların şekil ve pürüzlülüğünün de dikkate alındığı çalışmalarda, agregalara ait fraktal boyut değerleri bu şekildeki profiller ve fraktal boyut değerleri ile eşlenerek daha kolay ve kısa sürede belirlenebilecektir. Ayrıca bir agreganın şekil, köşelilik ve pürüzlülük özellikleri birlikte ifade edilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- ASTM, 1990. Standard test method for slake slake durability of shales and similar weak rocks (D4644). Annual Book of ASTM Standards Vol. 4. 08. ASTM, Philadelphia, PA, pp. 863-865.
- ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London.
- Barret, P.J., 1980. The shape of rock particles, a critical review. *Sedimentology*, 27, 291-303.
- Boggs, J.R., 1995. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. 2nd Edition, Prentice Hall, USA.
- Carr, J.R., and Warnier, J.B., 1987. Rock mass characterization using fractal dimension. *Proceedings of the 28th US Symposium on Rock Mechanics*, Tucson, Arizona, Balkema, Rotterdam, 73-80.
- Cernica, P.E., 1995. *Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, Canada.
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C., and Simons, N.E., 1995. *Site Investigation*. Blackwell Science Ltd, USA.
- Gerber, E., and Scheidegger, A.E., 1974. On the dynamics of scree slopes. *Rock Mechanics*, 6, 25-38.
- Haston, M.B., 1996. *Shear strength testing and fractal analysis of rock discontinuities*. Msc Thesis, The University of Tennessee, Knoxville, USA.
- Holtz, R.D., and Kovacs W.D., 1981. *Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall International, USA.
- Kolay, E., 2004. Düşük dayanımlı kayalarda yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indisine etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, (yayımlanmamış).
- Kolay, E., Kayabalı, K. ve Beyaz, T., 2004. Kil içeren bazı kayalarda deney örneklerinin şeklinin ıslak kararlılık deneyine etkisi. *Kayamek'2004. VII. Bölgesel. Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Sivas, 129-137.
- Mandelbrot, B.B., 1967. How long is the coast of Great Britain: Statical self similarity and the fractional dimension. *Science*, 156, 636-638.

- Mandelbrot, B.B., 1977. *Fractals: Forms, Chance and Dimension*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman, New York.
- Maclver, B.N., 1967. Engineering properties of nuclear craters: the formation and initial stability of slopes in cohesionless soils. United States Waterways Experiment Station, Vicksburgh, Miss., Technical Report, 3-699.
- Morris, H.C., 1959. Effect of particle shape and texture on the strength of noncohesive aggregates. American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication 254, 350-363.
- Pettijohn, F.J., 1957. *Sedimentary Rocks*. Harper Brothers. Inc., New York.
- Powers, M.C., 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, 117-119.
- Power, W.L., and Tullis, T.E., 1991. Euclidean and fractal models for description of rock surface roughness, *Journal of Geophysical Research*, B, Solid Earth and Planets, 1, 415-425.
- Scheidegger, A.E., 1973. On the prediction of the reach and velocity of the catastrophic landslides. *Rock Mechanics*, 5, 231-236.
- Turcotte, D.L., 1992. *Fractal and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, 95-102.
- Vallejo, L.E., 1994. Fractal analysis of the slake durability test. *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 1003-1008.

EK: Fraktal programının kaynak kodu (Fortran 77)

```

      FRAKTAL BOYUT HESAPLAMA PROGRAMI
      YAZAN: KAMIL KAYABALI

PROGRAM FRAKTAL
  REAL X(100),Y(100),PROFIL(100),TOPROUZ,DX,DY,PRNOKSAY,
  +
  PRONOKX(100,500),PRONOKY(100,500),NOKUMX(10000),NOKUMY(
  10000),
  + ILKNOKX,ILKNOKY,SONNOKX,SONNOKY,DXX,DYY,SEG-
  BOY,KONT1,KONT2,
  +
  SEGSA(500),SONX,SONY,TOPIX,TOPIY,TOPIY,TOPIXKARE,EGIM,U
  1,U2,U3,
  + U4,U5,S1,S2,S3,S4,S5,SEGKOORX(1000),SEGKOORY(1000)
  INTEGER SAY1,SAY2,SEGMUZ(5),SAY3,SAY4,SAY5,SAY6
  OPEN(UNIT=1,FILE='DATAM')
  OPEN(UNIT=12,FILE='OUTP')
  SAY1=0
  WRITE(12,*)" KOORD-X (mm) KOORD-Y (mm)"
*
* VERILERIN DOSYADAN OKUNMASI VE milimetrik UZUNLUKLARA
  DONUSTURULMESI
*
  10 READ(11,*)X(SAY1+1),Y(SAY1+1)
  IF(X(SAY1+1).LT.0) GO TO 20
  X(SAY1+1)=X(SAY1+1)*0.0254
  Y(SAY1+1)=Y(SAY1+1)*0.0254
  WRITE(12,*)X(SAY1+1),Y(SAY1+1)
  SAY1=SAY1+1
  GO TO 10
*
  20 WRITE(12,*)" PROFIL UZUN. (mm) X1 Y1 X2 Y2"
*
* PROFIL UZUNLUKLARININ HESAPLANMASI
*
  SAY2=0
  DO 30 I=1,SAY1
  SAY2=SAY2+1
  IF(SAY2.EQ.SAY1)THEN
  X(I+1)=X(I)
  Y(I+1)=Y(I)
  ENDIF
  PROFIL(I)=((X(I+1)-X(I))**2+(Y(I+1)-Y(I))**2)**0.5
  WRITE(12,510)SAY2,PROFIL(I),X(I),Y(I),X(I+1),Y(I+1)
  30 CONTINUE
*
* TOPLAM PROFIL UZUNLUGUNUN BULUNMASI
*
  TOPROUZ=0
  DO 40 J=1,SAY1
  TOPROUZ=TOPROUZ+PROFIL(J)
  40 CONTINUE
*
* SEGMENT UZUNLUKLARININ TAYIN EDILMESI
*
  WRITE(12,*)"TOPLAM PROFIL UZUNLUGU =",TOPROUZ,"
mm"
  SEGMUZ(1)=TOPROUZ/10
  WRITE(12,*)"BIRINCI SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(1),"
mm"
  SEGMUZ(2)=TOPROUZ/20
  WRITE(12,*)"IKINCI SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(2),"
mm"
  SEGMUZ(3)=TOPROUZ/30
  WRITE(12,*)"UCUNCU SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(3),"
mm"
  SEGMUZ(4)=TOPROUZ/40
  WRITE(12,*)"DORDUNCU SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(4),"
mm"
  SEGMUZ(5)=TOPROUZ/50
  WRITE(12,*)"BESINCI SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(5),"
mm"
  WRITE(12,*)"PROFIL NOKTALARI KUMESI, KOORD-X KOORD-
  Y"
*
* PROFILLERIN 0.1 mm UZUNLUKLARA BOLUNMESI
*
  SAY3=0
  DO 60 K=1,SAY1
  SAY4=0
  IF(SAY2.EQ.K)THEN
  X(K+1)=X(K)
  Y(K+1)=Y(K)

```

```

  ENDIF
  PRNOKSAY=PROFIL(K)/0.1
  SAY5=PRNOKSAY
  DX=X(K+1)-X(K)
  DY=Y(K+1)-Y(K)
*
* BULUNAN NOKTALARA KOORDINATLAR TAYIN EDILMESI
*
  50 SAY4=SAY4+1
  PRONOKX(K,SAY4)=X(K)+(SAY4-1)*DX/PRNOKSAY
  PRONOKY(K,SAY4)=Y(K)+(SAY4-1)*DY/PRNOKSAY
  SAY3=SAY3+1
  NOKUMX(SAY3)=PRONOKX(K,SAY4)
  NOKUMY(SAY3)=PRONOKY(K,SAY4)
  WRITE(12,520)PRONOKX(K,SAY4),PRONOKY(K,SAY4)
  IF(SAY4.LT.SAY5)GO TO 50
*
  60 CONTINUE
*
* BULUNAN TUM NOKTALARIN BIR DIZI ICINDE TOPLANMASI
*
  SAY6=0
  ILKNOKX=NOKUMX(1)
  ILKNOKY=NOKUMY(1)
  SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
  SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
  WRITE(12,*)" SEGKOORX(1) SEGKOORY(1)"
  WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
*
* 5 DEGISIK SEGMENT BOYU ICIN SEGMENT SAYILARININ HESA-
  PLANMASI VE
* SEGMENTLERIN KAPALI ALANI CEVRELEYEN PROFILLERİ KESTI-
  GI NOKTALARIN
* KOORDINATLARININ CIKTI DOSYASINA YAZDIRILMASI
*
  DO 70 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(1)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
  ILKNOKX=SONNOKX
  ILKNOKY=SONNOKY
  SONX=SONNOKX
  SONY=SONNOKY
  SAY6=SAY6+1
  SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
  SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
  WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
  KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
  SEGSAY(1)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(1)
  ENDIF
  70 CONTINUE
  SAY6=0
  ILKNOKX=NOKUMX(1)
  ILKNOKY=NOKUMY(1)
  SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
  SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
  WRITE(12,*)" SEGKOORX(2) SEGKOORY(2)"
  WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
  DO 80 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(2)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
  ILKNOKX=SONNOKX
  ILKNOKY=SONNOKY
  SONX=SONNOKX
  SONY=SONNOKY
  SAY6=SAY6+1
  SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
  SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
  WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
  KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
  SEGSAY(2)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(2)
  ENDIF
  80 CONTINUE
  SAY6=0
  ILKNOKX=NOKUMX(1)
  ILKNOKY=NOKUMY(1)
  SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)

```

```

SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(3) SEGKOORY(3)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 90 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(3)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY
    SAY6=SAY6+1
    SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
    SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
    WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
    KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
    SEGSAY(3)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(3)
  ENDIF
90 CONTINUE
SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(4) SEGKOORY(4)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 100 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(4)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY
    SAY6=SAY6+1
    SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
    SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
    WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
    KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
    SEGSAY(4)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(4)
  ENDIF
100 CONTINUE
SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(5) SEGKOORY(5)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 110 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(5)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY
    SAY6=SAY6+1
    SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
    SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
    WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
    KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
    SEGSAY(5)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(5)
  ENDIF
110 CONTINUE
*
* EN KUÇUK KARELER YONTEMI ILE FRAKTAL BOYUTUN HESA-
* PLANMASI
*
120 CONTINUE
U1=SEGMUZ(1)
U2=SEGMUZ(2)
U3=SEGMUZ(3)
U4=SEGMUZ(4)
U5=SEGMUZ(5)
S1=SEGSAY(1)
S2=SEGSAY(2)
S3=SEGSAY(3)
S4=SEGSAY(4)
S5=SEGSAY(5)
TOPX=LOG10(U1)+LOG10(U2)+LOG10(U3)+LOG10(U4)+LOG10(U5)
TOPY=LOG10(S1)+LOG10(S2)+LOG10(S3)+LOG10(S4)+LOG10(S5)
TOPXY=LOG10(U1)*LOG10(S1)+LOG10(U2)*LOG10(S2)+LOG10(U3)*
LOG10(S3)+
+ LOG10(U4)*LOG10(S4)+LOG10(U5)*LOG10(S5)
TOPXKARE=(LOG10(U1))**2+(LOG10(U2))**2+(LOG10(U3))**2
+ (LOG10(U4))**2+(LOG10(U5))**2
EGIM=ABS((TOPX*TOPY-5*TOPXY)/(TOPX**2-5*TOPXKARE))
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(1)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(1)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(2)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(2)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(3)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(3)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(4)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(4)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(5)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(5)
WRITE(12,*)"FRAKTAL BOYUT=",EGIM
WRITE(*,*)"TOPLAM PROFIL UZUNLUGU =",TOPPROUZ," mm"
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(1)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(1)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(2)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(2)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(3)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(3)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(4)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(4)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(5)," SEG.
SAYISI=",SEGSAY(5)
WRITE(*,*)"FRAKTAL BOYUT=",EGIM
510 FORMAT(3X,'PROFIL ',I3,=
',F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2)
520 FORMAT(30X,F6.2,5X,F6.2)
530 FORMAT(2X,'TOPLAM SEGMENT SAYISI ',I3)
540 FORMAT(2X,'TOPLAM SEGMENT UZUNLUGU ',F5.1,' mm')
END

```