

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRMATAŞ AGREGALARIN DANE BOYUTU DAĞILIMI VE ŞEKİSEL  
ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ ANALİZİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TURGAY KURT**

**HAZİRAN 2018**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRMATAŞ AGREGALARIN DANE BOYUTU DAĞILIMI VE ŞEKİSEL  
ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ ANALİZİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Turgay KURT**

**DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YİĞİT**

**ZONGULDAK**  
**Haziran 2018**

**KABUL:**

Turgay KURT tarafından hazırlanan “Kırmataş Agregaların Dane Boyutu Dağılımı ve Şekilsel Özelliklerinin Görüntü Analizi Kullanılarak Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 18/06/2018

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YİĞİT

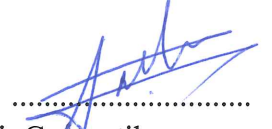
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat  
Mühendisliği Bölümü



**Üye:**

Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ

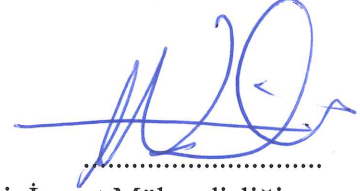
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik  
Mühendisliği Bölümü



**Üye:**

Doç. Dr. Turhan BİLİR

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü



**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım..... 2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Turgay KURT

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KIRMATAŞ AGREGALARIN DANE BOYUTU DAĞILIMI VE ŞEKİSEL ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ ANALİZİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Turgay KURT

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YİĞİT

Haziran 2018, 81 sayfa

Geoteknik mühendisliğinin çözüm getirmesi gereken başlıca problemleri, dış yükler etkisinde temel zemininin ve varsa dolgu zeminin, geçirimsizliğinin ve deformasyonlarının belirli sınırlar dahilinde tutulması olarak özetlenebilir. Bu noktada doğal zeminin ve dolgu malzemesinin karakteristikleri zemin davranışını belirlemektedir. Diğer mühendislik dallarından farklı olarak geoteknik mühendisliğinde öncelikle ele alınan lokasyondaki zemin özelliklerinin yerinde ve laboratuvar ortamında belirlenmesi gerekir. Böylelikle heterojen yapıya sahip zeminin türü ve karakteristikleri belirlenebilir. Bu noktada zeminsınıfının bilinmesi önemlidir. Yaygın olarak kullanılan zemin sınıflandırma sistemlerinden birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi ve AASHTO sınıflandırma sistemi zemin türünün saptanmasında temel olarak dane boyutu dağılımı ve plastik özelliğini kullanmaktadır. Dane boyutu dağılımından zeminin iri veya ince daneli olduğu anlaşılmaktadır. Yine dane boyutu dağılımından iri daneli zeminin kum veya çakıl boyutunda olduğu tespit edilebilmektedir. Ancak gronüler zeminlerin dayanıma esas özelliklerinin sadece dane boyutu dağılımı ile ifade edilemesi sakıncalıdır. Dane boyutu dağılımı kadar danelerin şekil karakteristiklerinin de dayanıma etkisi vardır.

## ÖZET (devam ediyor)

Örneğin köşeli ve ince danelerin, yuvarlak danelere göre yük altında daha fazla parçalanması muhtemeldir. Gronüler zeminlerin dane boyutu ve şekil karakteristiklerinin bu denli önemli olması geçmişte şekil karakteristiklerinin çok zahmetli biçimde el ile yapılan ölçümlerle bulunmasını gerekli kılmıştır. Ancak günümüzde teknolojiye paralel olarak karmaşık şekillere sahip çok sayıda zemin danesinin boyut dağılımı ve şekil karakteristikleri görüntü işleme teknikleri ile bulunabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kırmataş agregaların dane boyutu dağılımı ve şekil karakteristikleri görüntü işleme teknikleri ile elde edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında Zonguldak ili sınırları içinde bulunan taş ocaklarından alınan 4.00-12.00 ve 12.00-22.00 mm dane çapı aralığındaki kırmataş numuneler standart kare delikli elekler kullanılarak alt gruplara ayrılmıştır. Bu kırmataş agregaları kullanılarak üç farklı gradasyon eğrisi oluşturulmuş ve bu gradasyon eğrilerine sahip numunelerin laboratuvar ortamında fotoğrafları çekilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında numunelerin fotoğrafları çekilirken gölge oluşumunu azaltacak bir aydınlatma sistemi geliştirilmiştir. Elde edilen bu görüntüler, Image J adlı açık kaynak kodlu yazılımda dijital olarak analiz edilmiştir. Görüntü analizlerinden kırmataş agregaları boyutları elde edilmiş ve yine görüntü analizleri ile geometrik hesaplamaların bir arada kullanıldığı Matlab programında kırmataş agregaların yuvarlaklık ve küresellik gibi şekil karakteristikleri elde edilmiştir. Sonuç olarak mekanik eleme yöntemi ile hazırlanmış olan gradasyonlardaki numunelerin görüntü analizleri sonucu alan bazlı gradasyon eğrileri ile mekanik eleme yöntemiyle oluşturulan gradasyon eğrileri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gradasyon Eğrisi, Görüntü Analizi, Yuvarlaklık, Küresellik, Agregaların Şekil Karakteristikleri

**Bilim Kodu:** 624.01.01.

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DETERMINATION OF THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION AND SHAPE CHARACTERISTICS OF CRUSHED STONE AGGREGATES BY USING IMAGE ANALYSIS**

**Turgay KURT**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim YİĞİT**

**June 2018, 81 pages**

The main problems geotechnical engineering has to solve are can be summarized as keeping permeability and deformations within certain limits. At this point, the characteristics of the natural ground and the filling material determine the soil behavior. Unlike other engineering branches, geotechnical engineering should primarily determine the ground properties. In this way, the type and characteristics of the ground with heterogeneous structure can be determined. It is important to know the classification of soil. Commonly used soil classification systems are unified soil classification system and the AASHTO classification system. Which use grain size distribution and plastic properties as the basis for determining soil type. The grain size distribution indicates that the soil is coarse or fine. Again, it can be determined from the grain size distribution if it is sand or gravel. However, it is disadvantageous that the essential properties of the granular soil are expressed only by the grain size distribution. The shape characteristics of the aggregates as well as the grain size distribution have an effect on strength. For example, under external loads, angular and elongated aggregates are more likely to crash than rounded aggregates. The grain size and

## **ABSTRACT (continued)**

shape characteristics of the granular soils are so important that in the past the shape characteristics have to be found in very laborious manual measurements. However, in parallel with the developments in technology, size distribution and shape characteristics of large number of aggregates with complicated shapes can be found by image processing techniques. In this thesis, grain size distribution and shape characteristics of crushed aggregates were obtained by image processing techniques.

Within the scope of this thesis, crushed stone samples of 4.00-12.00 and 12.00-22.00 mm diameter from the quarries located in the Zonguldak province borders were divided into subgroups using standard sieves. Three different grading curves were formed by using these groups of crushed stone aggregates and photos of these samples were taken in the laboratory. In this thesis study, a lighting system has been developed to reduce shadow formation when photographs of samples are taken. These images were digitally analyzed in open source software called Image J. Aggregate dimensions were obtained from the image analyzes and shape characteristics such as roundness and sphericity of the crushed aggregates were obtained in the Matlab program where image analysis and geometric calculations are used together. As a result, the grading curves of mechanical sieving and image processing were compared.

**Keywords:** Gradation Curve, Image Analysis, Roundness, Sphericity, Shape Charecteristics of Aggregate

**Science Code:** 624.01.01.



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması boyunca bilimsel olarak desteğini ve yardımlarını esirgemeyen danıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YİĞİT'e teşekkür ederim.

Tez alıŐması boyunca manevi olarak desteklerinden dolayı annem Elmas KURT'a babam Ali KURT'a, abim Eray KURT'a, ve en çok da eŐim Tuğçe KURT' ve Biriciklerime teşekkür ederim.





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 AGREGALARIN DANE BOYUTU VE ŞEKLİNİN MÜHENDİSLİK DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ.....	3
2.2 DANE BOYUTU VE ŞEKLİNİN KLASİK OLARAK BELİRLENMESİ.....	6
2.3 GÖRÜNTÜ ANALİZİ.....	8
2.4 DANE BOYUTU DAĞILIMININ VE ŞEKİLSELLİK ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ.....	11
2.4.1 Dane Boyutu.....	14
2.4.2 Dane Şekilsel Özellikleri.....	24
BÖLÜM 3 MALZEME YÖNTEM.....	47
3.1 GÖRÜNTÜ ALMA DÜZENEGİ.....	47
3.2 GÖRÜNTÜ ANALİZİNDE KULLANILAN YAZILIM.....	50
3.3 YÖNTEM.....	52

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 BULGULAR.....	63
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	81



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Yuvarlaklık ve küresellik grafiği .....	5
Şekil 2.2 Yuvarlaklık ve küresellik grafiği .....	5
Şekil 2.3 Agregta ölçümünde kullanılan orantılı kumpas .....	7
Şekil 2.4 Görüntü dijitalleştirilmesi .....	10
Şekil 2.5 Gri renk ölçeği .....	10
Şekil 2.6 Uzun yapıya sahip zemin danesinin kare delikli elekten geçişi.....	14
Şekil 2.7 Yassı yapıdaki bir zemin danesinin plan görünümü .....	15
Şekil 2.8 Zemin danesi boy ve genişlik tanımı .....	15
Şekil 2.9 Dane boyutu dağılımı grafikleri.....	19
Şekil 2.10 Elek göz açıklığı etkisi.....	19
Şekil 2.11 Seçilen 50 adet agreganın c / b oranının histogramı .....	21
Şekil 2.12 Elekten dane geçişi, a) kenarlara paralel, b) köşegen .....	23
Şekil 2.13 Dane şekli tanımlarına göre bulunan gradasyon eğrileri .....	23
Şekil 2.14 Farklı ölçeklerde dane şekil karakteristikleri .....	25
Şekil 2.15 Danenin boy ve genişliği ile en küçük çevrel çemberin bulunuşu.....	29
Şekil 2.16 En büyük içteğet çemberin bulunuşu a) Dane dışhatları b) Eucladian uzaklık haritası c) Sonuçlar .....	29
Şekil 2.17 LOESS adımları ve farklı $\alpha$ değerleri ile sonuçların değişimi.....	31
Şekil 2.18 K katlamalı çapraz doğrulama işlemi.....	32
Şekil 2.19 Katlamalı çapraz doğrulama (10 kat) sonuçları .....	33
Şekil 2.20 Dane çevresi ve pürüzlülüğünün elde edilişi a) orijinal dane görüntüsü b) dane dış hatları c) LOESS yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü düzeltmesi.....	34
Şekil 2.21 Dane dışhattından yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi.....	35
Şekil 2.22 Dane dış hattının köşe ve köşe olmayan parçaları .....	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.23 Dane dış hattının doğru parçalarına bölümlendirilmesi .....	36
Şekil 2.24 Dane köşelerinin belirlenmesi.....	37
Şekil 2.25 Dane köşelerine çember yerleştirme işlemi .....	39
Şekil 2.26 Daneye çember yerleştirme işlemi sonucu.....	40
Şekil 2.27 $\delta 0$ 'ın tanımlanması ve önemi .....	41
Şekil 2.28 Farklı $\delta 0$ değerlerinin hesaplanan yuvarlaklık üzerine etkisi .....	42
Şekil 2.29 PCD değerinin hesaplanan yuvarlaklık ve küresellik üzerine etkisi.....	44
Şekil 2.30 Wadell 1935 sonuçlarının karşılaştırılması a ve b ) Wadell 1935'den birim mm c ve d) Hesaplamalı geometri sonuçları birim piksel .....	45
Şekil 2.31 Krumbein and Sloss (1951) sonuçları ile hesaplamalı geometri sonuçlarının karşılaştırılması .....	46
Şekil 2.32 Küresellik tanımları sonuçlarının karşılaştırılması .....	46
Şekil 3.1 Görüntü alma düzeneği .....	47
Şekil 3.2 Aydınlatma yöntemleri .....	48
Şekil 3.3 Kullanılan görüntü alma düzeneği. ....	49
Şekil 3.4 ImageJ program menüsü. ....	50
Şekil 3.5 Oluşturulan gradasyon eğrileri. ....	52
Şekil 3.6 Oluşturulan gradasyon eğrilerinden bulunan Cu ve Cc katsayıları.....	53
Şekil 3.7 Belirlenen gradasyon eğrilerine sahip numune fotoğrafları.....	54
Şekil 3.8 Piksel biriminden uzunluk ölüsüne geçiş için ölçek faktörünün elde edilişi. ....	55
Şekil 3.9 RGB formatındaki renkli görüntülerin tek banda dönüştürülmesi.....	56
Şekil 3.10 RGB formatından ikili görüntü elde edilmesi.....	57
Şekil 3.11 Partikül analizi algoritması sonrası elde edilen dane izdüşüm alanları. ....	59
Şekil 3.12 Danelerin yuvarlık değerlerinin elde edilişi.....	62
Şekil 4.1 Pelenkoğlu 1.Gradasyon ikili görüntü. ....	64
Şekil 4.2 Sayılı 1.Gradasyon ikili görüntü. ....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.3 Pelenkoğlu 2.Gradasyon ikili görüntü. ....	65
Şekil 4.4 Sayılı 2.Gradasyon ikili görüntü. ....	65
Şekil 4.5 Pelenkoğlu 3.Gradasyon ikili görüntü. ....	66
Şekil 4.6 Sayılı 3.Gradasyon ikli görüntü. ....	66
Şekil 4.7 Dane yüksekliğinin tahmini için kullanılan 50'şer adet numune.....	67
Şekil 4.8 Pelenkoğlu ve Sayılı taş ocağı numunelerinde ölçülen dane boyutu oranları.....	67
Şekil 4.10 Sayılı 1. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği. ....	68
Şekil 4.11 Pelenkoğlu 2.Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.....	69
Şekil 4.12 Sayılı 2.Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği. ....	69
Şekil 4.13 Pelenkoğlu 3.Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.....	70
Şekil 4.14 Sayılı 3.Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği. ....	70
Şekil 4.15 Pelenkoğlu 1.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.....	71
Şekil 4.16 Sayılı 1.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği. ....	71
Şekil 4.17 Pelenkoğlu 2.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.....	72
Şekil 4.18 Sayılı 2.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği. ....	72
Şekil 4.19 Pelenkoğlu 3.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.....	73
Şekil 4.20 Sayılı 3.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği. ....	73





## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Kırmataş agrega danelerinin ImageJ partikül analizi verileri. ....	60
Çizelge 3.2 Dane boyutu dağılımı grafik verilerinin oluşturulması. ....	61
Çizelge 3.3 Yuvarlık ve küresellik değerlerine örnek çizelge .....	62
Çizelge 4.1 Elde edilen ortalama yuvarlaklık ve küresellik değerleri.....	74





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $C_u$  : Üniformluk katsayısı  
 $C_c$  : Derecelendirme katsayısı  
 $\lambda$  : Agregaların yassılığını gösteren bir parametre  
 $\rho$  : Yoğunluk  
 $M$  : Kütle  
 $C$  : Partikül düzeltme faktörü  
 $V$  : Hacim  
 $a$  : Elipsoidin uzun eksenini  
 $b$  : Elipsoidin ortanca eksenini  
 $c$  : Elipsoidin kısa eksenini  
 $A$  : Alan  
 $\mu$  : Agregaların şekil karakteristiğini gösteren bir katsayı  
 $D_1$  : Dane boyutu  
 $D_2$  : Dane boyutu  
 $\beta$  : Boyut düzeltme katsayısı  
 $A_s$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı  
 $A_{cir}$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanını çevreleyen en küçük çaplı çemberin alanı  
 $D_c$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı ile aynı alana sahip dairenin çapı  
 $D_{cir}$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanını çevreleyen en küçük çaplı çemberin çapı  
 $D_{ins}$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanına çizilen içteğet çemberin çapı  
 $P_c$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı ile aynı alana sahip dairenin çevresi  
 $P_s$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı çevresi  
 $d_1$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı boyu  
 $d_2$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı genişliği  
 $S_A$  : Alan bazlı küresellik  
 $S_D$  : Çap bazlı küresellik

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$S_C$	: Çember oranı bazlı küresellik
$S_P$	: Çevre bazlı küresellik
$S_{WL}$	: Genişlik boy oranı bazlı küresellik
$C_i$	: Çember merkezi
$R_i$	: Çember çapı
$\alpha$	: Kullanılan nokraların sayısının toplam veri noktası sayısına oranı
$w_k$	: Eğri uydurmak için uygulanan ağırlık
$x_i$	: Eğri uydurmada kullanılan mesafenin orta noktası
$\varepsilon_k(\alpha_i)$	: Hata değeri
$y_i$	: $i$ 'inci ölçüm verisi
$y_{i-LOESS}$	: LOESS eğrisinde düzeltilmiş $i$ 'inci ölçüm verisi
$\delta$	: Doğru parçası ortalama yüzey arasındaki maksimum fark
$\delta_0$	: Doğru parçası ortalama yüzey arasındaki maksimum fark için kullanılan eşitlik değeri
$R$	: Yuvarlaklık

## KISALTMALAR

<b>DEM</b>	: Discrete Element Method
<b>DIP</b>	: Digital Image Processing
<b>AASHTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials
<b>AT</b>	: Angularity and texture
<b>TST</b>	: Translucent Segregation Table
<b>LOESS</b>	: Locally weighted regression smoothing
<b>ARE</b>	: Average residual error
<b>PCD</b>	: Pixels per circumscribed circle diameter

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Zemin dayanımı, zemin dokusu ve daneler arası kuvvetlerin bileşke etkisi olan zemin yapısına bağlı olarak değişim gösterir. Zemin dokusu, zemin danelerinin boyutlarını, şekillerini ve konumsal dağılımını ifade etmektedir. İri daneli zeminler göz önüne alındığında izafi sıklık zemin dokusunun ve paketlenmesinin bir ölçüsü olarak görülmektedir. Yine iri daneli zeminlerde daneler arası kuvvetler danelerin birbirlerine kenetlenmesi ile açıklanırken bunun danelerin yüzey şekline bağlı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte dane boyutu dağılımının iri daneli zeminlerin dayanıma esas özellikleri üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. İri daneli zeminlerin dane boyutu dağılımı, danelerin kare delikli eleklerden geçen küreler olarak modellenmesi ile elde edilmektedir. Bu durum bazı zemin daneleri için nispeten doğru olabilse de kırmataş agregalar için doğru değildir.

Her ne kadar günümüzde zemin danelerinin şekli amprik ifadeler dışında zemin davranışının modellenmesinde henüz yer edinmemiş olsa da gelecekte ayrık elemanlar yöntemi (DEM) kullanılarak gerçekleştirilecek analizlerde gerçek dane boyutları ve şekillerinin kullanılacağı düşünülmektedir. Bu noktada zemin danelerinin boyutlarını ve şeklinin ölçülmesi önem kazanmaktadır.

Günümüzde dijital görüntü işleme (Digital Image Processing: DIP) teknikleri ile agregaların dane boyutlarının belirlenmesi, manuel yöntemle göre hızlı ve çok daha fazla bilgi vermesi nedeni ile tercih edilmeye başlanmış ve hızla yayılmaktadır. DIP yöntemi, görüntü alma aygıtlarındaki, bilgisayar teknolojisindeki ve yazılımların güncellenmesindeki ilerlemelere paralel olarak hızla gelişmektedir. Bu tez çalışması kapsamında güncel yazılımlar kullanılarak kırmataş agregaların boyutlarının ve şekilsel özelliklerinin görüntü analizi yöntemi ile bulunması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında bölüm ikide, görüntü analizi ile iri daneli zeminlerin boyutlarının ve şekilsel özelliklerinin belirlenmesine yönelik literatür taraması sunulmuştur.

Tez kapsamında kullanılan kırmataş numunelerinin özellikleri, kullanılan; görüntü alma düzeneği, görüntü analizi yöntemi ve yazılımı, malzeme ve yöntem başlıklı üçüncü bölümde verilmiştir.

Laboratuvar çalışması ve kullanılan yazılım sonucu elde edilen görüntü analizi bulguları dördüncü bölümde sunulmuştur.

Son olarak beşinci bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve sonraki çalışmalar için öneriler verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÖZETİ

#### 2.1 AGREGALARIN DANE BOYUTU VE ŞEKLİNİN MÜHENDİSLİK DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Yaygın olarak kullanılan zemin sınıflandırma sistemlerinden birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi ve AASHTO sınıflandırma sistemi zemin türünün saptanmasında temel olarak dane boyutu dağılımı ve plastik özelliğini kullanmaktadır. Dane boyutu dağılımından zeminin iri veya ince daneli olduğu anlaşılmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde, yine dane boyutu dağılımından iri daneli zeminin kum veya çakıl boyutunda olduğu tespit edilebilmektedir. Dane boyutu dağılımı grafiğinden üniformaluk katsayısı  $C_u$  ve derecelendirme katsayısı  $C_c$  hesaplanabilmektedir.

İyi derecelendirilmiş zeminlerde küçük daneler büyük daneler arasındaki boşlukları doldurmaktadır. İyi derecelendirilmiş zeminlerin sıkıştırılması daha kolaydır. İnce dane erezyonu zeminlerin mühendislik özelliklerinde büyük değişikliklere neden olabilir. Üniform derecelendirilmiş zeminler genellikle kontrollü drenaj uygulamaları için kullanılır, çünkü iç erozyon ile ince parçacık kayıplarına karşı hassas değildirler ve bunların hidrolik iletkenliği dar sınırlar içinde muhafaza edilebilir. Üniform derecelendirilmiş zeminler, iyi derecelenmiş zeminlere kıyasla daha dar bir olası yoğunluk aralığına sahip olma eğilimindedir (Mitchell and Soga 2005).

Dane boyutu dağılımı, geçirgenlik, kesme dayanımı, şekil değiştirebilirlik ve sıkıştırılabilirliği tahmin etmek için ampirik yaklaşımlarda kullanılmaktadır. Büyük mühendislik yapılarının saha incelemelerinde, deprem ve sıvılaştırma araştırmalarında ve filtre malzemesi seçiminden önce, bir dizi dane boyutu dağılımı analizinin yapılması gerekmektedir. Otoyol ve baraj dolgu malzemelerinin seçiminde, zemin gradasyonu dikkate alınır. Bu tür projelerde, kullanılacak zemin kabul edilmeden önce yerine getirilmesi gereken gradasyon şartlarına da sahip olması

gerekir. Zemin iyileştirme tekniklerinin seçiminde de zemin gradasyonu kontrol edici bir faktördür (Dipova 2017).

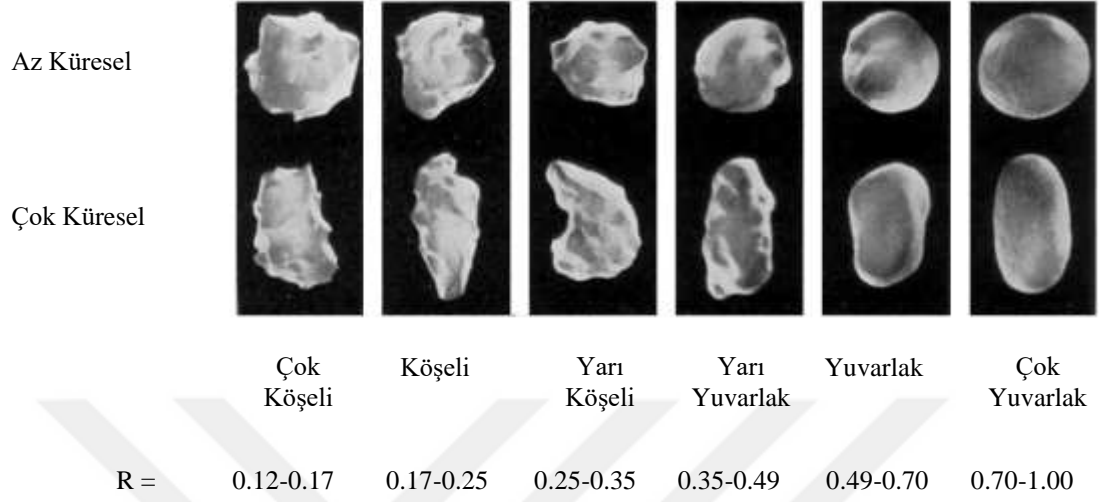
Dane şekli, zeminlerin mekanik davranışında önemli bir rol oynayan doğal bir zemin özelliğidir. Dane şeklinin karakterizasyonu ölçeğe bağlı olarak değişmektedir. Büyük ölçeklerde, dane morfolojisi, küresel, yuvarlak, bloklu, hacimli, yassı, eliptik, uzun ve benzerleri olarak tarif edilebilir. Daha küçük ölçeklerde, kenarların ve köşelerin yuvarlaklığı ve pürüzler gibi yerel pürüzlülük özelliklerini yansıtan doku önemlidir (Mitchell and Soga 2005).

Zemin dayanımı da dane şekline bağlıdır. Cho et al. (2006) dane şekli ve kritik durum zemin mekaniği parametreleri arasındaki ilişkiyi göstermiştir. Zemin mekaniğinde dane şekli genellikle yuvarlaklık ve küresellik olarak tanımlanmaktadır. Yuvarlaklık dane şeklinin bir düzlem üzerine izdüşümünün dışhatlarındaki köşelerdeki eğrilik yarıçaplarının ortalamasının maksimum içteğet çember yarıçapına oranı olarak elde edilmektedir (Wadel 1932). Bazı araştırmacılar (Cho et al. 2006 ve Zheng and Hryciw 2015) yuvarlaklığın hesaplanmasında sayısal yaklaşımlar önerse de genelde yuvarlak niteliksel olarak Powers (1953)'te verildiği gibi çok köşeli, köşeli, yarı köşeli, yarı yuvarlak, yuvarlak ve çok yuvarlak olmak üzere altı grupta ele alınmaktadır (Şekil 2.1). Küresellik ise dane formu ile ilişkilidir ve dane şeklinin bir küreye ne kadar benzediğinin bir göstergesidir. Krumbein and Sloss (1951), dane küreselliğinin dane uzunluğu ve genişliği ile ilişkilendirildiği, dane yuvarlaklığının ise dane dışhatlarının eğriliği ile ilişkilendirildiği Şekil 2.2'de gösterilen şablonu ortaya sürmüşlerdir (Altuhafi et al 2013).

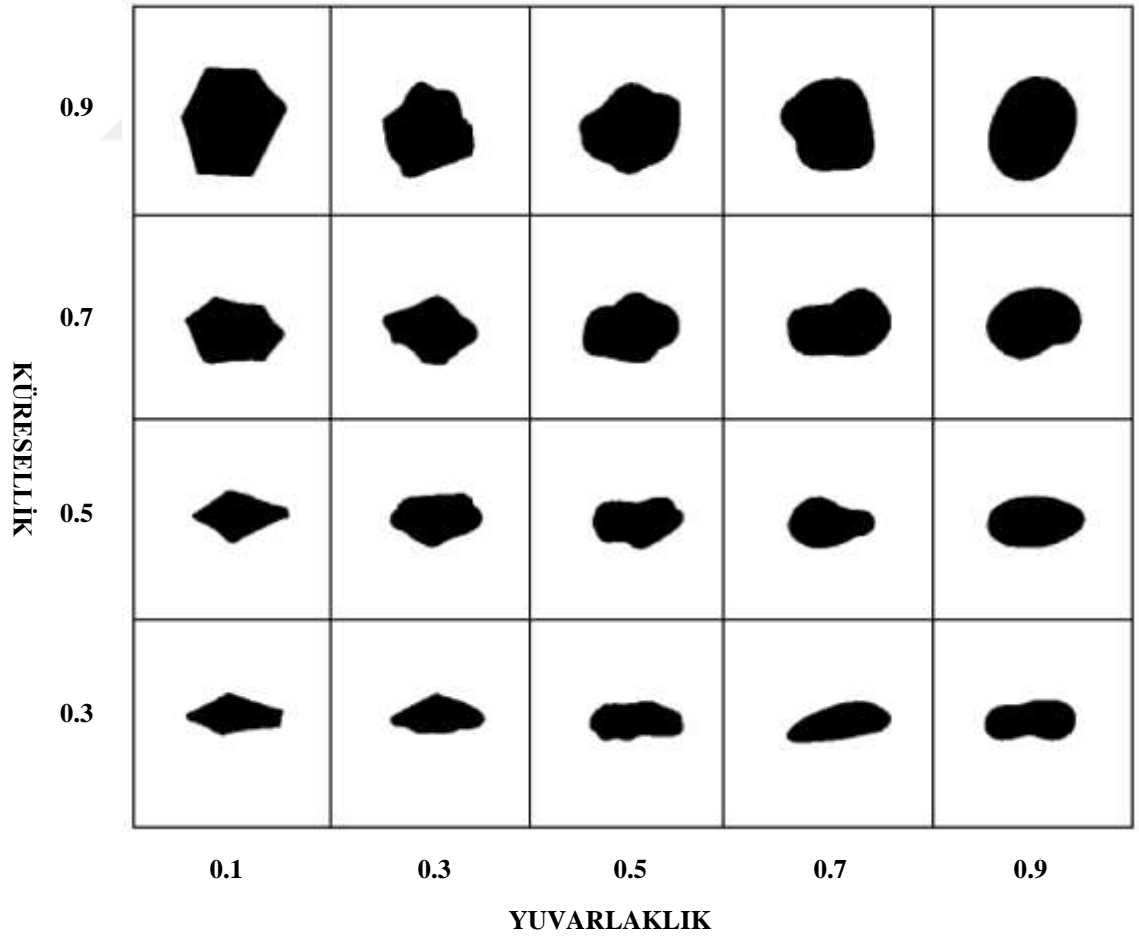
Köşeli daneler içeren zeminler yuvarlak danelere sahip zeminlerden daha az yoğun olma eğilimindedir. Bununla birlikte, köşeli ve zayıf malzemeler, sıkıştırma, kompaksiyon veya deformasyon sırasında önemli ölçüde daha fazla parçalanabilir (Mitchell and Soga 2005). Dane yuvarlaklığının ve küreselliğinin, mukavemet, sıkıştırılabilirlik, küçük gerinim katsayısı, kayma dalgası hızı, paketleme yoğunluğu ve kritik durum parametreleri dahil olmak üzere zemin makroskobik mekanik özelliklerinin çoğunu etkilediği iyi bilinmektedir. (Zheng and Hryciw 2016). Dane morfolojisi ve yüzey dokusu kumlu zeminlerin mekanik ve hidrolik davranışlarını etkilemede önemli bir rol oynar. Dane boyutlarının dağılımı ve parçacık şekli parametreleri, granül zemin karakterizasyonunda önemlidir ve kumlu zeminlerin mekanik ve



hidrolik özelliklerini tahmin etmede sıklıkla kullanılır. Dane şekli karakterizasyonu ölçeğe bağlıdır, morfoloji büyük ölçeklidir ve yüzey dokusu küçük ölçeklidir (Araujo et al. 2017)



Şekil 2.1 Yuvarlaklık ve küresellik grafiği (Powers 1953)



Şekil 2.2 Yuvarlaklık ve küresellik grafiği (Krumbein and Sloss 1951)

## 2.2 DANE BOYUTU VE ŞEKLİNİN KLASİK OLARAK BELİRLENMESİ

Agregaların dane boyutu dağılımı ASTM D6913, ASTM C136 ve AASHTO T27'ye göre yapılabilmektedir. Buna göre standart kare şeklinde göz açıklığına sahip eleklerden göz açıklığı büyük olan üstte olmak üzere elek göz açıklıkları azalacak şekilde elekler üst üste yerleştirilir. Elek analizi yapılacak numunedeki maksimum agrega çapına bağlı olarak standarttaki minimum numune ağırlığı tespit edilir. Numune en üstteki eleğe yerleştirildikten sonra manuel olarak veya elek sallama makinası yardımıyla elekler sallanır. Deney sonrasında herbir elek üzerinde kalan numune ağırlığı tespit edilir. Bununla birlikte kümülatif olarak her bir elek üzerinde kalan malzeme ilgili elek ve bu elek üzerindeki eleklerde kalan malzemenin toplamı olarak bulunur. Bulunan bu değer toplam malzeme miktarından çıkarılıp sonucun toplam malzeme miktarına bölünmesi ile elde edilen yüzde cinsinden değer, ilgili elekten ağırlıkça yüzde geçen değerini vermektedir. Genel olarak yüzde geçen değeri düşey eksen ve ilgili elek çapı milimetre biriminde yatay eksen olmak üzere yarı logaritmik grafikte gösterilir. Bu grafik dane çapı dağılımı, dane boyutu dağılımı yada gradasyon eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde genel olarak dane çapı yatay eksenin aratan değerleri ile azalacak şekilde yani büyük çap değerleri eksenlerin kesişimine yakın olacak şekilde gösterilir.

Zemin danelerinin, küresellik, yuvarlaklık ve yüzey pürüzlülüğü tanımları ilk olarak 1930'larda ortaya atılmıştır. Zahmetli bir süreçle manuel olarak elde edilen küresellik ve yuvarlık özelliklerinin daha kolay elde edilebilmesi için 1950'lerde Çizelgelar geliştirilmiştir. Bu Çizelgelar kullanıcılarına görsel karşılaştırma yaparak danelerin sahip olduğu tipik küresellik ve yuvarlık aralıklarında sınıflandırma imkanı sunmuştur. Orijinal tanımlar ve bazı sübjektif grafik yöntemler günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır.

ASTM D4791 genel olarak iri agregada, yassı, uzun veya yassı ve uzun danelerin yüzdelerinin belirlenmesi için referans olarak verilen test prosedürüdür. ASTM D4791 spesifikasyonları, belirli bir örnekte yassı, uzun veya yassı ve uzun parçacıkların sayısı veya ağırlığına göre hesaplanan yüzdelerin sınırlandırılmasını amaçlamaktadır. Agregada daneleri, yassı, uzun veya yassı ve uzun olmak üzere sırasıyla genişliğin kalınlığa oranı, uzunluğun genişliğe oranı, uzunluğun kalınlığa oranı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu boyutsal oranlar, hareketli bir kumpasın sabit pozisyonunu ayarlayarak, Şekil 2.3'de gösterildiği 2: 1, 3: 1 ve 5: 1 oranlarına ayarlanabilir. Böylece kollar ve iki sabit çubuk arasındaki açıklıklar ayarlanır (ASTM D4791).



**Şekil 2.3** Agrega ölçümünde kullanılan orantılı kumpas (Tutumluer et al. 2005).

İri agregaların köşeliliği, kırılma yüzlerin sayısı ASTM D5821'e göre sayılarak elle belirlenir. Parçalanma (köşesellik) miktarı veya yüzdesi önemlidir çünkü agrega yapısında gelişebilecek iç kayma dayanımı seviyesini belirler. Şu anda iri agrega köşeliliği ve yüzey dokusunu doğrudan ve objektif olarak ölçmek için standart bir test yöntemi bulunmamaktadır. Agrega dane şekli ve doku indeksi için standart test yöntemi ASTM D3398, dane şekli, köşelilik ve yüzey dokusunun dolaylı bir ölçüsünü elde etmek için standart test olarak benimsenmiştir. Ek olarak, sıkıştırılmamış hava boşlukları testleri ASTM C 1252 ve AASHTO TP56 aynı zamanda dane şekli, köşeliliğini ve yüzey dokusunu dolaylı bir şekilde ölçmek için kullanılır. AASHTO TP56'ya benzer şekilde, dane indeksi testi ASTM D3398, kombine bir şekil-doku karakterizasyonu sağlar (Tutumluer et al. 2005).

Mevcut standart testler, agregaların özelliklerini tam olarak araştırmaz ve genellikle ortalama bir değer sağlar, ancak şekil özelliklerinin bir dağılımını sağlamaz. Bu nedenle, agrega özelliklerine aşırı vurgu vardır. Agrega yüzey dokusu özelliğini yeterli şekilde tanımlamak ve niceliksel olarak belirlemek için tek bir standart test yoktur. Ayrıca, literatürde, şeklin performans üzerindeki etkisi hakkında çelişkili bulgular bulunmaktadır (Tutumluer et al. 2005).

## 2.3 GÖRÜNTÜ ANALİZİ

İnsanın algısal sistemine en önemli duyuşal girdilere bağlı olarak, üretim verimliliğini artırma amaçlı görüntü destekli yapay zekalı araçlar, insanın bilinmeyen dünyayı keşfetme çabalarındaki en dikkat çekici unsurlardır. Mühendisler, bu makinelerin görüntü girişlerini doğru yorumlayabilmelerinin yollarını araştırırlar. Son yıllarda, görüntü analizi olarak da bilinen bilgisayarların görsel duyuşal yeteneklerini arttırmak için tasarlanan yeni yöntemlerde kayda değer bir artış görölmüştür. Görüntü analizi, inşaat mühendisliği, tıp, astronomi, harita veri işleme gibi birçok alanda, hava görüntü analizi, parmak izi analizi için dijital ve optik teknikler, üç boyutlu yeniden yapılandırma metotları ve robot navigasyonu anazli gibi geniş uygulama alanları bulunmaktadır (Tutumluer et al. 2005).

Veri toplama, zemin ve kayaç özelliklerinin araştırılması, asfalt betonunun ve betonun mikroyapısı gibi inşaat mühendisliğinin farklı alanlarında görüntü analizinin uygulanması mevcuttur. Görüntü analizi tekniklerinin, sonlu elemanlar analizi ve yapay zeka teknikleri gibi diğer araçlar ile birleştirildiği çalışmalar da literatürde yerini almıştır. Bununla birlikte, ince agrega şekli analizinde araştırmalar da aktif olarak sürdürölmektedir (Tutumluer et al. 2005).

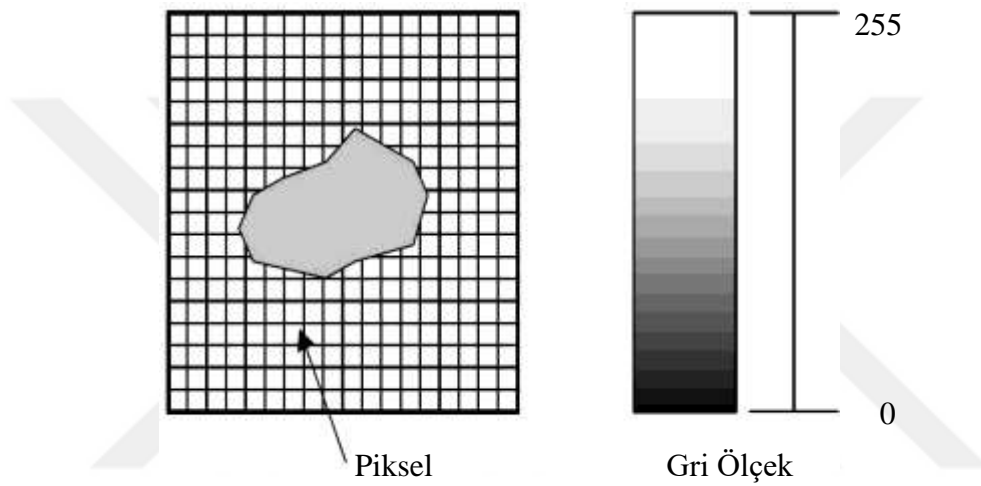
Dijital görüntü işleme (DIP), bir sahnenin elektronik olarak yakalandığı, iki boyutlu bir piksel görüntüsüne dijitalleştirildiği ve daha sonra resimsel bilgilerin ayıklanabilmesi için bilgisayarla işlendiği bir tekniktir. Sahne bir video kamera veya tarayıcı ile yakalanabilir. Bu şekilde üretilen video sinyalleri önce yerleşik A / D dönüştürücöleri olan bir görüntü aktarıcı kullanılarak sayısallaştırılır ve daha sonra bir piksel dizisi olarak kaydedilir. Ardından, dijital görüntüden bilgi çıkarmak için piksel dizisi analiz edilir. Bu amaçla gerekli bilgilere bağlı olarak farklı teknikler geliştirilmiştir. Örneğin, sahnede bir nesnenin kenarını bulmak için, komşu piksellerin renk veya gri seviyesinde keskin değişiklikler arayan bir algoritma kullanılabilir. Nesnelere arka plandan ayrıldıktan sonra ölçülebilir ve analiz edilebilir. Ölçülebilir parametreler parçacık sayımı, alan fraksiyonu, boyut dağılımı, şekil karakteristikleri, konumsal dağılım ve daha fazlasını içerir. Ardışık olarak yakalanan sahnelerin görüntü analizini yaparak, DIP tekniği parçacık hızının ölçölmesinde, hareketli nesnelere izlenmesinde ve deformasyon ölçölmesinde kullanılabilir (Kwan et al. 1999).

Bir video görüntüleme sisteminin kullanılması, esas olarak, değerlendirilecek olan danelerin görüntüsünü elde etmeyi ve daha sonra bir görüntü analiz sisteminin kullanılmasıyla işlenmesini içerir. Kullanılan bilgisayar algoritması yeteneklerine bağlı olarak bilgisayar yardımıyla görüntüyü analiz ederek hesaplanması istenen agrega boyutu, şekli, dokusu, köşeselliği ve gradasyonu gibi özellikleri bulmaya yardımcı olur. Görüntü analizi dijital görüntülerde yapılmaktadır. Dijital görüntü, bir nesnenin sayısal bir temsilidir. Görüntü analizi ayırık sayısal değerlerden oluşan bu birimlerin sayısal olarak hesaplamalara tabi tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Bitmap grafik formatları, her grafiği piksel olarak adlandırılan resim öğelerinin bir yığını olarak ele alır ve her bir piksele belirli bir renk atar. Bir bütün olarak bakıldığında, piksel yığını Şekil 2.4'de gösterildiği gibi bir görüntü oluşturur. Bir görüntüyü piksel dizisine dönüştürme işlemine sayısallaştırma denir. Sürekli bir ton yakalama varsayarsak, görüntü uzamsal bir sayısallaştırma ve gri ton nicelleştirmeden geçmelidir. Fonksiyonun  $f(x, y)$  biçiminde yerleştirilmesi gerekir, burada  $(x, y)$  ızgarada ayrı bir pikseldir (resim elemanı) ve  $f(x, y)$  ayrı bir gri değerdir. Dijital bir görüntü, ikili (1 bit) olabilir, birden fazla gri (8 bit) seviyesine sahip olabilir veya renkli (32 bit) olabilir (Şekil 2.5). Dijital işlemeden önce yakalama ve örneklemenin bir aktivite bloğu oluşturduğu ve dijital işlemin bir bilgisayarda depolanmış ve örneklenmiş (dijitalleştirilmiş ve sayısallaştırılmış) görüntü ile başladığı varsayılır. Gri düzeyler, 0'dan 255'e kadar, 0'ın siyahı 255'in beyazı gösterdiği bir ölçekte ölçülür. Tüm ara gri tonları 0 ile 255 arasında değerler atanır. Böylece, bir görüntüdeki her piksel 0 ila 255 aralığında gri bir düzeye sahiptir. Diğer taraftan, renkli bir görüntünün piksel başına 24 bit'i vardır ve esasen üç 8-bit tam sayı dizisinin bir birleşimidir. Dizi, üç ana rengin her birine karşılık gelen üç parlaklık değerinden oluşur (Tutumluer et al. 2005).






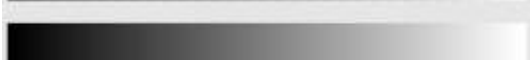


Çoğu zaman, bir görüntüdeki bir nesneyi tanımak için, görüntü üzerinde bir eşikleme işlemi gerçekleştirilir; bu, görüntüdeki bölgelerin ilgilenilen nesneye ait olduğunun tanınmasını sağlar. Görüntü eşiği temel olarak bir hesaplama işlemidir ve ayırık bölgeleri tanımlamaya yardımcı olur ve nesneyi zıt arka plandan tanımlamaya yardımcı olur. Görüntüye bir eşik değeri atayarak, bu eşik değerinin altındaki gri seviyeli tüm pikseller, 0 (siyah) değerine düşürülür, eşik değerinden daha büyük olan tüm pikseller 255 (beyaz) değerine eşit hale getirilir. Açıkça, eşik değerinin seçimi, arka planın rengine ve görüntüde tanımlanacak nesnenin parlaklığına bağlı olacaktır. Görüntü analizi, görüntüdeki nesnelerin özelliklerini ölçme işlemidir. İlgili uygulamaya bağlı olarak çıkarılan özellikler, görüntüye veya görüntüdeki bir nesneye ait olabilir. Bir hattın uzunluğunun ölçülmesi gibi doğrusal ölçümler,

genellikle çizgiyi temsil eden piksellerin sayılmasıyla gerçekleştirilir. Belirli bir çözünürlük için kalibrasyonu bilinen pikseller uzunluk birimlerine dönüştürülür. Ayrıca, alan veya herhangi bir 2-D ölçümü, alanı işgal eden piksel sayısını ölçmeyi ve mühendislik birimlerine dönüştürmeyi içerir.

Bu tez çalışması kapsamında görüntü analizleri ImageJ paket programı ve Matlab kodları kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu bilgisayar programlarının detaylı açıklaması tezin ilerleyen bölümlerinde malzeme ve yöntem kısmında ele alınacaktır.



Şekil 2.4 Görüntü dijitalleştirilmesi (Tutumluer 2005).

	Bit	Renk
	1	2
	2	4
	3	8
	4	16
	5	32
	6	64
	7	128
	8	256

Şekil 2.5 Gri renk ölçeği

## 2.4 DANE BOYUTU DAĞILIMININ VE ŞEKİLSELLİK ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak dane boyutu ve şeklinin incelenmesi 1990'lı yıllardaki çalışmaları takiben yeni teknolojiler ve yaklaşımlarla gitgide gelişmektedir (Mora et al. 1998).

Mora et al. (1998) dijital görüntü işleme DIP tekniğini iri daneli agregaların dane boyutu dağılımının elde edilmesinde kullanmışlardır. Üç farklı agrega üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında DIP sonucu elde ettikleri gradasyon eğrilerini, standart elek analizi yöntemiyle elde ettikleri gradasyon eğrileri ile kıyaslamışlardır. Yazarlar DIP sonucu sadece alanların gradasyonunun elde edilebilmesi ve bu yöntemde kullanılan dane boyutu teriminin standart kare delikli mekanik eleme yöntemindekinden farklı olduğunu belirtmişlerdir. Her iki yöntemde kullanılan gradasyon ve dane boyutu terimlerinin aynı anlama gelebilmesi için bir düzeltme yapılmadıkça, iki yöntem sonucu elde edilen gradasyon eğrilerinin kıyaslanamayacağını belirtmişlerdir. Bu amaç için DIP sonucu elde edilen alan gradasyonunun, mekanik eleme yöntemi kullanılarak elde edilen kütle gradasyonuna dönüştürülmesini önermişlerdir. Buna ek olarak DIP yöntemi ile ölçülen dane boyutunun eşdeğer elek göz açıklığına çevrilebilmesi için boyut düzeltme faktörü kullanmışlardır.

Kwan et al. (1999) DIP tekniği kullanılarak iri agregaların yassılık ve uzanımlılığının (elongation) analiz edilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Danenin kalınlığı ve hacmi ölçülmemekle birlikte, bu DIP metodu, agrega ve şekil ölçüm sonuçlarının ortalama kalınlık / genişlik oranını kütle fraksiyonları cinsinden üretebilmektedir. Yazarlar, doğrulama amacıyla, önerilen DIP yöntemiyle elde edilen şekil ölçüm sonuçlarını, geleneksel mekanik eleme ve manuel ölçüm ile elde edilenlerle karşılaştırmışlardır. DIP yöntemiyle elde ettikleri parametre (ortalama kalınlıktan genişlik oranı) ile geleneksel yöntemle ölçülen yassılık indeksi arasında güçlü bir korelasyon elde etmişlerdir. Öte yandan, DIP yöntemiyle elde ettikleri uzanımlılık indekslerinin (elongation index), geleneksel yöntemle elde edilenlerle çok yakından ilişkili olduğu belirtmişlerdir. Ancak, bu tür bir karşılaştırmadan sonra, bazı eksiklikler içeren mevcut yassılık ve uzanımlılık indeksleri tanımlarının izlenmesine gerek olmadığını belirtmişlerdir. Uzanımlılık indeksini değiştirmek için, uzanımın daha iyi bir ölçüsü olduğuna belirttikleri yeni bir ağırlıklı uzanım ortalama oranı geliştirmişlerdir.

Zhang et al. (2012), iri daneli agregaların, şeklini, boyutunu, köşeliliğini ve yüzey dokusu özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar farklı şekillerdeki agregaları önce şekillerine göre manual olarak ayırıp daha sonra her bir grup şekle sahip agregaların yüzdesini hesaplamışlardır. Agregaların boy, genişlik ve kalınlık olmak üzere üç boyutu görüntü analizi yöntemi ile çıkarıp, bunların istatistiksel dağılımı incelemişlerdir. Yazarlar, iki boyutlu agrega görüntülerine dayanarak, iri daneli agregaların köşeliliğinin ve yüzey dokusunun müşterek etkisini karakterize edebilmek için AT (angularity and texture) ile simgeledikleri bir parametre geliştirmişlerdir. Farklı boyutlarda kireçtaşı, bazalt ve bunların karışımlarından oluşan agrega gruplarında AT parametresinin istatistiksel dağılımını incelemişlerdir. Bu agregaların gevşek dokuda, boşluk içeriklerini, AT indisinin geçerliliğini doğrulamak için test etmişlerdir. Yine bu agregaların boy, genişlik ve kalınlıklarının neredeyse tamamının normal dağılıma uygun olduğunu göstermişlerdir. Kullanılan agrega gruplarından bir kısmının AT indislerinin lognormal dağılıma uyduğunu fakat çoğunluğunun normal dağılıma uyduğunu göstermişlerdir. Yazarlar, t-testi sonuçlarının çalışmalarında kullandıkları görüntü analizi yönteminin agregaların boyutlarının ve AT indislerinin elde edilmesinde tekrarlanabilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte çalışmalarında kullandıkları örnek büyüklüklerinin agregaların gerçek boyut ve AT indeks dağılımlarını temsil edecek kadar büyük olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, farklı büyüklükteki kireçtaşı ve bazalt agregalarının gevşek dizilimdeki durumda boşluk içeriklerini AT indeksini doğrulamak için test etmişlerdir. Sonuçların AT indeksinin iri agrega köşeliliği ve yüzey dokusunun birleşik etkisini karakterize etmede etkili olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kumara et al. (2012) ImageJ programını kullanarak görüntü analizi tekniği ile çakılların dane boyutu dağılımını elde edilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Görüntü analizindeki dane büyüklüğünün, gradasyon eğrilerini iki yöntemle karşılaştırmak için uygun şekilde tanımlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Yazarlar, görüntü analizi gerçekleştirilmeden önce, 50 adet danenin uzun, ortanca ve kısa eksenlerini Vanier kumpası kullanılarak ölçmüşlerdir. Bu 50 adet danenin, kısa boyutlarının ortanca boyutlarına oranının ortalamasını, görüntü analizinde danelerin hacminin bulunmasında kullanılmıştır. Bu dane hacimlerinden dane boyutu dağılım grafiklerini oluşturmuşlardır.

Ohm and Hryciw (2013) iri daneli kum ve çakıl boyutlarının dağılımını hızlı bir şekilde belirlenebildiği görüntü tabanlı bir yöntem geliştirmişlerdir. Sistemde, numuneyi yukarıdan fotoğraflanmadan önce danelerin boyutlarına göre ayırmak için, arkadan aydınlatmalı eğimli



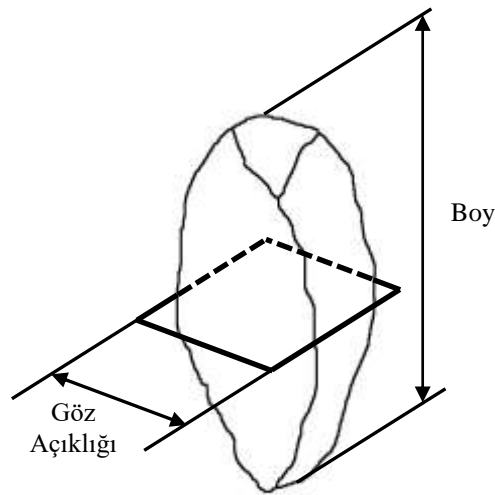
bir yarı saydam segregasyon Çizelgesi (Translucent Segregation Table -TST) kullanmışlardır. Bu yöntemde, zemin danelerinin birbirinden ayrılmaya ihtiyaçları yoktur; sadece yarı saydam plaka üzerinde tek bir katmanda durmaları gerekmektedir. Daha sonra Havza segmentasyonu (watershed segregation) olarak adlandırılan bir görüntü işleme yöntemi ile zemin daneleri dijital olarak birbirinden ayırır, böylece her biri sonuçta meydana gelen boyut dağılımında ayrı ayrı hesaba katılır. Yöntemde, elipsoitlerin kare elek açıklıklarından geçişini ele alan bir elek eşdeğer dane boyutu, numunedeki her bir dane için elde edilmektedir. Yazarlar, çalışmalarında yirmi zemin örneğini TST ve eleme yoluyla test etmişler ve elek ile TST sonuçları arasında gözlenen küçük farklılıklar için açıklamalar getirmişlerdir. Yazarlar, TST yönteminde tek bir kamera ve sadece bir fotoğraf kullandığı düşünüldüğünde, eleme için çekici, temiz, hızlı ve düşük maliyetli bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

Zheng and Hryciw (2015), danelerin iki boyutlu görüntülerinden, geleneksel dane şekil özellikleri değerlerini kesin olarak belirlemek için geometrik hesaplamalara dayanan kuvvetli sayısal yöntemler öne sürmüşlerdir. Lokal ağırlıklı regresyon ve K-katlamalı çapraz doğrulama içeren istatistiksel yöntemler, bir ortalama dane yüzeyinin ayrılması ve böylece pürüzlülüğün ölçülmesi ve çıkarılması için kullanılmıştır. Yazarlar, dane köşelerini tanımlamak ve buralara uygun daireler yerleştirmek suratiyle yuvarlaklığı hesaplamak için geliştirdikleri algoritmaları detaylı olarak sunmuşlardır. Ayrıca, dane küreselliğinin bulunmasında yaygın olarak atıfta bulunulan beş yöntemden küresellik için en uygun yöntem hakkında çıkarımlar sunmuşlardır. Son olarak, doğru sonuçların elde edilmesi için gerekli olan minimum görüntü çözünürlüğü ve dane çevre ayrımı için önerilerde bulunmuşlardır.

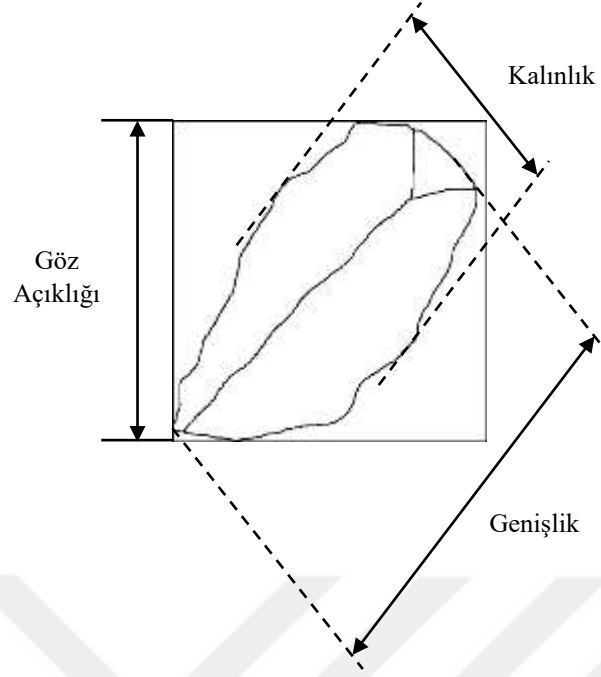
Arasan (2011) granüler zeminlerin dane boyutu dağılımı, maksimum ve minimum boşluk oranı, rölatif sıklık ve kayma mukavemeti açısı gibi özelliklerinin görüntü analizi ile belirlenmesine yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Yazar, bazalt, kalker ve karşılaştırma amacıyla demir bilyalar kullandığı çalışmasında yuvarlaklık, küresellik, konvekslik ve fraktal boyut gibi şekilsel özellikleri görüntü işleme tekniği ile elde etmiştir. Yazar, Mandelbrot (1977) tarafından, doğadaki düzensiz ve parçalanmış karmaşık örneklerin sayısal olarak ifade edilebileceği bir yöntem olarak tanımlanan fraktal geometrinin, belirli bir şekle sahip olmayan zemin danelerinin tanımlanmasında kullanılabileceğini belirtmiştir. Fraktal geometri yardımıyla dane küreselliği, yuvarlaklığı gibi dane şekilsel özelliklerinin elde edilmesine yönelik çalışma gerçekleştirmiştir.

### 2.4.1 Dane Boyutu

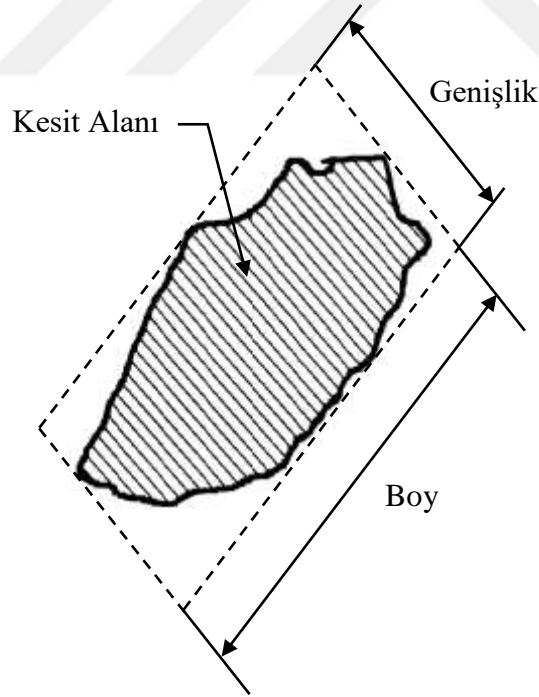
Görüntü analizi ile dane boyutu bulunurken genel olarak uygulanan yaklaşım sonuçların elek analizi sonuçları ile kıyaslanabilmesi için elek boyutlarından hareket etmektir. Şekil 2.6'da kare şeklinde deliğe sahip bir elekten geçen zemin danesi temsili olarak gösterilmiştir (Mora et al. 1998). Şematik gösterimde, elek içinden geçen zemin danesinin, elek göz açıklığından daha büyük bir boyuta sahip olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, elek göz açıklığı sadece danelerin yanal boyutlarının bir ölçüsü olmaktadır. Göreceli olarak yassı bir zemin danesi, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi, kare şeklinde göz açıklığına sahip elekten diyagonal olarak geçebilir (Kwan et al. 1999). Bunun sonucu olarak, elekten geçen zemin danesinin genişliği, elek göz açıklığından daha büyük olabilir bununla birlikte zemin danesinin bu boyutu elek açıklığının diyagonal uzunluğundan daha küçük olmalıdır. Agrega numunesinin piksel görüntüsünü elde ettikten sonra, agregada daneleri arka plandan seçip çıkartmak için görüntü analizi gerçekleştirilir. Çıkarılan agregada parçacıklarından, aşağıdaki morfolojik parametreler ölçülür: her parçanın alanı, uzunluğu ve genişliği. Alan, parçacığın kararlı pozisyonunda durduğu durumdaki izdüşüm alanı olarak tanımlanır. Bu, parçacık görüntüsünün kapalı sınırı içindeki piksellerin sayılmasını ve piksel sayımının, kalibrasyon ile belirlenen ölçek faktörüne göre gerçek boyutlarda bir alana dönüştürülmesini içerir. Öte yandan, parçacığın uzunluğu ve genişliği, Şekil 8'de gösterildiği gibi, analiz edilen parçacık alanını çevreleyecek olan sınırlayıcı dikdörtgenin uzunluğu ve genişliği olarak tanımlanır (Mora et al. 1998).



**Şekil 2.6** Uzun yapıya sahip zemin danesinin kare delikli elekten geçişi (Mora et al. 1998).



Şekil 2.7 Yassı yapıdaki bir zemin danesinin plan görünümü (Kwan et al. 1999).



Şekil 2.8 Zemin danesi boy ve genişlik tanımı (Mora et al. 1998)

Mora et al. (1998) DIP tekniğini iri daneli agregaların dane boyutu dağılımının elde edilmesinde kullanmışlardır. Üç farklı agrega üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında DIP

sonucu elde ettikleri gradasyon eğrilerini, standart elek analizi yöntemiyle elde ettikleri gradasyon eğrileri ile kıyaslamışlardır. Yazarlar DIP sonucu sadece alanların gradasyonunun elde edilebilmesi ve bu yöntemde kullanılan dane boyutu teriminin standart kare delikli mekanik eleme yöntemindekinden farklı olduğunu belirtmişlerdir. Her iki yöntemde kullanılan gradasyon ve dane boyutu terimlerinin aynı anlama gelebilmesi için bir düzeltme yapılmadıkça, iki yöntem sonucu elde edilen gradasyon eğrilerinin kıyaslanamayacağını belirtmişlerdir. Bu amaç için DIP sonucu elde edilen alan gradasyonunun, mekanik eleme yöntemi kullanılarak elde edilen kütle gradasyonuna dönüştürülmesini önermişlerdir. Buna ek olarak DIP yöntemi ile ölçülen dane boyutunun eşdeğer elek göz açıklığına çevrilebilmesi için boyut düzeltme faktörü kullanmışlardır. Yazarlar, granit, volkanik ve çakıl olmak üzere üç farklı tipte agrega, hem mekanik eleme metodu hem de DIP metodu ile analiz etmişlerdir. Agrega örneklerini ilk önce mekanik eleme ile ve daha sonra doğrudan karşılaştırma için aynı örnekler DIP ile analiz etmişlerdir. Mekanik eleme ve DIP ile elde edilen sonuçlar arasında herhangi bir karşılaştırma yapılmadan önce, aralarındaki aşağıdaki farklılıkların ele alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Mekanik eleme işleminde, agrega fraksiyonlarının miktarları tartılarak ölçülür ve böylece gradasyon agrega kütlelerine göre yüzde cinsinden ifade edilir (kütle bazlı gradasyon). Ancak DIP'de, agrega parçacıklarının hacmi veya kütlesi ölçülmez. Aslında, elde edilen görüntü parçacıkların sadece iki boyutlu bir projeksiyonu olduğundan, parçacıkların kalınlığı bile ölçülmez. Bu nedenle, DIP ile elde edilen agrega fraksiyonları, Yue and Morin (1996) tarafından yapıldığı gibi, sadece agreganın sabit bir yatay yüzey (alan bazlı gradasyon) üzerindeki alanlarına göre yüzde cinsinden sunulabilir. Mekanik eleme işleminde, danelerin boyutları, kare şeklindeki elek göz açıklıklarının büyüklükleri açısından ölçülür, böylece daneler elekten geçerler veya elek üzerinde kalırlar. Bu şekilde belirlenen parçacık boyutları, DIP ile ölçülen parçacıkların genişliği ile aynı değildir. Yazarlar, DIP ile elde edilen alan bazlı gradasyonu kütle bazlı gradasyona dönüştürmek için basit bir yöntem önermektedir. Böylece DIP sonuçları geleneksel mekanik eleme sonuçları ile ilişkilendirilebilir ve daha kolay yorumlanabilir. Yazarlar, aynı kaynaktan gelen agregaların, aşağı yukarı aynı şekil özelliklerine sahip olduğunu kabul etmektedirler. Bu nedenle, agreganın ortalama kalınlığının aşağıdaki gibi parçacıkların diğer boyutlarından tahmin edilebileceğini öne sürmektedirler (Mora et al. 1998).

$$\text{Ortalama Kalınlık} = \lambda \times \text{Genişlik} \quad (2.1)$$

Burada,  $\lambda$  agreganın yassılığına dayanan bir parametredir. Bu eşitlikten agreganın hacmi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\text{Hacim} = \text{Alan} \times \text{Ortalama Kalınlık} = \text{Alan} \times (\lambda \times \text{Genişlik}) \quad (2.2)$$

Bu eşitlik kullanılarak, kütle gradasyonu aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir

$$\text{Bir elekten kütlece \% de geçen} = \frac{\rho \times \lambda \times \sum_{i=1}^p (\text{Alan} \times \text{Genişlik})}{\rho \times \lambda \times \sum_{i=1}^n (\text{Alan} \times \text{Genişlik})} \quad (2.3)$$

Burada,  $\rho$  yoğunluk, paydadaki ifade görüntüdeki bütün agregaları, paydaki ifade ise söz konusu elek boytundan küçük agregaları ifade etmektedir. Eşitlikteki  $\lambda$  ve  $\rho$  sadeleşmekte ve bu durumda  $\lambda$ 'nın kütle gradasyonu üzerine etkisi kalmamaktadır (Mora et al. 1998).

$$\text{Bir elekten kütlece \% de geçen} = \frac{\sum_{i=1}^p (\text{Alan} \times \text{Genişlik})}{\sum_{i=1}^n (\text{Alan} \times \text{Genişlik})} \quad (2.3 \text{ Tekrar})$$

Ancak,  $\lambda$ 'nın fiziksel bir anlamı mevcuttur ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir

$$\lambda = \frac{M}{\rho \times \sum_{i=1}^n (\text{Alan} \times \text{Genişlik})} \quad (2.4)$$

Burada M, numunenin toplam kütesini ifade etmektedir (Mora et al. 1998).

Agregaların alan bazlı gradasyonu kütle bazlı gradasyona dönüştürdüğü için, DIP ile elde edilen gradasyon sonuçları, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, aynı gradasyon grafiği üzerinde mekanik eleme ile karşılaştırılabilmektedir. DIP (Orijinal) ve mekanik eleme ile elde edilen gradasyon eğrileri birlerleri ile uyuşmamaktadır. DIP (Orijinal) ile elde edilen eğri, mekanik eleme ile elde edilen eğriden daima daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, iki yöntemde kullanılan dane boyutu tanımlarının farklı olmasıdır. Mekanik eleme ile elde edilen dane boyutu ölçümü aslında kullanılan eleklerin deliklerinin şekline bağlıdır. Elek göz açıklıklarının Şekil 2.10.a'da gösterildiği gibi dairesel olması durumunda, bir danenin geçebileceği elek göz açıklığı boyutu dane genişliğine çok yakındır. Ancak, eğer elek göz

açıklıkları Şekil 2.10.b'de gösterildiği gibi kare ise, o zaman bir danenin geçebileceği elek açıklığı boyutu genellikle dane genişliğinin yaklaşık 0.8 katıdır. Bu nedenle, dairesel ve kare göz açıklıklarına sahip elekler farklı parçacık boyutu ölçüm sonuçları verecektir. Bernhardt (1994)'e göre, dairesel açıklıklı eleklerden elde edilen boyut ölçüm sonuçları, aşağıdaki eşitlikle eşdeğer kare elek boyutlarına dönüştürülebilmektedir (Mora et al. 1998).

$$\text{Eşdeğer Kare Elek Boyutu} = C \times \text{Dairesel Delikli Elek Boyutu} \quad (2.5)$$

burada C değeri, partikülün enine kesitinin şekline bağlı olan, ancak genellikle 0.7 ila 0.9 aralığında olan bir boyut düzeltme faktörüdür. DIP ile ölçülen genişliğin, aşağıda verildiği gibi, böyle bir düzeltme faktörü kullanılarak eşdeğer kare elek boyutuna dönüştürülebileceği önerilmektedir (Mora et al. 1998).

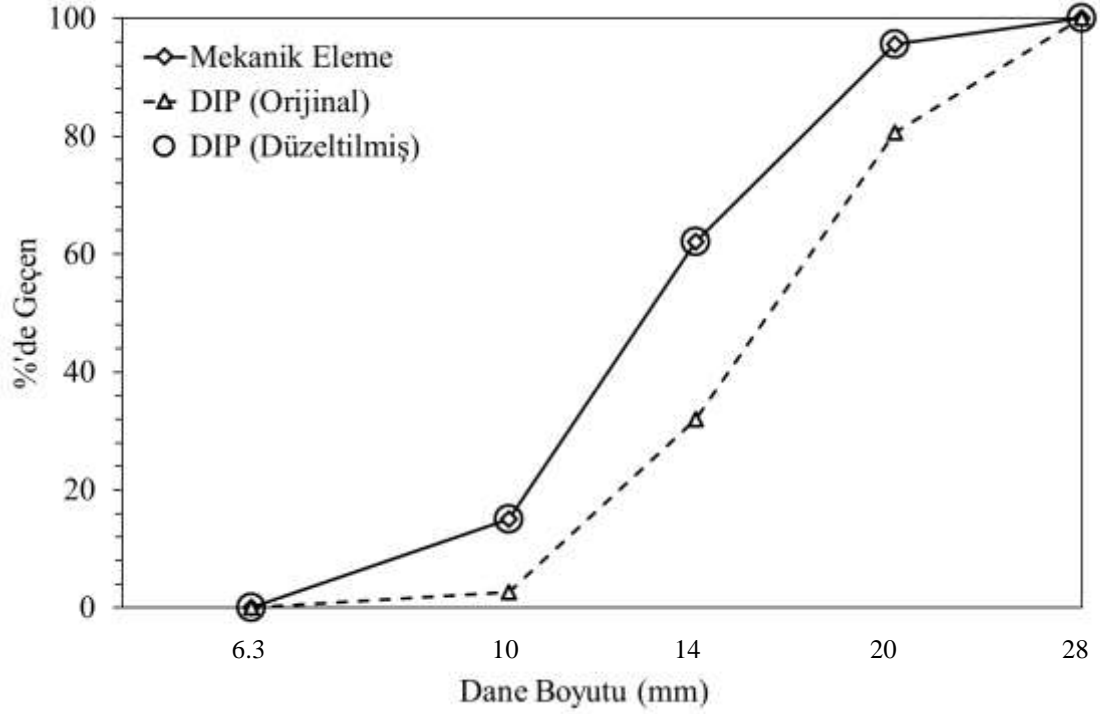
$$\text{Eşdeğer Kare Elek Boyutu} = C \times \text{Genişlik} \quad (2.6)$$

C değeri, agrega parçacıklarının şekline bağlı olduğu için, her agrega tipi ve kaynağı için belirlenmelidir. C'nin değerini belirlemek için bir deneme ve yanılma yöntemi kullanılır. Farklı C değerleri denenerek ve DIP sonuçları için elde edilen gradasyon eğrileri, DIP ve mekanik eleme sonuçları arasında en iyi eşleşme elde edilene kadar, mekanik eleme ile elde edilen değerlerle karşılaştırılır (Mora et al. 1998).

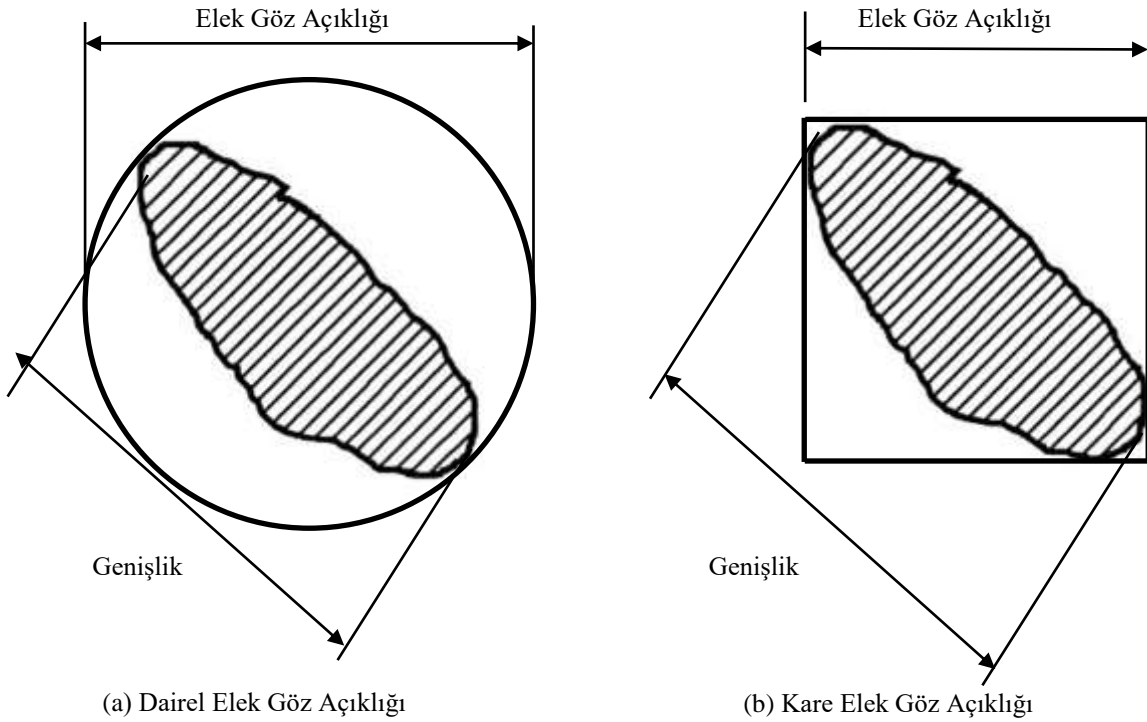
Yazarlar, farklı agrega tip ve kaynakları için  $\lambda$  değeri ile birlikte belirlenen C değerlerini tabo halinde sunmuşlardır. Bu sonuçlara göre, incelenen agregalar arasında en yassı olan volkanik agregaların en düşük  $\lambda$  değerlerine sahip olduğunu, diğer yandan, yuvarlak şekilli çakılların en yüksek  $\lambda$  değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. C'nin değerlerini  $\lambda$  değerleriyle karşılaştırdıklarında, genel olarak, agrega ne kadar yassı ise C değerinin de o kadar küçük olduğu sonucuna varmışlardır (Mora et al. 1998).

Elek analizinde, dane boyutu dağılım eğrisini elde etmek için danelerin kütlesi kullanılırken, görüntü analizinde, danelerin alanı veya sayısı doğrudan iki boyutlu görüntülerden kullanılmaktadır. Danelerin hacmi, bazı varsayımlarla iki boyutlu görüntülerden belirlenebilmektedir. Bazı araştırmacılar, gradasyon eğrilerini değerlendirmek için doğrudan doğruya iki boyutlu görüntülerden ölçülen danelerin alanlarını kullanmışlardır, bazıları ise bazı varsayımlarla parçacıkların hacminden belirlenen kütleyi kullanmışlardır. İki boyutlu

görüntülerden hacim belirlleme varsayımları bazı hatalarla sonuçlanabilmektedir. Ayrıca, eğer danelerin herbirinin kütlesi elle ölçülürse, bu zaman alıcı bir süreçtir (Kumara et al. 2012).



Şekil 2.9 Dane boyutu dağılımı grafikleri (Mora et al. 1998).



Şekil 2.10 Elek göz açıklığı etkisi (Mora et al. 1998).

Kumara et al. (2012), görüntü analizi sonuçları ve Vanier kumpası kullanarak elde ettikleri çakıl danelerinin boyut ölçümlerini kullanılarak dane hacmini belirlemişlerdir. Yazarlar, görüntü analizi gerçekleştirilmeden önce, 50 adet danenin uzun, ortanca ve kısa eksenleri Vanier kumpası kullanılarak ölçmüştür. Bu 50 adet danenin, kısa boyutlarının ortanca boyutlarına oranının ortalamasını, görüntü analizinde danelerin hacminin bulunmasında kullanmışlardır. Daneler sabit bir pozisyona yerleştirildiklerinde, iki boyutlu görüntülerden danenin uzun ve ortanca boyutu tespit edilebilmektedir. Bu nedenle, gradasyon eğrilerini belirlemek için ortanca boyutun (yani iki boyutlu görüntüde bir danenin küçük boyutu) dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Majör ve minör eksenlerin gradasyon eğrileri üzerindeki etkileri ve iki boyutlu görüntülerde danelerin küçük eksenlerinin gradasyon eğrilerini değerlendirmek için kullanılması gerektiği Fernlund (2005.a ve b)'de bildirilmiştir. Kumara et al. (2011), iki boyutlu görüntülerde; elips, dikdörtgen ve daire gibi farklı şekillerin çakılın gradasyon eğrisi üzerindeki etkilerini tartışmış ve elips şeklinin elek analizi ile elde edilen gradasyon eğrisine en yakın gradasyon eğrisini verdiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, yazarlar görüntü analizinde, daneler için elips şekli kullanılarak gradasyon eğrileri belirlemişlerdir.

Bir elipsoidin hacmi V;

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a}{2}\right) \left(\frac{b}{2}\right) \left(\frac{c}{2}\right) \quad (2.7)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Burada, a, b ve c sırası ile elipsoidin uzun, ortanca ve kısa eksenleridir. Elipsoidin, uzun ve ortanca eksenlerin oluşturduğu düzlem üzerine izdüşümü olan elipsin alanı A (görüntülerdeki alanı);

$$A = \pi \left(\frac{a}{2}\right) \left(\frac{b}{2}\right) \quad (2.8)$$

eşitliği ile elde edilebilmektedir. Görüntü analizlerinden a, b ve A doğrudan elde edilebilmektedir. Bununla birlikte c, iki boyutlu görüntülerden doğrudan elde edilemez. Bu yüzden V;

$$V = \frac{4}{3} A \left(\frac{c}{2}\right) \quad (2.9)$$



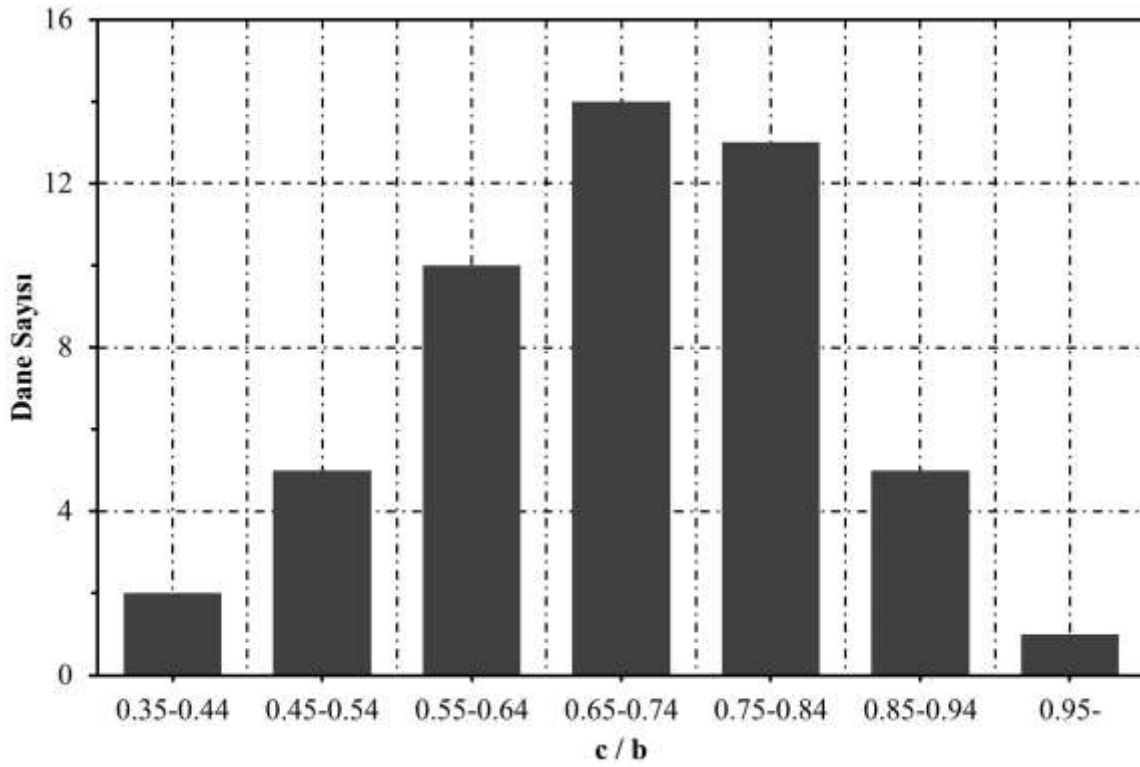
eşitliği ile elde edilebilmektedir. Eğer tüm daneler aynı kaynaktan geliyorsa, danelerin şekil karakteristikleri aynı kabul edilebilir. Bu durumda  $c$ ,  $b$ 'den aşağıdaki eşitlikle tahmin edilebilir.

$$c = \mu b \quad (2.10)$$

Burada,  $\mu$  agregaların şekil karakteristiklerini gösteren bir katsayıdır. Böylece  $V$ ;

$$V = \frac{4}{3} A \left( \frac{\mu b}{2} \right) \quad (2.11)$$

eşitliği ile elde edilebilir. Yazarlar 50 agrega üzerinde kumpasla yaptıkları boyut ölçümünden  $\mu$ 'yu Şekil 2.11'deki histogramdan 0.70 olarak belirlemişlerdir.



Şekil 2.11 Seçilen 50 adet agreganın  $c / b$  oranının histogramı (Kumara et. al. 2012).

Görüntü analizinde, bir elekten %'de geçen;

$$\% \text{de Geçen} = \frac{\sum_{i=1}^p V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{\sum_{i=1}^p (A_i x b_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i x b_i)} \quad (2.12)$$

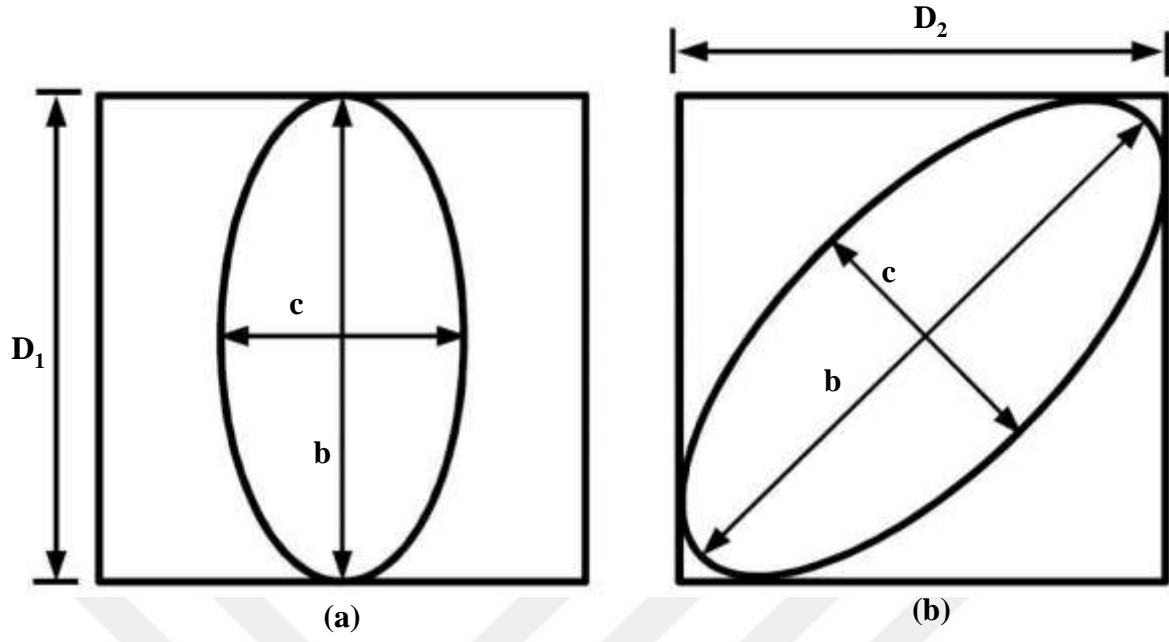
eşitliği ile hesaplanabilmektedir. Burada, A, danenin alanını, p geçen danelerin sayısı, n ise tüm danelerin sayısını göstermektedir.

Kumara et al. (2012), görüntü analizi ile elde edilen gradasyon eğrilerinin, elek analizi sonucu elde edilen gradasyon eğrisi ile karşılaştırıldığında daima daha büyük dane boyutu verdiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle yazarlar, dane boyutu grafiği elde edilirken kabul edilen dane şekli etkisini incelemişlerdir. Şekil 2.12.a ve b’de sırasıyla dane eksenlerinin elek gözü boyutlarına paralel olarak ve elek gözü köşegenlerine paralel olarak elekten geçmesi haline göre dane şekli tanımları görülmektedir. Şekil 2.12’de, b ve c sırasıyla elipsoidin ortanca ve küçük eksenleridir. Eğer dane, elekten, dane eksenleri elek gözü kenarlarına paralel olarak geçerse, bu durumda dane boyutu  $D_1$ , elipsin büyük eksenine yani b’ye eşit olmalıdır (Şekil 2.12.a). Eğer dane eksenleri elek gözü köşegenlerine paralel olarak geçerse (Şekil 2.12.b) bu durumda  $D_2$  aşağıdaki eşitlikten hesaplanmalıdır. Yazarlar,  $\mu = 0.70$  için,  $\beta = 0.86$  olarak vermişlerdir.

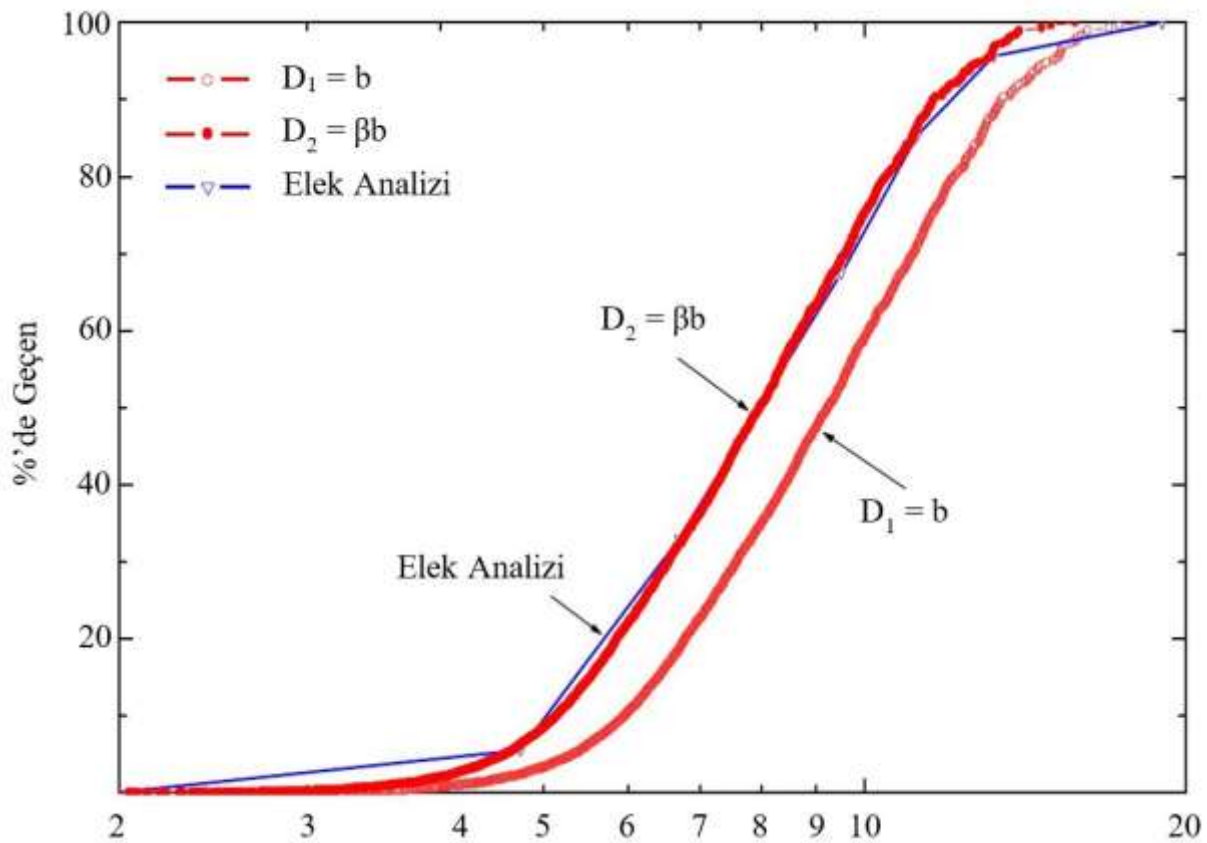
$$D_2 = \sqrt{0.5(b^2 + c^2)} \quad (2.13)$$

$$D_2 = b\sqrt{0.5(1 + \mu^2)} = \beta b \quad (2.14)$$

Şekil 2.12’de gösterilen iki dane şekli tanımına göre belirlenen gradasyon eğrileri Şekil 2.13’de verilmiştir. Elek analizinde, daneler elekten, elek açıklığının köşegeni yönünde geçtiğinden, görüntü analizinde dane boyutu  $D_2$  olarak tanımlanmalıdır. Şekil 2.13’ten görüldüğü üzere, dane boyutu iki boyutlu dane görüntüsünde elipsin küçük eksen (elipsoidde ortanca eksen) olarak tanımlandığında ( $D_1=b$ ), görüntü analizinde daha büyük dane boyutu kullanılmış olduğundan, elde edilen gradasyon eğrisi, elek analizinden elde edilen gradasyon eğrisinin sağında yer almaktadır (sağa doğru artan boyut kullanılan gradasyon eğrisinde). Bununla birlikte, dane boyutu Eşitlik 2.14’ten hesaplandığı durumda ( $D_2=\beta b$ ), yani danelerin elek göz açıklığının köşegeni yönünde geçtiği durumda, her iki yöntemden elde edilen dane boyutu dağılımı grafiği eşittir. Bu nedenle, her iki yöntemle elde edilen gradasyon eğrileri karşılaştırılırken, görüntü analizinde dane boyutu Şekil 2.12.b’ye göre tanımlanmalıdır Kumara et al. (2012).



Şekil 2.12 Elekten dane geçişi, a) kenarlara paralel, b) köşegen (Kumara et. al. 2012).



Şekil 2.13 Dane şekli tanımlarına göre bulunan gradasyon eğrileri (Kumara et. al. 2012).

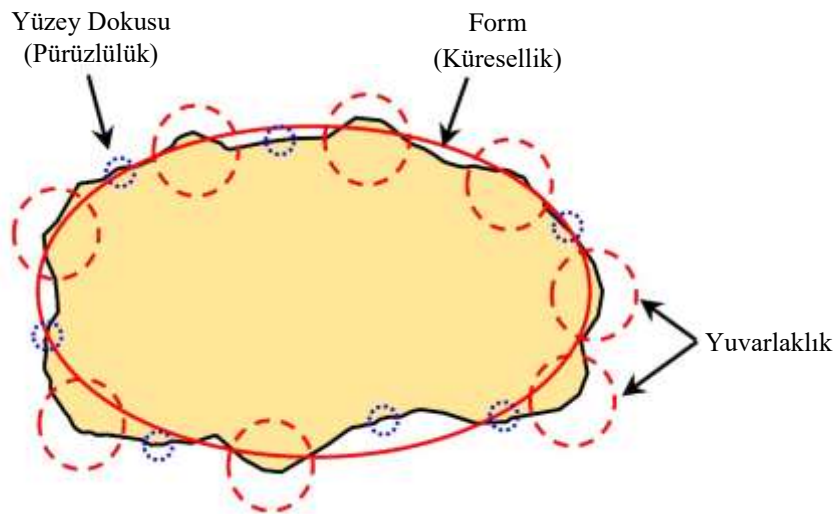
## 2.4.2 Dane Şekilsel Özellikleri

Zemin danelerinin, küresellik, yuvarlaklık ve yüzey pürüzlülüğü tanımları ilk olarak 1930'larda ortaya atılmıştır. Zahmetli bir süreçle manuel olarak elde edilen küresellik ve yuvarlık özelliklerinin daha kolay elde edilebilmesi için 1950'lerde Çizelgeler geliştirilmiştir. Bu Çizelgeler kullanıcılarına görsel karşılaştırma yaparak danelerin sahip olduğu tipik küresellik ve yuvarlık aralıklarında sınıflandırma imkanı sunmuştur. Orijinal tanımlar ve bazı subjektif grafik yöntemler günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Zheng and Hryciw (2015), danelerin iki boyutlu görüntülerinden, geleneksel değerleri kesin olarak belirlemek için geometrik hesaplamalara dayanan kuvvetli sayısal yöntemler önermişlerdir. Lokal ağırlıklı regresyon ve K-katlamalı çapraz doğrulama içeren istatistiksel yöntemler, bir ortalama dane yüzeyinin ayrılması ve böylece pürüzlülüğün ölçülmesi ve çıkarılması için kullanılmıştır. Yazarlar, dane köşelerini tanımlamak ve buralara uygun daireler yerleştirmek suratiyle yuvarlaklığı hesaplamak için geliştirdikleri algoritmaları detaylı olarak sunmuşlardır. Ayrıca, dane küreselliğinin bulunmasında yaygın olarak atıfta bulunulan beş yöntemden küresellik için en uygun yöntem hakkında çıkarımlar sunmuşlardır. Son olarak, doğru sonuçların elde edilmesi için gerekli olan minimum görüntü çözünürlüğü ve dane çevre ayrımı için önerilerde bulunmuşlardır.

Zemin danelerinin şekli uluslararası standartlarla dane yüzeyindeki tüm noktalar tarafından oluşturulan zarf olarak tanımlanmaktadır (ISO 2008). İki boyutlu görüntüler kullanılarak, Şekil 2.14'de gösterildiği gibi üç gözlem seviyesinde karakterize edilebilir. En büyükten en küçük ölçeğe kadar, daneler biçimleri, yuvarlaklıkları ve yüzey dokuları ile tanımlanmaktadır (Barrett 1980, Mitchell ve Soga 2005, ISO 2008). Zemin daneleri için, küresellik dane biçimini tanımlamak için yaygın olarak kullanılırken, pürüzlülük genellikle yüzey dokusunu tanımlamak için kullanılır. Bu nedenle, Zheng and Hryciw (2015), küresellik, yuvarlaklık ve pürüzlülük olmak üzere ortak geoteknik terimleri kullanmışlardır. Bu üç parametre, dane şeklinin bağımsız tanımlayıcıları olarak kabul edilir, çünkü her birindeki değişim diğerlerinden bağımsız gerçekleşmektedir (Wadell 1932, Cho et al. 2006). Bu içsel parçacık özelliklerinin çeşitli zemin makro-ölçek özelliklerini etkilediği iyi belirlenmiş olmasına rağmen, bunları belirlemek için gereken çaba nedeniyle uygulamada sıklıkla göz ardı edilmektedir.

Sedimentolojik önemi olan nesnelere için küreselliğin ilk tanımı genellikle Wadell'e (1933) atfedilir. Wadell (1933), Gerçek küresellik derecesini, dane ile aynı hacimde bir kürenin yüzey alanının, danenin gerçek yüzey alanına oranı olarak tanımlamıştır. Zemin danelerinin üç boyutlu yüzey alanlarını ölçmenin zorluğunu kabul eden Wadell, partikülün izdüşüm alanına dayalı pratik bir tanımlama da sunmuştur. Buna göre, Wadell (1933) küresellik derecesini, danenin en büyük izdüşüm alanına eşit alana sahip dairenin çapının, dane izdüşüm alanını çevreleyen en küçük çaplı dairenin çapına oranı olarak tanımlamıştır. Yıllar geçtikçe, küreselliğin diğer tanımları önerilmiştir (Krumbein and Sloss 1951, Santamarina and Cho 2004, Mitchell and Soga 2005, Altufifi et al. 2013). Tanımlamalar arasında farklar konusunda bazı karışıklıklar vardır. Bu nedenle, Zheng and Hrychiw (2015), küreselliğin çeşitli tanımlarını karşılaştırarak, bunları ölçmek için kullanılan yöntemleri tanımlayarak ve birbirlerine göre üstünlük ve dezavantajlarını karşılaştırmışlardır.

Yuvarlaklık, parçacık köşelerinin keskinliğini ölçer. Küresellikten farklılığı ilk olarak Wadell (1932) tarafından ayırt edilmiştir. Wadell (1932, 1933, 1935) yuvarlaklığı, danenin köşelerinde çizilen eğrilik yarıçaplarının ortalamasının dane iç teğet çemberinin yarıçapına oranı olarak tanımlamıştır. Bu yuvarlaklık tanımı bugün hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Yuvarlaklığının belirlenmesi için orijinal yöntemde büyük bir manuel çaba gerekmektedir. Dane anahatlarındaki her köşe, köşeye sığacak maksimum boyuttaki daireyi bulmak için bir dizi saydam şablonla karşılaştırılır. Hantal ve subjektif olmasına rağmen, prosedür günümüzde halen kullanılmaktadır.



**Şekil 2.14** Farklı ölçeklerde dane şekil karakteristikleri (Mitchell and Soga 2005)

Krumbein (1941), Krumbein and Sloss (1951) ve Powers (1953) tarafından, yuvarlaklığın, bir mikroskop altında görüntülenen danelerin görsel karşılaştırmalar yoluyla hızlı bir şekilde elde edilmesine olanak tanımak için, referans dane görüntüleri içeren Çizelgeler hazırlanmıştır. Açıkçası, bu Çizelgeler Wadell (1932, 1933, 1935) tarafından önerilen orijinal şablon yönteminden daha subjektiftir. Yine de, geoteknik mühendisliği, toprak bilimi, tarım, toz mühendisliği, ulaştırma mühendisliği ve jeoloji gibi birçok disiplinde kullanılmaktadır. Literatürde, bu Çizelgeler kullanılarak elde edilen zemin dane şeklinin ve yuvarlaklığının zeminin makro boyuttaki özelliklerine ve mekanik davranışa etkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Optik görüntü yakalama yöntemlerindeki ilerlemeler, zemin danelerinin projeksiyonlarının hızlı sayısallaşmasına yol açmış ve Wadell (1932, 1933, 1935) tarafından önerilen prosedüre otomatikleştirilme potansiyeli yaratmıştır. Yine de matematiksel olarak zorlu bir problem ortadadır ve bu nedenle araştırmacılar bilgisayar yardımıyla daha kolay elde edilebilen alternatif yuvarlaklık tanımlamaları önermişlerdir. Bu tür alternatif tanımlar şunları içerir: Fourier analizi (Bowman et al. 2001, Wettimuny and Penumadu 2004), açışallık indeksi (Tutumluer and Pan 2008) ve fraktal tekniği (Arasan et al. 2011). Bu yeni yöntemlerin kapsamlı bir derlemesi Masad et al. (2007) tarafından sunulmuştur. Ancak, aradan geçen uzun zamana ve mekanik özelliklerle kurulan çok sayıda kullanışlı korelasyona karşın henüz Wadell (1932, 1933, 1935) tarafından önerilen yuvarlaklık terimine alternatif bir tanımlama getirilememiştir. Zheng and Hrychiw (2015), devam eden popüleritesi ve yaygın kullanımı ışığında Wadell (1932, 1933, 1935) tarafından önerilen yuvarlaklık terimini hızlı ve objektif bir şekilde elde edilebileceği, bilgisayar destekli geometrik hesaplamalara dayanan bir algoritma sunmuşlardır.

En küçük gözlem ölçeğine inildiğinde her nesnenin yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Pürüzlülüğün doğrudan ölçümü zordur çünkü değeri ölçeğe bağlıdır (Santamarina and Cho 2004). Yazarlar, dane yuvarlaklığının değerlendirilmesinde yüzey pürüzlülüğünün etkisini ortadan kaldırmak için Lokal Regresyon (LOESS) ve K-katlamalı çapraz doğrulama yöntemleri kullanılarak elde edilen ortalama yüzey kullanılmışlardır. Pürüzlülüğün ortadan kaldırılması, ortalama dane yüzeyinin belirlenmesinde ön koşuldur.

Dane küreselliği çeşitli yollarla tanımlanmıştır. Mitchell and Soga (2005) ve Rodriguez et al. (2012) tarafından yaygın olarak kullanılan beş küresellik tanımı aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\text{Alan Bazlı Küresellik} = S_A = \frac{A_s}{A_{cir}} \quad (2.15)$$

$$\text{Çap Bazlı Küresellik} = S_D = \frac{D_c}{D_{cir}} \quad (2.16)$$

$$\text{Çember Oranı Bazlı Küresellik} = S_C = \frac{D_{ins}}{D_{cir}} \quad (2.17)$$

$$\text{Çevre Bazlı Küresellik} = S_P = \frac{P_c}{P_s} \quad (2.18)$$

$$\text{Genişlik Boy Oranı Bazlı Küresellik} = S_{WL} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.19)$$

Burada;

- $A_s$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı
- $A_{cir}$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanını çevreleyen en küçük çaplı çemberin alanı
- $D_c$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı ile aynı alana sahip dairenin çapı
- $D_{cir}$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanını çevreleyen en küçük çaplı çemberin çapı
- $D_{ins}$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanına çizilen içteğet çemberin çapı
- $P_c$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı ile aynı alana sahip dairenin çevresi
- $P_s$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı çevresi
- $d_1$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı boyu
- $d_2$  : Danenin projekte edilmiş (izdüşüm) alanı genişliği

Alan bazlı küresellik ilk olarak Tickell (1931) tarafından önerilmiştir. Çap bazlı küresellik Wasell (1933) tarafından orijinal olarak önerildiği haliyle gerçek küresellik derecesidir. Alan bazlı küresellik çember oranı bazlı küreselliğin karesidir. Riley (1941) dane küreselliğini

$$\text{Küresellik} = \sqrt{D_{ins}/D_{cir}} \quad (2.20)$$

olarak tanımlamış ve daha sonra Santamarina and Cho (2004) ve Cho et al. (2006) tarafından Eşitlik 2.17'deki halini almıştır. Benzer şekilde Cox (1927)'de küresellik

$$Küresellik = \sqrt{(P_c/P_s)^2} \quad (2.21)$$

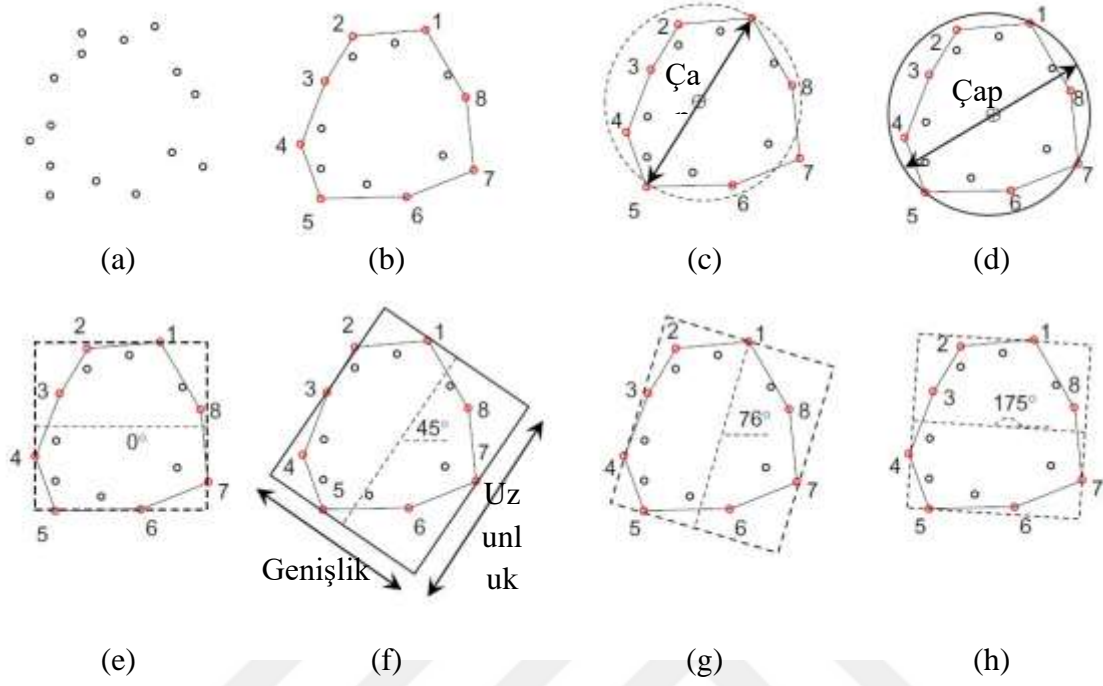
olarak tanımlanmış ve daha sonra Altuhafi et al. (2013) tarafından Eşitlik 2.18'deki halini almıştır. Eşitlik 2.18'deki küresellik ISO (2008)'de tariflenen ile aynıdır. Eşitlik 2.19'daki  $S_{WL}$ 'nin tersi uzanım oranı (elongation ratio) olarak bilinmektedir.

Danenin izdüşüm alanı ve bu alanın çevresi iki boyutlu görüntü analizinden kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ancak minimum çevrel çember, maksimum iç teğet çember, dane uzunluğu ve genişliği ilave bilgisayar destekli geometrik hesaplamalar gerçekleştirilerek elde edilmelidir. Dane izdüşüm alanını çevreleyen en küçük çaplı çevrel çemberin bulunması işlemi Şekil 2.15.a-d'de gösterilmiştir. Buna göre önce danenin izdüşüm alanı sınırındaki noktalar bulunur. Bu noktalardan en az sayıda noktayı doğru parçaları ile birleştirerek bütün noktaları sınırlayan bir kapalı poligon elde edilir. Bu aşama Şekil 2.15.b'de sekiz nokta ile gerçekleştirilmiştir. Birbirinden en uzakta yer alan iki nokta (Şekil 2.15.c'de 1 ve 5 nolu noktalar) bulunur ve bu iki noktayı birleştiren doğru parçası deneme çevrel çember çapını oluşturur. Eğer diğer bütün noktalar oluşturulan bu çember içinde kalıyorsa bu durumda oluşturulan bu çember minimum çevrel çemberdir. Eğer değilse, bu durumda oluşturulan çemberin en dışında kalan nokta bulunur (Şekil 2.15.c'de 7 numaralı nokta) ve çizilen çemberin çapının başlangıç ve bitişini oluşturan önceki iki nokta kümesine (Şekil 2.15.c'de 1 ve 5 numaralı noktalar) eklenir. Yeni çember bulunan bu üç noktaya (Şekil 2.15.c'de 1, 5 ve 7 numaralı noktalar) göre oluşturulur. Eğer diğer bütün noktalar oluşturulan yeni çemberin içerisinde yer alıyorsa o zaman minimum çevrel çember bulunmuş olur (Şekil 2.15.d) aksi takdirde tüm noktalar çember içerisinde kalıncaya kadar bu işleme devam edilir. Zheng and Hrychiw (2015), danelerinin uzunluk ve genişlik ölçümlerini, ASTM D4791 ve ASTM D2488 standartlarındaki prosedürlerin aynıını uygulayarak elde etmişlerdir. Buna göre, kavramsal olarak, agrega danesi dikdörtgen bir sınırlayıcı kutu ile sınırlandırılır. Şekil 2.15.e-h'de gösterildiği gibi, 180°'ye kadar oryantasyonlu deneme kutuları, sekiz dış noktayı sınırlamak için yerleştirilmiştir. Deneme kutuları içinden, boyutlardan birisi en büyük olanı, danenin hem uzunluğunu hem de genişliğini tanımlamaktadır (Şekil 2.15.f).

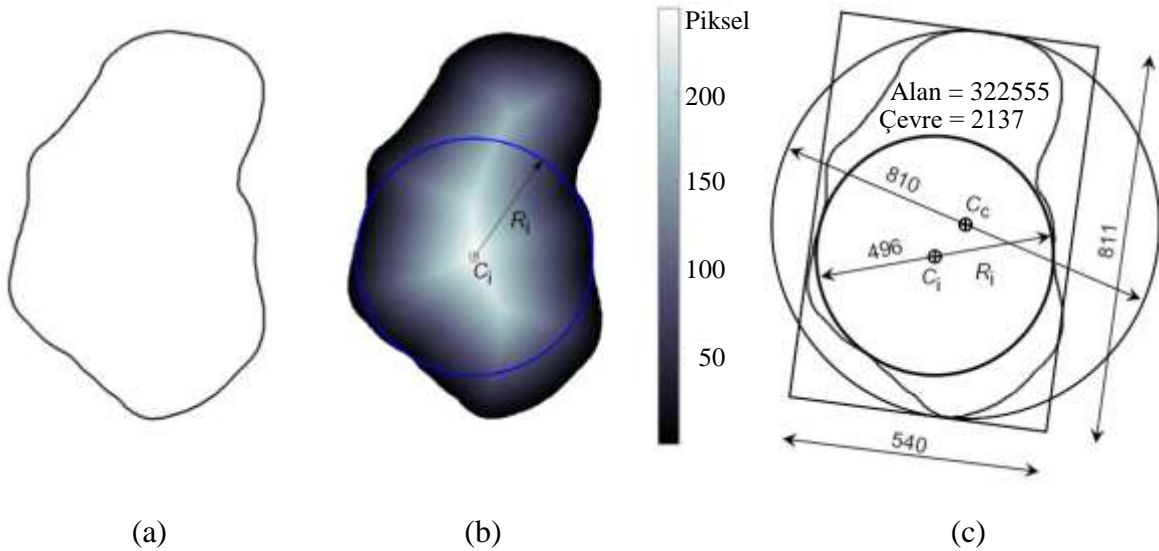
Maksimum iç teğet çember Euclidean uzaklık haritası kullanılarak bulunabilmektedir. Şekil 2.16.a'daki dane izdüşüm alanı içindeki her piksel için, en yakın sınır pikseline olan mesafe hesaplanır ve Şekil 2.16.b' de gösterildiği gibi Euclidean mesafe haritası ile sonuçlanır. En büyük mesafe değeri ve konumu, yarıçapı ( $R_i$ ) ve iç teğet çemberin ( $C_i$ ) merkezini Şekil



2.16.b’de gösterildiği gibi tanımlar. Sonuçlar (piksel birimlerinde) Şekil 2.16.c’de özetlenmiştir (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.15 Danenin boy ve genişliği ile en küçük çevrel çemberin bulunuşu (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.16 En büyük içteğet çemberin bulunuşu a) Dane dışhatları b) Eucladian uzaklık haritası c) Sonuçlar (Zheng and Hrychiw 2015).

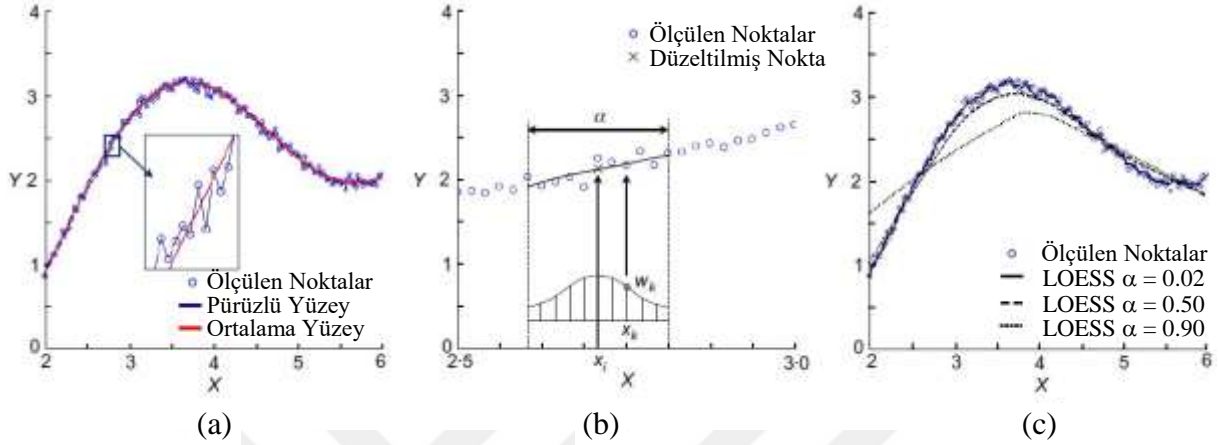
Pürüzlülüğü karakterize etmede, belirli bir ölçekte verilen ölçümlerde, bir yüzeyin ortalama düzleminden sapmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, oldukça düzensiz

zemin dane yüzeyleri nedeniyle, genellikle ortalama yüzeyi tarif etmek için fonksiyonel bir form yoktur. Bu problem parametrik olmayan eğri uydurma teknikleriyle ele alınabilir. Bu tür teknikler, noktalar arasında önceden tanımlı fonksiyonel bir ilişki verilmeksizin ölçülen noktalara düzgün bir eğri uydurur. En popüler parametrik olmayan eğri yumuşatıcılardan biri, Cleveland and Devlin (1988) tarafından önerilen lokal regresyondur (LOESS). LOESS prosedürünün bir örneği Şekil 2.17'de gösterilmektedir. Şekil 2.17.a'da, bir ortalama yüzeyin keyfi fonksiyon tarafından tanımlandığı varsayılmıştır. Şekil 2.17.a'da gösterilen X aralığı boyunca, fonksiyon yarı köşeli bir zemin danesinin bir köşesini temsil edebilir. Pürüzlülük, gerçek dane pürüzlülüğü veya piksellere dijital yuvarlama veya ölçüm sistemindeki elektriksel gürültü olabilir. Her durumda, Şekil 2.17.a'daki yuvarlak işaretler, bir cihazın bu yüzeydeki ölçümlerini temsil etmektedir. Ölçüm aralığı, cihazın bu ölçekte çözünürlüğüne bağlıdır. LOESS'in amacı, ortalama yüzeyi kaba ölçümlerden tahmin etmektir. LOESS, her veri noktasını lokal regresyon tarafından belirlenen yumuşatılmış değerle değiştirir. Şekil 2.17.b'de  $X = 2.5$  ile  $X = 3.0$  arasındaki  $x_i$  noktası için yumuşatılmış değer nasıl bulunduğu görülmektedir. Bu süreçte  $x_i$  noktası ve  $\alpha$  mesafesi kadar aralıktaki komşu noktaları kullanılmaktadır. Eğri uydurmak için kullanılan noktaların sayısının, toplam veri noktası sayısına oranı  $\alpha$  yayılma değerini vermektedir. Bu nedenle  $\alpha$  değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu örnekte,  $X=2.0$  ile  $X=6.0$  aralığında toplam 200 ölçüm noktası bulunmaktadır. Eğer  $\alpha = 0.045$  ise bu durumda herbir düzeltme için dokuz ölçüm noktası kullanılacaktır. Açıklıktaki her nokta için,  $x_i$  merkez noktasına olan uzaklığına göre bir ağırlık uygulanır. Örneğin, Şekil 2.17.b'deki  $x_k$  noktası için ağırlık aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanır.

$$w_k = \exp \left[ -\frac{(x_i - x_k)^2}{2\alpha^2} \right] \quad (2.22)$$

Eşitlik 2.22 ile hesaplanan değerler Şekil 2.17.b'de çizilmiştir.  $X_i$ 'ye daha yakın olan noktaların daha büyük ağırlıklara sahip olduğu ve bu nedenle eğri uydurma üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Açıklıktaki veri noktalarına ağırlıklar uygulandıktan sonra, en küçük kareler yöntemi kullanarak noktalara ikinci dereceden bir polinom uydurulur.  $X_i$  noktasında düzeltilmiş değer Şekil 2.17.b'de gösterildiği gibi ağırlıklı regresyon ile verilmektedir. Bu düzeltme işlemi, her bir noktanın düzeltilmiş değerini elde etmek için veri noktasından veri noktasına ilerler. Hesaplanan düzgünleştirilmiş değerler kullanılan  $\alpha$  değerinden etkilenecektir. Şekil 2.17.c'de,  $\alpha$ 'nın 0.02 ile 0.09 arasında değiştirilmesi ile LOESS yöntemi kullanılarak aynı ölçüm verilerine uydurulan eğriler verilmektedir. Küçük  $\alpha$

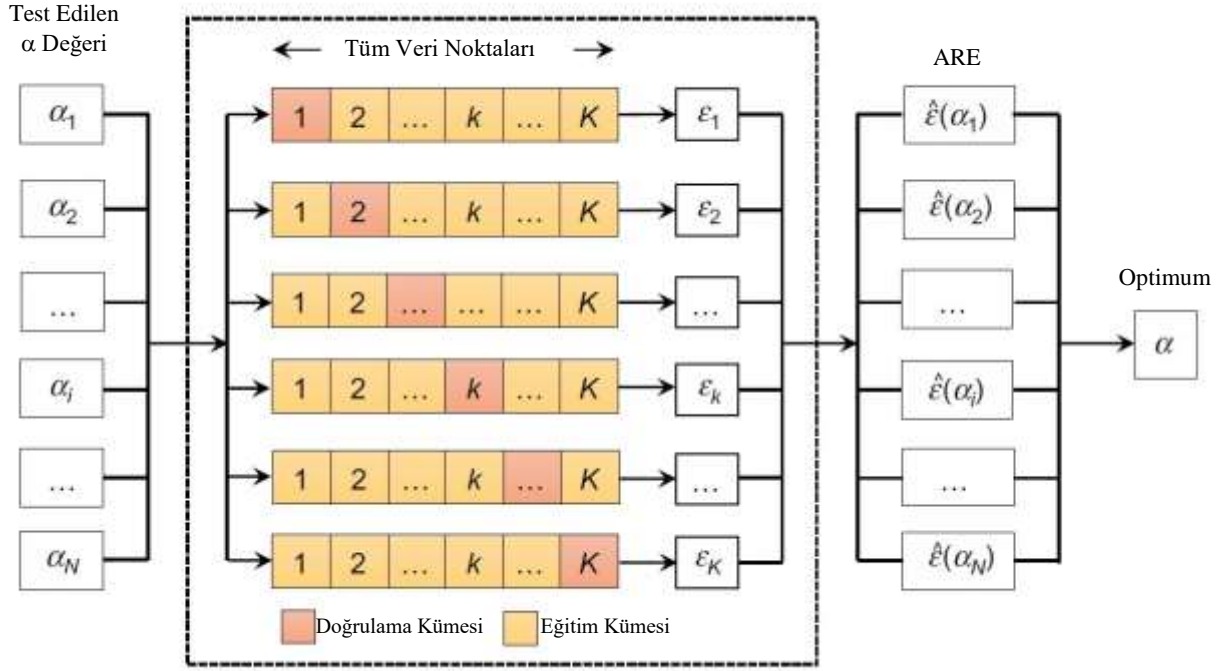
değerlerinin pürüzlülüğü filtrelemediği, büyük  $\alpha$  değerlerinin ise yerel eğriselliği takip etmeyen eğriler ortaya çıkardığı açıktır. Uygun bir  $\alpha$  değerinin seçilmesi, ortalama yüzeye mümkün olduğunca yakın bir LOESS eğrisi oluşturmak ve aşırı uyum ve yetersiz uyumdan kaçınmakla mümkündür (Zheng and Hrychiw 2015).



**Şekil 2.17** LOESS adımları ve farklı  $\alpha$  değerleri ile sonuçların değişimi (Zheng and Hrychiw 2015).

Optimum  $\alpha$  değeri çapraz doğrulama teknikleriyle belirlenebilir (Efron and Tibshirani, 1993). Çapraz doğrulama temelde bir deneme-yanılma yaklaşımıdır. Toplam  $N$  farklı  $\alpha$  değeri tek tek test edilir. Popüler bir çapraz doğrulama tekniği  $K$  katlamalı çapraz doğrulama olarak adlandırılmaktadır. Prosedür, Şekil 2.18'de şematik olarak gösterilmiştir. Bir danenin dış hatlarını tanımlayan ölçülen veri noktalarının tamamı, kabaca eşit büyüklükteki  $K$  kümelerine rastgele bölünmüştür. Şekil 2.18'deki satırlar ile gösterildiği gibi, her bir küme, sırasıyla, geri kalan kümeler eğitim setleri iken bir doğrulama kümesi olarak kullanılır. Örneğin,  $k$  satırındaki,  $k$  numaralı küme doğrulama kümesi iken diğerleri eğitim kümeleridir. Tüm eğitim kümelerinin verileri, test edilen  $\alpha$  değeriyle tanımlanan bir LOESS eğrisi oluşturur. Doğrulama kümesi daha sonra bu LOESS eğrisi için bir artık hata hesaplaması için kullanılır. Bu hata değeri  $i$  inci  $\alpha$  değeri ve  $k$  inci satır için  $\varepsilon_k(\alpha_i)$ 'dir. Bu süreç  $k = 1, 2, \dots, K$  olmak üzere  $K$  kere tekrar edilir. Test edilen herbir  $\alpha_i$  aralığı için hata,  $\varepsilon_k(\alpha_i)$ 'nin ortalama artık hatası (ARE : average residual error) olarak hesap edilir. Minimum  $\acute{\varepsilon}$  değerini veren  $\alpha$ , optimum açıklık değeridir. Zheng and Hrychiw (2015) bir dizi  $K$  değeri denenmişler ve  $K=10$ 'un zemin dane pürüzlülüğü analizi için yeterli olduğunu göstermişlerdir.

$$\acute{\varepsilon}(\alpha_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \varepsilon_k(\alpha_i) \quad (2.23)$$

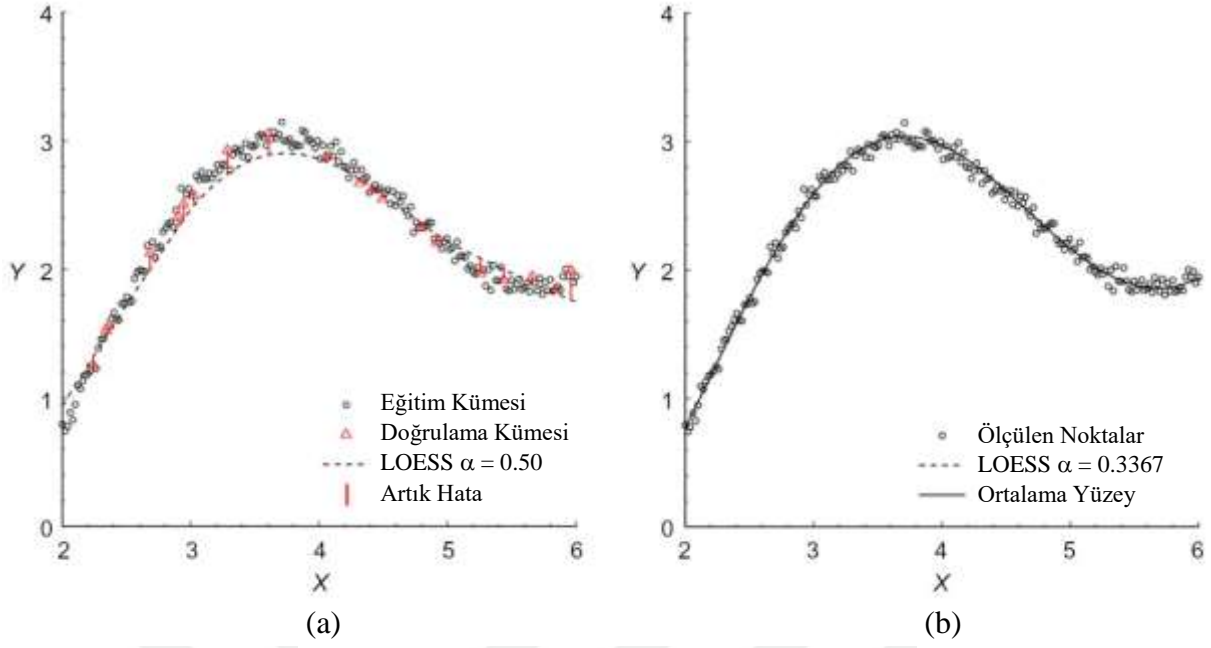


Şekil 2.18 K katlamalı çapraz doğrulama işlemi (Zheng and Hrychiw 2015).

Şekil 2.17'de verilen örnekte, en uygun  $\alpha$ 'yı bulmak için, 0.01'den 0.99'a kadar, 0.0098'lik artımlarla toplam 100  $\alpha$  değeri ile on kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Toplamda 200 veri noktası rasgele 10 kümeye ayrılmıştır. Bu durumda her bir küme 20 veri noktası içermektedir. Test edilen her bir açıklık  $\alpha_i$  ( $i=1, 2, \dots, 100$ ) için, 180 veri noktasını içeren bir eğitim kümesi, Şekil 2.19.a'da gösterildiği gibi bir LOESS eğrisi ile uydurulmuştur. Kalan 20 veri noktasından oluşan doğrulama kümesi daha sonra artık hatayı hesaplamak için kullanılmıştır. Bu işlem her bir  $\alpha_i$  için 10 defa ortalama artık hatayı  $\hat{\epsilon}(\alpha_i)$  bulmak için tekrarlanmıştır. En uygun  $\alpha$ , minimum ARE değerine göre 0.3367 olarak bulunmuştur. Bütün ölçüm verileri ve  $\alpha = 0.3367$  kullanılarak, LOESS eğrisi uydurulmuştur (Şekil 2.19.b). LOESS eğrisi, gerçek ortalama yüzey ile neredeyse mükemmel şekilde örtüşmektedir. İki eğri arasındaki en büyük sapma 0.001'dir. Özet olarak, pürüzlülük ölçüm verileri, LOESS ve k katlamalı çapraz doğrulama yöntemlerinin birlikte kullanılması ile ortalama yüzey verimli bir şekilde tahmin edilmiştir (Zheng and Hrychiw 2015).

Düzleştirilmiş yüzeyi oluşturduktan sonra, pürüzlülük değerini elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan kare ortalamalarının karekökü hesaplanabilir.

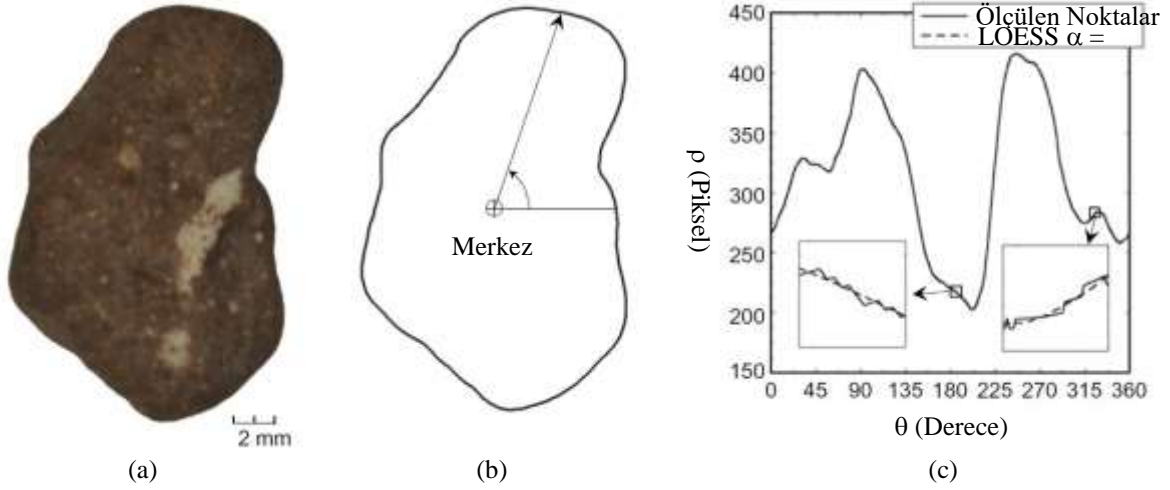
$$\text{Pürüzlülük} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{i-LOESS})^2} \quad (2.24)$$



**Şekil 2.19** Katlamalı çapraz doğrulama (10 kat) sonuçları (Zheng and Hrychiw 2015).

Burada;  $y_i$ :  $i$ 'inci ölçüm verisini,  $y_{i-LOESS}$ : LOESS eğrisinde düzeltilmiş  $i$ 'inci ölçüm verisini,  $N$ : Ölçüm verilerinin sayısını göstermektedir. Pürüzlülüğün bu eşitlikle hesaplanan değerlerinin farklı ölçeklere göre değişeceğine dikkat edilmelidir. Bu nedenle, bu eşitlik, ele alınan problemle uygun ölçekte kullanılmalıdır. Şekil 2.20.a'da gösterildiği gibi bir zemin danesinin pürüzlülüğünü değerlendirmek için, dane dış hatları üzerindeki noktalar Şekil 2.20.b'de gösterildiği gibi kutupsal koordinatlar kullanılarak çizilir. Bu dane görüntüsü 40 piksel/mm'lik bir çözünürlüğe sahiptir ve dış hatlarını oluşturan toplamda 1980 noktanın kutupsal koordinatları  $(\theta, \rho)$  Şekil 2.20.b-c'de çizilmiştir. LOESS ve 10 kat çapraz doğrulama yöntemleri kullanılarak optimum  $\alpha$  değeri 0.015 olarak bulunmuştur. Bu zemin danesinin bulunan ortalama yüzeyi Şekil 2.20.c'de gösterilmiştir. Eşitlik 2.24 kullanılarak bu zemin danesine ait pürüzlülük değeri 0.1mm olarak hesaplanmıştır (Zheng and Hrychiw 2015).

Günümüze kadar, yuvarlaklığın hesaplanması, insan yargısı gerektirdiği için otomatikleştirmek zor olmuştur. İlk olarak, zemin danesi üzerindeki köşeler tanımlanmalıdır. Dane başına köşe sayısı, bunların eğriliği ve danelerin büyüklüğündeki büyük farklılıklar, kesin ve tekrarlanabilir bir prosedür oluşturmayı zorlaştırmıştır. İkincisi, dane pürüzlülüğü parçacık köşeleri üzerine bindirilmiştir. Köşelere daire yerleştirirken pürüzler insan tarafından sezgisel olarak filtrelenebilir. Aksine, bilgisayarlara pürüzleri küçük keskin köşelerden ayırmaları öğretilmesi veya programlanması gerekir (Zheng and Hrychiw 2015).

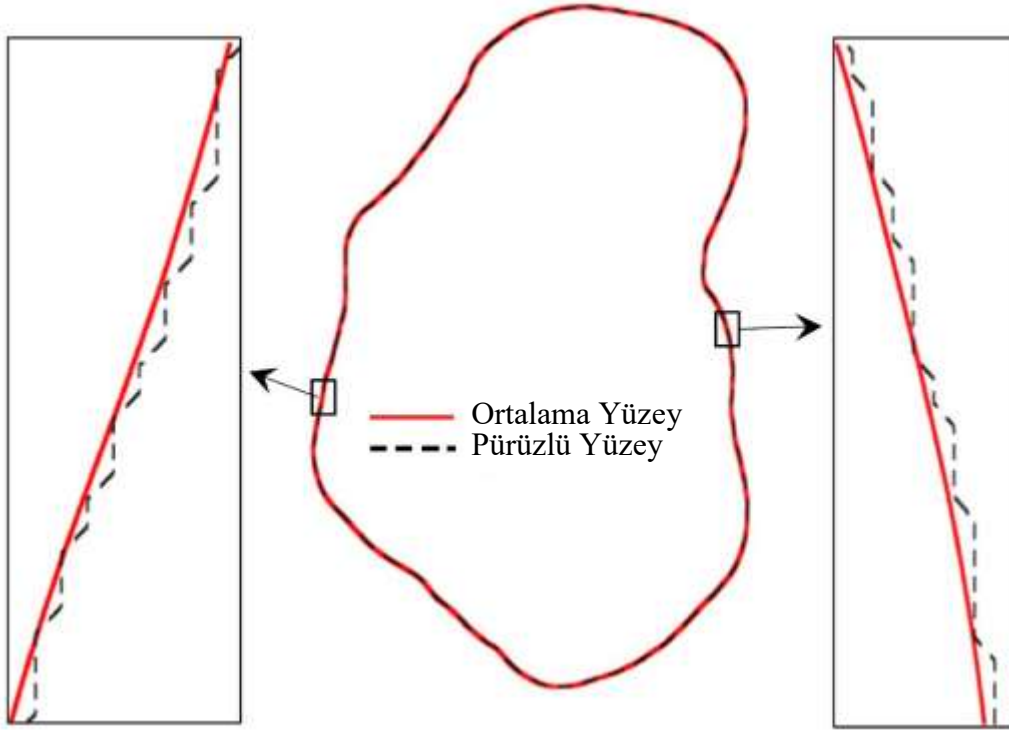


**Şekil 2.20** Dane çevresi ve pürüzlülüğünün elde edilişi a) orijinal dane görüntüsü b) dane dış hatları c) LOESS yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü düzeltilmesi (Zheng and Hrychiw 2015).

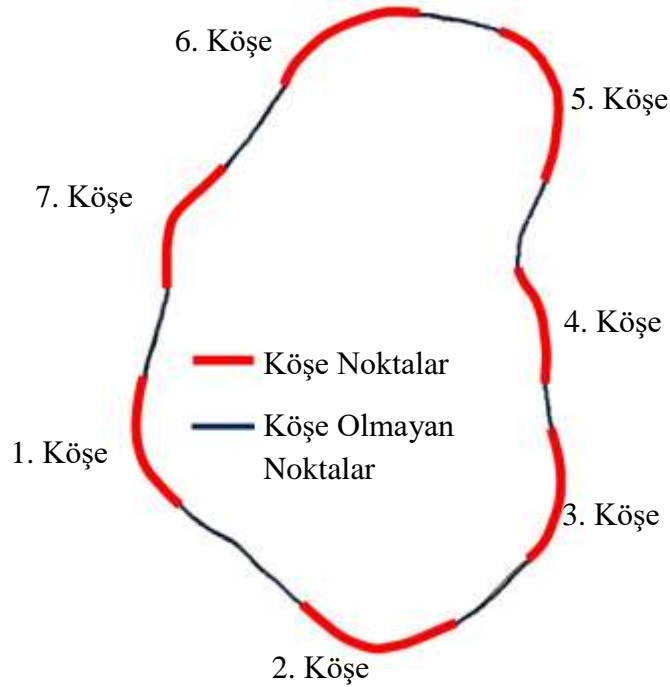
Önceki araştırmacılar, bir parçacığın dış hatlarını, N-kenarlı eşit açılı poligona ayırarak pürüzlülüğün etkilerini ortadan kaldırmaya çalışmışlardır. Bu nedenle seçilen N değeri, köşelilik ve pürüzlülük arasında ayrılma görevi görür. Sukumaran and Ashmawy (2001),  $N = 40$ 'ın uygun bir değer olduğunu öne sürerken, Tutumluer and Pan (2008)  $N = 24$ 'ün tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir. Gerçekte, tüm zemin danelerine tek bir N değeri uygulanamaz; N daneden daneye ve danelerin özgün açısallıklarına ve pürüzlülüklerine bağlı olarak değişmelidir. Bu N yaklaşımının bir başka kısıtlaması, küçük, keskin köşelerin kolayca gözden kaçırılabilmesidir. Bu nedenle, çok köşeli parçacıklar için uygun değildir. LOESS ve K-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi, dane pürüzlülüğünü gidermek için de kullanılabilir. Örnek bir zemin danesi yüzeyi Şekil 2.20'de gösterildiği gibi kutupsal koordinatlar kullanılarak temsil edilmiştir. Ortalama yüzeyi bulduktan sonra  $(\theta, \rho)$  Şekil 2.21'de olduğu gibi yeni düzleştirilmiş zemin danesi dış hatlarını göstermek çizilebilir. Düzleştirilmiş dış hatlar elde edildikten sonraki adım, Wadell'in yuvarlaklığını hesaplamak için, her köşeye uygun bir daire sığdırmaktır (Zheng and Hrychiw 2015).

Wadell'in yuvarlaklığının belirlenmesi, zemin danesindeki her bir köşesinin tanımlanmasını ve keskinliğinin değerlendirilmesini gerektirir. Manüel yöntemlerde, köşeleri belirlemek için yargı ve sezgiler kullanılır (Şekil 2.22). Bunun aksine, Fourier analizi, köşelilik indeksi ve fraktal tekniği kullanan yeni yuvarlaklık tanımları, eğrilikleri sadece köşeler yerine tüm

parçacık dışhattı boyunca ölçmektedirler. Şekil 2.22'de gösterildiği gibi, bir danenin tüm dış hatları hem köşe (konveks) kısımlarını hem de köşe olmayan (içbükey ve düz kısımları) içerir.

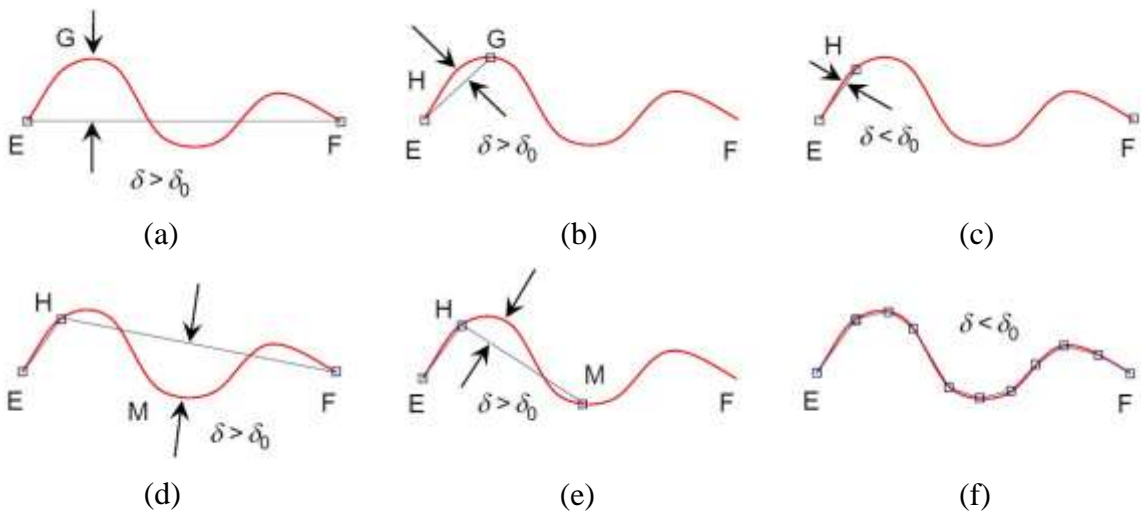


Şekil 2.21 Dane dışhattından yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.22 Dane dış hattının köşe ve köşe olmayan parçaları (Zheng and Hrychiw 2015).

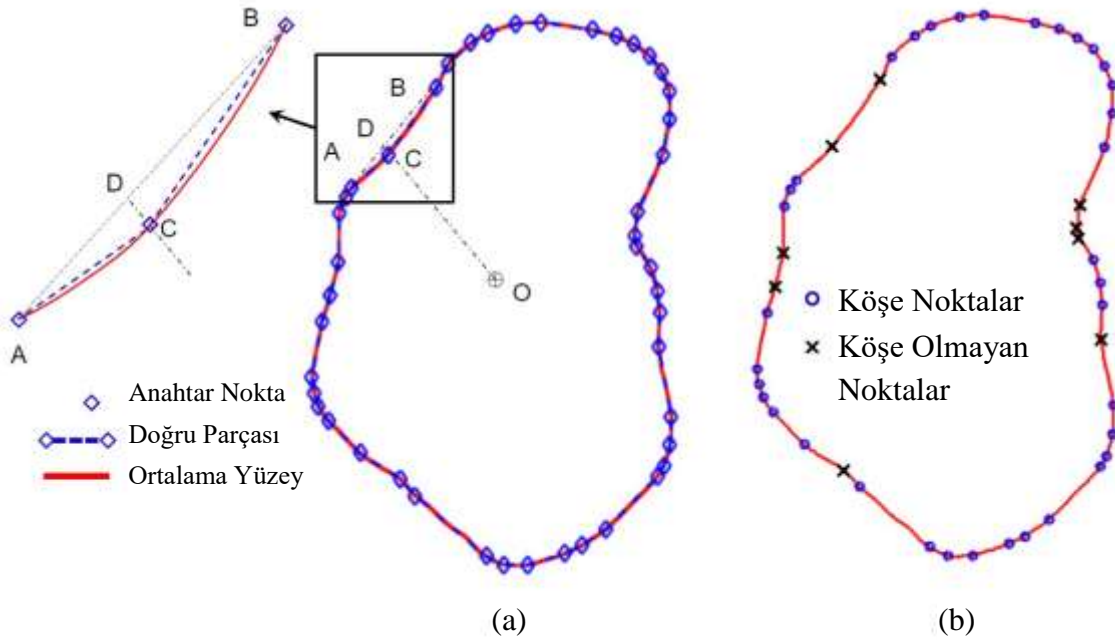
Bir danenin düzleştirilmiş dış hatları, kilit noktalarda birbirine bağlı çizgi parçalarına ayrılabilir. Bunun bir örneği Şekil 2.23’de verilmiştir. Burada EF eğrisi danenin tüm çevresini göstermektedir. Bu grafikte amplitüd değerleri Şekil 2.20.c’deki gibi dane ağırlık merkezinden radyal mesafeleri göstermektedir. Öncelikle  $\overline{EF}$  eğrisinin başlangıç ve bitiş noktalarını birleştiren EF doğru parçası çizilir (Şekil 2.23.a). Burada ayrılan eğrinin başlangıç noktası E bitiş noktası F noktasıdır.  $\overline{EF}$  eğrisi üzerindeki EF doğru parçasına en uzak G noktası ile EF doğru parçası arasındaki fark  $\delta$  ile tanımlıdır. Eğer  $\delta$  değeri, önceden tanımlanan  $\delta_0$  eşik değerinden büyük ise bu durumda G noktası doğru parçasının yeni bitiş noktası olur ve EF doğru parçası EG olarak kısalır (Şekil 2.23.b). Bu defa,  $\overline{EG}$  eğrisi ile EG doğru parçası arasındaki maksimum fark  $\delta$  hesaplanır. Bu iterasyon, Şekil 2.23.c’de görüldüğü üzere  $\delta$  değerinin  $\delta_0$  değerinden küçük olmasını sağlayan bir H noktası bulunana değin devam ettirilir. Böyle bir H noktası bulunduğunda,  $\overline{EH}$  eğri parçası kalıcı olarak EH doğru parçası ile değiştirilir. Böylece H noktası bir sonraki adımda bulunacak olan doğru parçasının başlangıç noktası ve HF yeni başlangıç doğru parçası olmaktadır (Şekil 2.23.d). Bir önceki adımda tarif edilen işlemler bu adımda da devam ettirilir (Şekil 2.23.e). Bu işlemler,  $\overline{EF}$  eğrisinin tamamı, anahtar noktalarda birleşen, küçük doğru parçalarına bölünene kadar devam ettirilir Şekil 2.23.f. Şekil 2.22’de verilen, düzgünleştirilmiş ortalama yüzeye sahip zemin danesinin, yukarıda açıklanan işlemler uygulanarak dış hatlarının küçük doğru parçalarına bölünmüş hali Şekil 2.24’de verilmiştir (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.23 Dane dış hattının doğru parçalarına bölümlendirilmesi (Zheng and Hrychiw 2015).



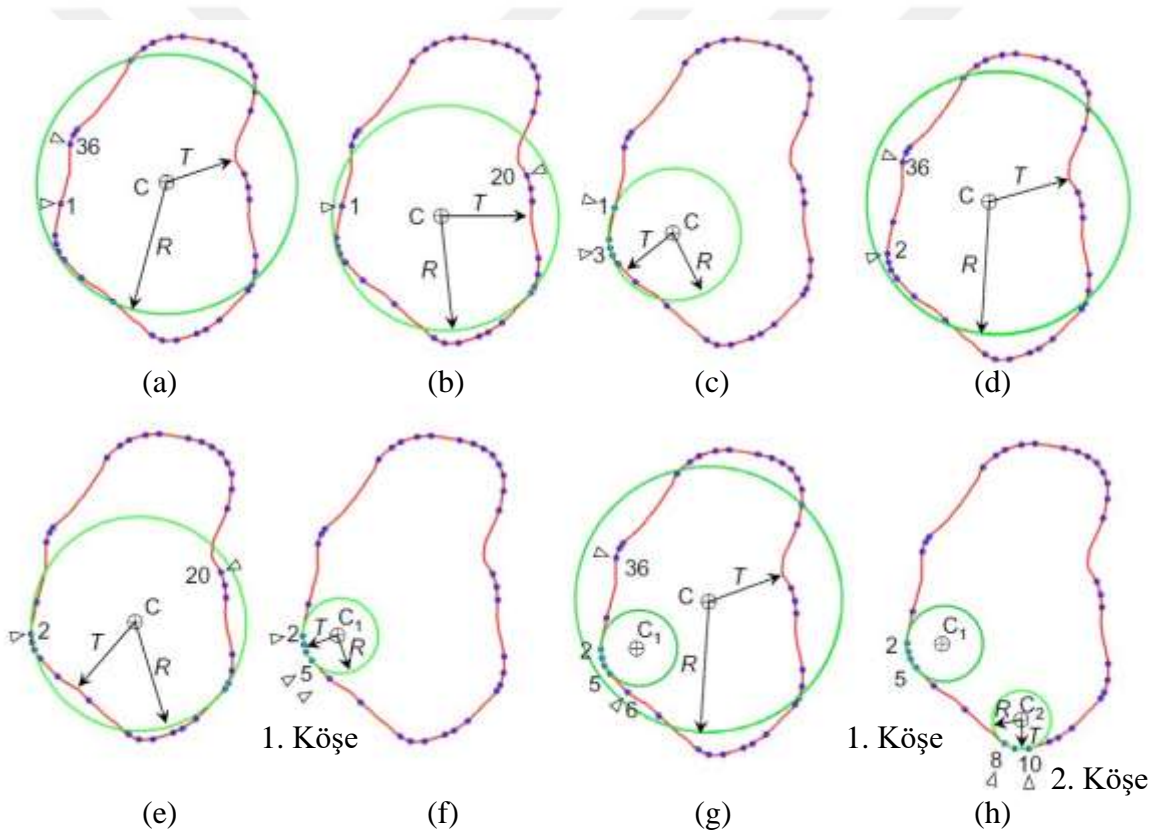
Şekil 2.24.a'da zemin danesi dış hatlarındaki, anahtar nokta olarak adlandırılan, paralel kenar şeklindeki noktalar doğru parçalarının başlangıç veya bitiş noktalarıdır. Doğal olarak, daha büyük eğriliğe sahip olan daha keskin köşeler daha fazla doğru parçası gerektirirken, daha düz kısımlar daha az kilit noktaya ve doğru parçasına ihtiyaç duyar. Açıkça,  $\delta_0$  eşiği, köşelerin belirlenmesinde kritik öneme sahip bir parametredir. Çözümdeki bir sonraki adım anahtar noktaların köşe veya köşe olmayan parçaların hangisi üzerinde yer aldığı belirlenmesidir. Zemin danesinin ağırlık merkezini gösteren O noktası referans noktası olarak seçilmiştir. Bu adımı açıklamak için Şekil 2.24.a'da görüldüğü üzere C noktası ve bu noktanın sağında ve solundaki en yakın komşuluğundaki A ve B noktaları kullanılacaktır. Şekil 2.24.a'da görüldüğü gibi OC ve AB doğru parçaları oluşturulur. Gerekli olması durumunda OC doğru parçası AB doğru parçasına uzatılarak bu doğru parçasını kestiği D noktası da gösterilir. Daha sonra OD ve OC mesafeleri kıyaslanır. Eğer  $OC \leq OD$  ise C noktası köşe olmayan parça üzerindedir. Bunun aksine eğer  $OC > OD$  ise bu durumda C noktası köşe parça üzerindedir. Bu işlem, zemin danesi dış hattındaki her bir nokta için tekrarlanır. Şekil 2.24.b'de zemin danesi dış hattı üzerinde yer alan anahtar noktaların köşe ve köşe olmayan nokta olarak ayırılmış halleri görülmektedir. Böylece, zemin danesi dış hattı üzerinde ardışık olarak yer alan noktalara çember uydurulabilir (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.24 Dane köşelerinin belirlenmesi (Zheng and Hrychiw 2015).

Gander et al. (1994) bir dizi veri noktasına bir çember yerleştirmek için bir yöntem sunmuşlardır. Buna göre, en uygun daire, noktalar ve çember arasındaki mesafelerin karelerinin toplamının minimum değere indirilmesiyle bulunmaktadır. Bu yaklaşımı kullanarak, bir danenin her köşesi için uygun çember bulunabilir. Buna bir örnek Şekil 2.25'de gösterilmiştir. 1'den 36'ya kadar numaralandırılmış olan tüm köşe noktaları başlangıçta Şekil 2.25.a'da gösterildiği gibi en uygun çemberi hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu çemberin merkezi C ve yarıçap R'dir. C'den dane dış hattına kadar olan en küçük mesafe T olarak hesaplanır. Eğer T, R'den küçük ise, bu durumda elde edilen çember dane dış hattına T'de teğet değildir ancak burada bir kiriş oluşturur. Bu nedenle, bu kabul edilebilir bir çember değildir. Böyle bir durumla karşılaşılması halinde 36 numaralı son nokta elenir ve 35 numaralı nokta yeni son nokta olarak ele alınır. Böylece 1'den 35'e kadar numaralı noktalar yeni çember yerleştirilmesi için kullanılır. T ve R değerleri yeniden ölçülür ve karşılaştırılır. Eğer T değeri halen R değerinden küçük ise bu durumda 35 numaralı nokta elenir ve 34 numaralı nokta yeni son nokta olarak ele alınır. Bu işlem adımları, yerleştirilen çemberi  $T \approx R$  şartını sağlayana kadar veya 3 numaralı nokta yeni son nokta olarak ele alınana kadar devam ettirilir. Şekil 2.25.b ve c'de, uygun bir çember elde edilemediği için, son noktanın 20 daha sonra 19, 18, 17, ..., 3 numaralı noktaya taşındığı görülmektedir. Bu durumda bu döngü uygun bir çember bulunamadan tamamlanmış olur ve yeni döngüde başlangıç noktası Şekil 2.25.d'de görüldüğü gibi 2 numaralı noktaya taşınır. Bu defa 2'den 36'ya kadar olan noktalar çember yerleştirmek için kullanılır yine  $T < R$  ise, son nokta gitgide azalan numaralı noktalara atanarak uygun çember aranır. Şekil 2.25.e' son nokta 20 numaralı nokta olması durumunda yerleştirilen çember görülmektedir ve bu çemberde uygun bir çember değildir. Şekil 2.25.f'de görüldüğü üzere son nokta 5 numaralı nokta olduğunda  $T = R$  şartını sağlayan  $C_1$  çemberi uygun bir çember olarak elde edilmiştir.  $C_1$  numaralı çember 2'den 5'e kadar olan köşe noktalara uyan bir çember olarak elde edilmiş ve 2'den 5'e kadar olan noktaların bulunduğu kısım 1 numaralı köşe olarak adlandırılmıştır. Bundan sonraki adımda başlangıç noktası olarak 6 numaralı nokta seçilir ve son nokta olarak 36 numaralı nokta yeniden dikkate alınır (Şekil 2.25.g). Yeni uygun çember  $C_2$ , 8'den 10'a kadar olan noktalar için elde edilmiştir ve bu noktaların bulunduğu kısım 2 numaralı köşe olarak belirlenmiştir (Şekil 2.25.h). Bu prosedür 34 numaralı köşe nokta başlangıç noktası ve 36 numaralı köşe noktası son nokta olarak seçilen son adıma değin devam ettirilir (Zheng and Hrychiw 2015).

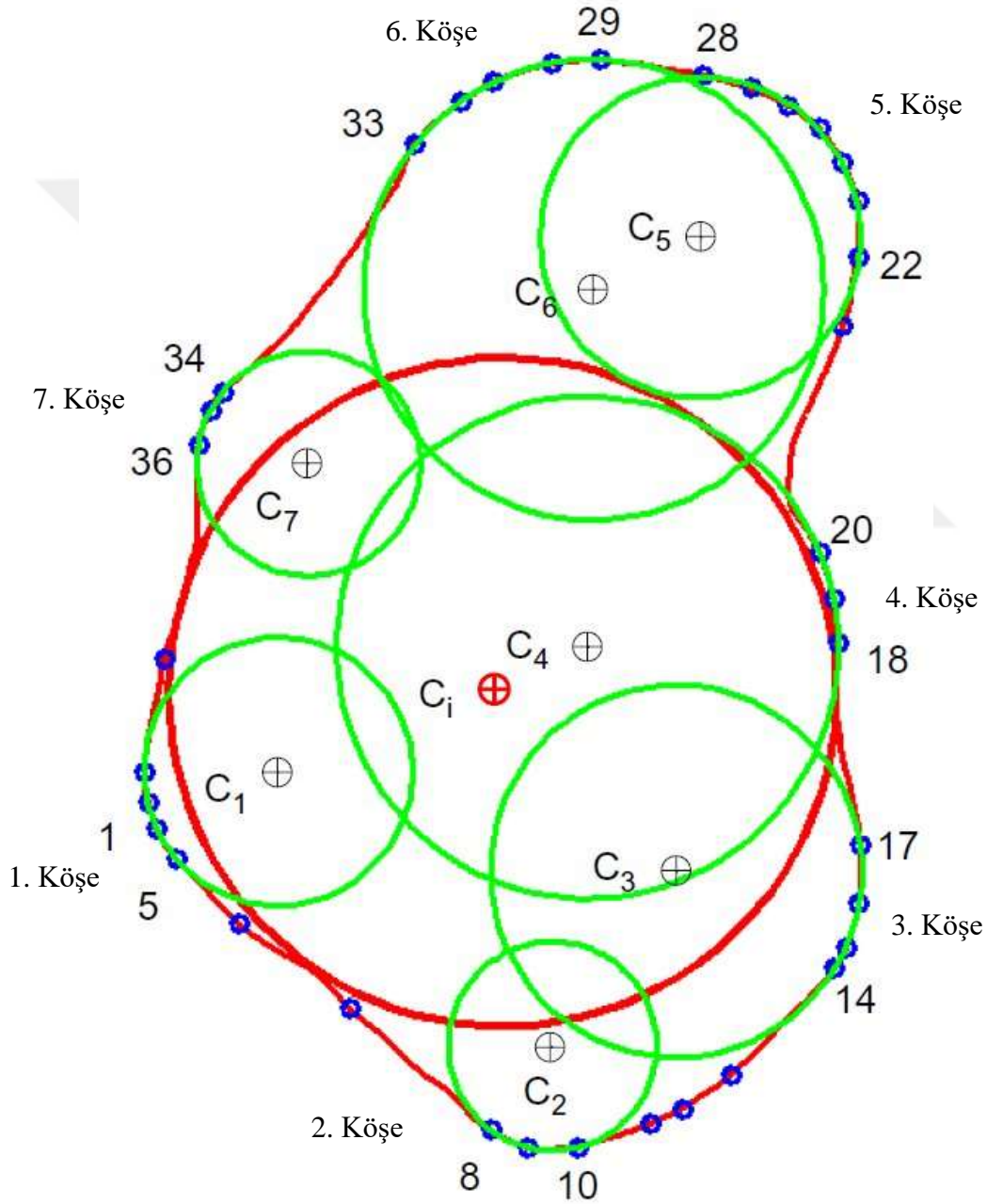
Görsel gözlem sonucu Şekil 2.22’de verilen zemin danesinin 7 adet köşesi bulunduğu tespit edilmektedir. Aynı zemin danesinin yukarıda tariflenen algoritma uygulanarak bulunan 7 adet köşesini gösteren grafik Şekil 2.26’da verilmiştir. Şekil 2.26’da ayrıca  $C_i$  merkez noktası ile tanımlı maksimum içteğet çemberde verilmiştir. Bütün köşe çemberleri belirlendikten sonra, maksimum içteğet çember ile birlikte kullanılarak, dane yuvarlaklığı 0.49 olarak hesaplanmıştır. Yukarıda bahsedilen prosedürde, tanjant çember  $T$ ’nin yaklaşık olarak  $R$ ’ye eşit olması durumu için bulunmaktadır. Bununla birlikte,  $T$ ’nin  $R$  ile tam olarak aynı olması, sayısal yuvarlamalardan dolayı çok nadir bir durumdur. Bunun yerine, Zheng and Hrychiw (2015), dane yuvarlaklığının belirlenmesi için  $0.98 \leq T/R \leq 1$  şartının yeterli olduğunu belirtmişlerdir.



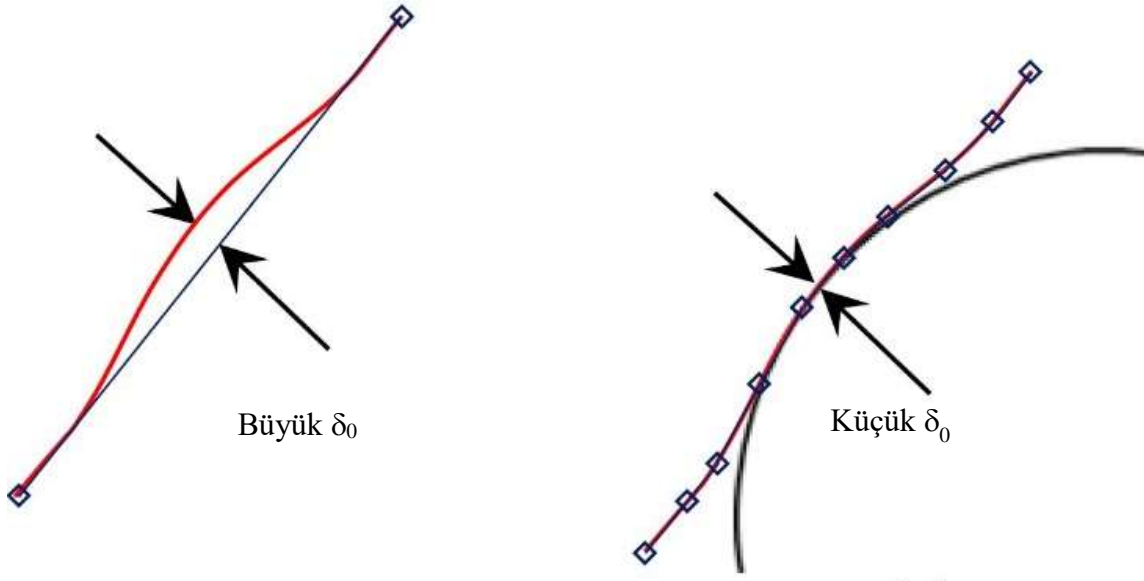
**Şekil 2.25** Dane köşelerine çember yerleştirme işlemi (Zheng and Hrychiw 2015).

Zemin danesi dış hattının yeteri sayıda anahtar noktasında birbirine bağlanan doğru parçalar ile ayrılması, dane köşelerinin belirlenmesinde zaruridir. Ayrılama için bir eşik  $\delta_0$  değeri seçilmelidir. Bu  $\delta_0$  değeri, anahtar noktaları birleştiren eğri ve doğru parçaları arasındaki izin verilen maksimum farkı belirtmektedir. Aslında, seçilen  $\delta_0$  değeri köşe noktalar ile köşe olmayan noktalar arasındaki eşiği belirtmektedir. Örneğin, Şekil 2.27'deki

eğri,  $\delta_0$  seçilen değerine bağlı olarak ya düz bir çizgi ya da köşe olarak tanımlanacaktır. Doğal olarak,  $\delta_0$  tüm köşeleri yakalamak için mümkün olduğunca küçük seçilmelidir. Bu durumda daha fazla köşe noktası oluşacaktır ve bu nedenle hesaplama süresi önemli ölçüde artıracaktır. Çünkü algoritma, tüm köşe çemberlerini bulmak için yaklaşık  $N^N$  (N köşe noktası sayısıdır) işlem gerektirmektedir.



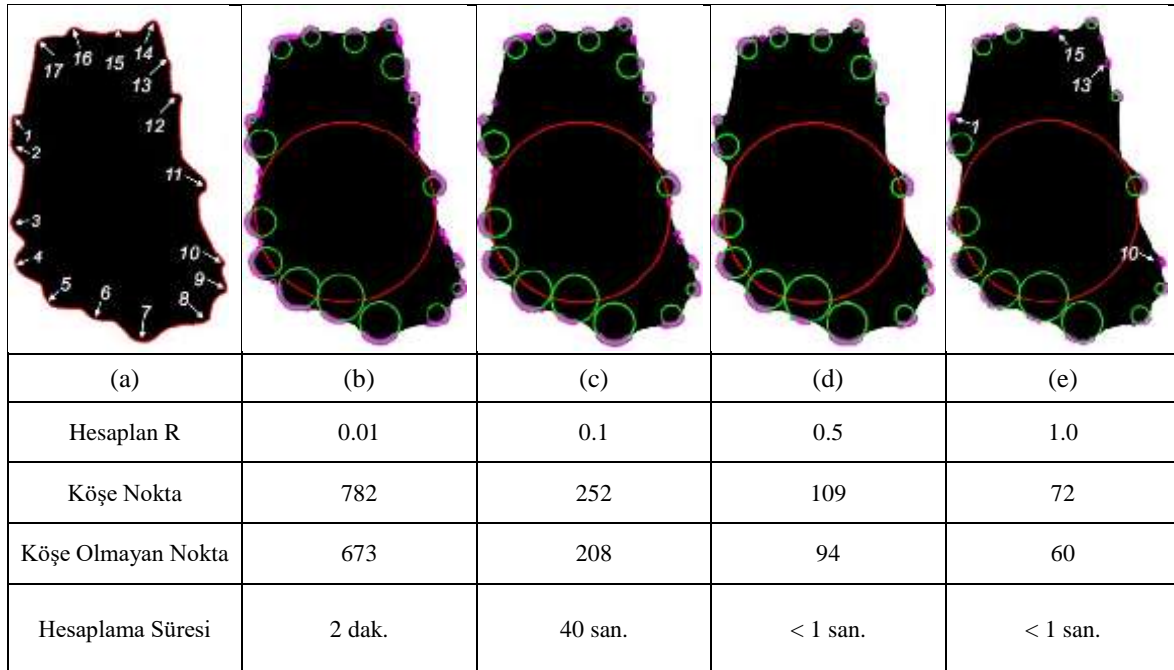
Şekil 2.26 Daneye çember yerleştirme işlemi sonucu (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.27  $\delta_0$ 'ın tanımlanması ve önemi (Zheng and Hrychiw 2015).

Nihai sonuçlar üzerine  $\delta_0$ 'ın etkisini araştırmak için Zheng and Hrychiw (2015) çok sayıda hesaplama gerçekleştirmişlerdir. Zemin danesi ne kadar köşeli ise yuvarlaklık sonuçlarının  $\delta_0$ 'a o kadar hassas olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 2.28.a'daki zemin danesinin yuvarlaklık değeri Powers(1950)'de 0.12 olarak verilmektedir. Bu zemin danesi çok küçük ve keskin köşeler (1,10 ve 12 numaralı köşeler) ile düşük eğriliğe sahip köşeler (13 ve 15 numaralı köşeler) içeren karmaşık bir dane dış hattına sahiptir. Dolayısıyla, önerilen algoritmanın yuvarlaklığı sayısal olarak hesaplaması için zor bir danedir. Bu nedenle, Zheng and Hrychiw (2015) tarafından  $\delta_0$ 'nın önemini göstermek için kullanılmıştır ve bir dizi  $\delta_0$  değeri denenmiş ve sonuçlar Şekil 2.28'de gösterilmiştir. Bu zemin danesinin orijinal dış hattı 3147 nokta içermektedir. Başlangıç olarak,  $\delta_0$ 'nın değeri 0.01 olarak seçilmiş ve bu durumda Şekil 2.28.b'de görüldüğü üzere 782 tanesi köşe nokta ve 673 tanesi köşe olamayan nokta olmak üzere toplamda 1455 anahtar nokta bulunmuştur. Köşe noktaları dane dış hattı üzerinde çizilmiş ve bu noktalara uygun çemberler yerleştirilmiştir. Şekil 2.28.b'de gösterildiği gibi, tüm 17 köşe çemberi başarıyla tanımlanmıştır (Zheng and Hrychiw 2015). Yuvarlaklık değeri Powers (1953) tarafından bildirilen değerle mükemmel bir şekilde uyumlu olmak üzere 0.12 hesaplanmıştır.  $\delta_0$  değeri daha sonra 0.01'den 0.5'e kademeli olarak artırılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Dane dış hattı daha az sayıda anahtar nokta ile temsil edilmiş olsada hesaplanan yuvarlaklık değeri tam olarak aynı kalmıştır. Buna karşın hesaplama süresi 2 dakikadan azalarak 1 saniyenin altına düşmüştür. Son olarak  $\delta_0$  değeri 1 yükseltildiğinde 1, 10, 13 ve 15 numaralı köşeler bulunamamış ve bu nedenle hesaplanan yuvarlaklık değeri

0.14'e fırlamıştır. Bahsedilen köşelerden, 1 ve 10 numaralı köşeler çok küçük ve keskin, 13 ve 15 numaralı köşeler çok küçük eğriliğe sahiptir.  $\delta_0$ 'ın yüksek değerlerinde bu tür köşeler kolayca gözden kaçmaktadır. Şekil 2.28'den açık olarak görülmektedir ki hesaplanan yuvarlaklık değerleri,  $\delta_0$ 'ın  $\delta_{0max}$  eşik değerinden daha küçük değerlerine hassas değildir.  $\delta_0 < \delta_{0max}$  olduğu durumda anlamlı dane köşelerinin tamamı başarılı bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu durumda,  $\delta_{0max}$  eşik değerinden çok küçük değerler kullanılmasının bir faydası olmadığı gibi hesaplama verimini de azaltmaktadır. Bununla birlikte bu eşik değer görüntü çözünürlüğü ile değişmektedir. Görüntü çözünürlüğü dane pürüzlülüğü, küreselliği ve yuvarlaklığının hesaplanmasında kritik öneme sahiptir. Daha önce de bahsedildiği gibi yüzey pürüzlülüğü ölçüğe bağlı bir değerdir. Aynı yüzey için, farklı cihaz çözünürlükleri (örneğin, mikroskopların aksine kameralar) farklı pürüzlülük değerleri verecektir. Hesaplanan pürüzlülüğün görüntü çözünürlüğüne bariz bir bağımlılığı olsa da, parçacık küreselliği ve yuvarlaklığın hesaplanmış değerlerinin farklı görüntü çözünürlüklerine olan kararlılığının değerlendirilmesi zordur. Parçacık görüntü çözünürlüğünün etkisini ölçmek için, çevrel çember çapı başına piksel (PCD: pixels per circumscribed circle diameter) kavramı kullanılmaktadır. Açıkçası, aynı zemin danesi farklı kamera çözünürlükleri altında görüntülendiğinde farklı PCD'lere sahip olacaktır.



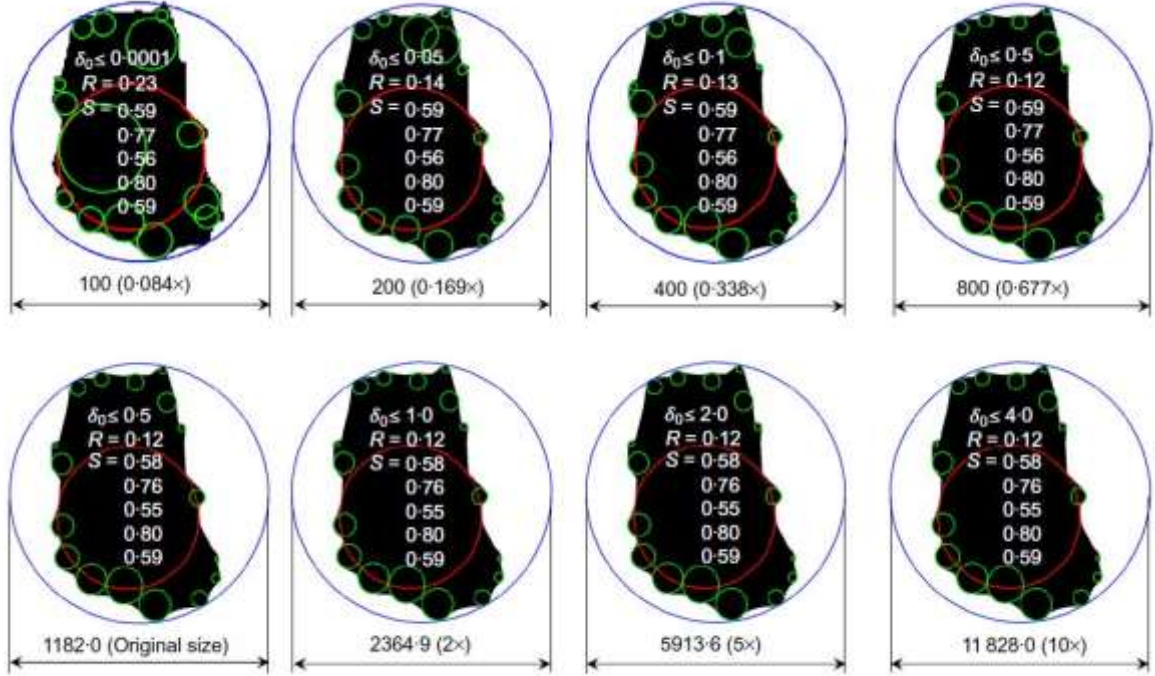
Şekil 2.28 Farklı  $\delta_0$  değerlerinin hesaplanan yuvarlaklık üzerine etkisi (Zheng and Hryciw 2015).

Yuvarlak danelerle karşılaştırıldığında, köşeli daneler için yuvarlaklığın hesaplanması, PCD'ye karşı daha hassastır çünkü düşük PCD'de küçük, keskin köşeler kaybolabilmektedir. Şekil 2.28'de gösterilen dane bu defa PCD'nin küreselleşme ve yuvarlaklık üzerindeki etkisini göstermek için Zheng and Hryciw (2015) tarafından kullanılmıştır. Şekil 2.29'da görünen, zemin danesinin ölçeği, farklı PCD değerleri elde etmek için dijital olarak azaltılmış ve artırılmıştır. Beş farklı küresellik değeri Eşitlik 1-5'den hesaplanmıştır. İlginçtir ki hesaplanan bu 5 farklı küresellik değerleri PCD'nin 100'den 12000'e kadar olan değişiminden neredeyse hiç etkilenmemiştir. Buna göre PCD'nin 100'den büyük olması durumunda, küresellik, zemin danelerinin çözünürlüğüne karşı hassas değildir. Farklı PCD değerlerinin kullanılması durumunda hesaplanan yuvarlaklık değerleri de Şekil 2.29'da verilmiştir. Zheng and Hryciw (2015), PCD 200 pikselden küçük olduğunda, dane dış hattı boyunca kademelenme gözlemlendiğini, son derece küçük  $\delta_0$  kullanıldığında bile, küçük köşelerin net olarak gösterilemediğini ve köşe olmayan parçaların köşe olarak tanımlanmış olabileceğini, bu nedenle, yuvarlaklığı doğru bir şekilde hesaplamak için, danenin en az 200 pikselden oluşan bir PCD ile görüntülenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. PCD'nin 200 pikselden büyük olması durumunda, görüntü çözünürlüğü oldukça karmaşık bir dane dış hattını bile tanımlamak için yeterli olduğunu vurgulamışlardır. Bununla birlikte  $\delta_0 \leq \delta_{0max}$  olduğu sürece, hesaplanan yuvarlaklığın  $\delta_0$  'dan etkilenmeyeceğini. Bununla birlikte,  $\delta_{0max}$ , Şekil 2.29'da gösterildiği gibi görüntü çözünürlüğüne bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Yazarlar  $\delta_{0max}$ 'ın PCD'nin% 0.03'ünden büyük olmaması gerektiğini belirtmişlerdir.

Şekil 2.30.a ve c'de gösterilen iki kuvars taneciğinin yuvarlaklığı elle Wadell (1935) tarafından hesaplanmıştır. Karşılaştırma için köşe çemberleri, Zheng and Hryciw (2015) tarafından önerilen geometrik hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, Şekil 2.30.b ve d'de gösterilmiştir. Köşelere yerleştirilen çemberlerin konumları ve boyutları ile hesaplanan yuvarlaklık değerleri, Wadell tarafından bildirilenlere çok yakındır. Wadell tarafından kullanılan Eşitlik 2'deki çap bazlı küresellik ayrıca geometrik hesaplama yöntemi ile belirlenmiştir. Şekil 2.30'da sonuçların uyduğu görülmektedir.

Krumbein and Sloss (1951), elde çizilmiş çemberleri göstermeden, Wadell (1935) yöntemini kullanarak hesapladıkları yuvarlaklık değerleri ve dane küreselliğini ilk olarak tek bir grafikte bir araya getirmişlerdir (Şekil 2.31). Yazarlar tarafından kullanılan 20 görüntü yuvarlaklığın (R) hesaplanması için Zheng and Hryciw (2015) tarafından kullanılmıştır. Hesapladıkları maksimum iç teğet çember ve köşe çemberleri herbir dane için Şekil 2.31'de göstermişlerdir.

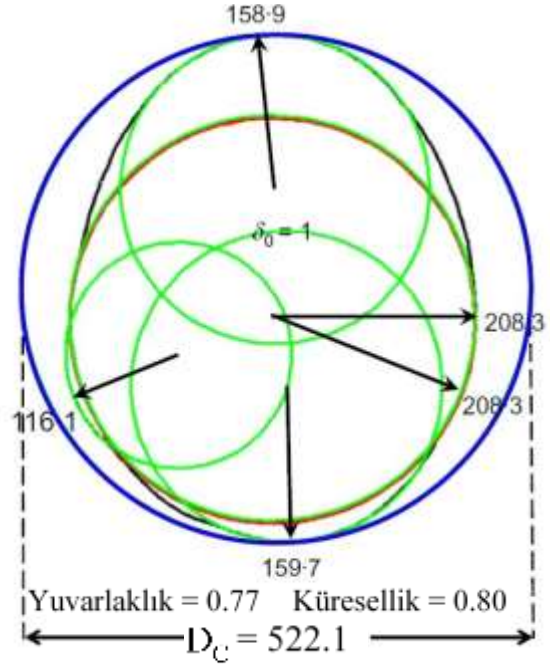
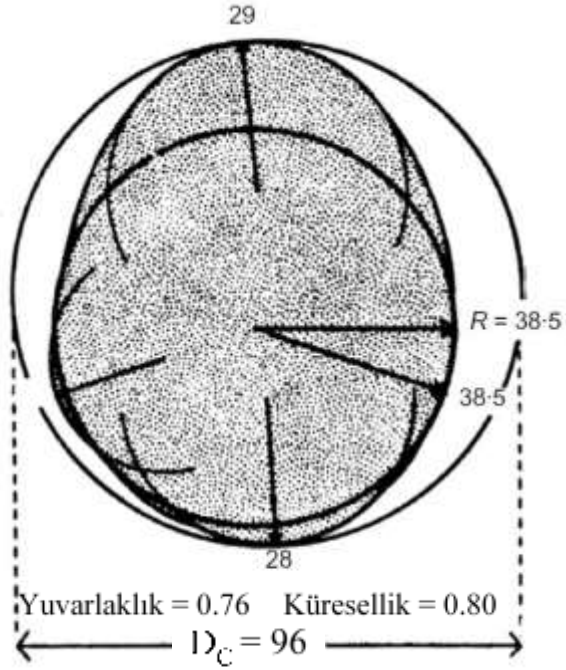
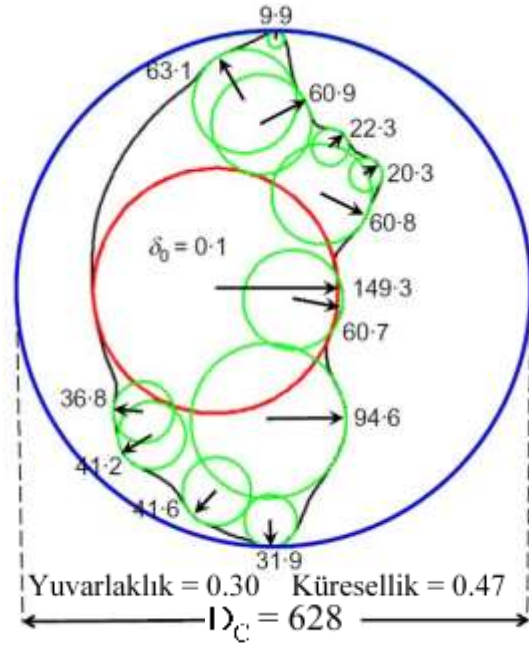
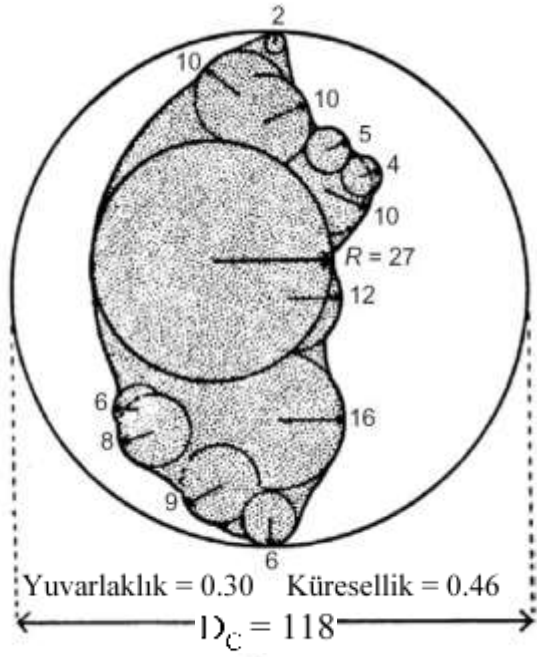
Zheng and Hryciw (2015) tarafından önerilen geometrik hesaplama yöntemi, Wadell'in manuel veya Krumbein ve Sloss'ın grafik yöntemi ile aynı yuvarlaklık değerlerini sağladığından, eski yöntemler için gerekli zaman, işyükü ve hatalı ölçüm gibi olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır.



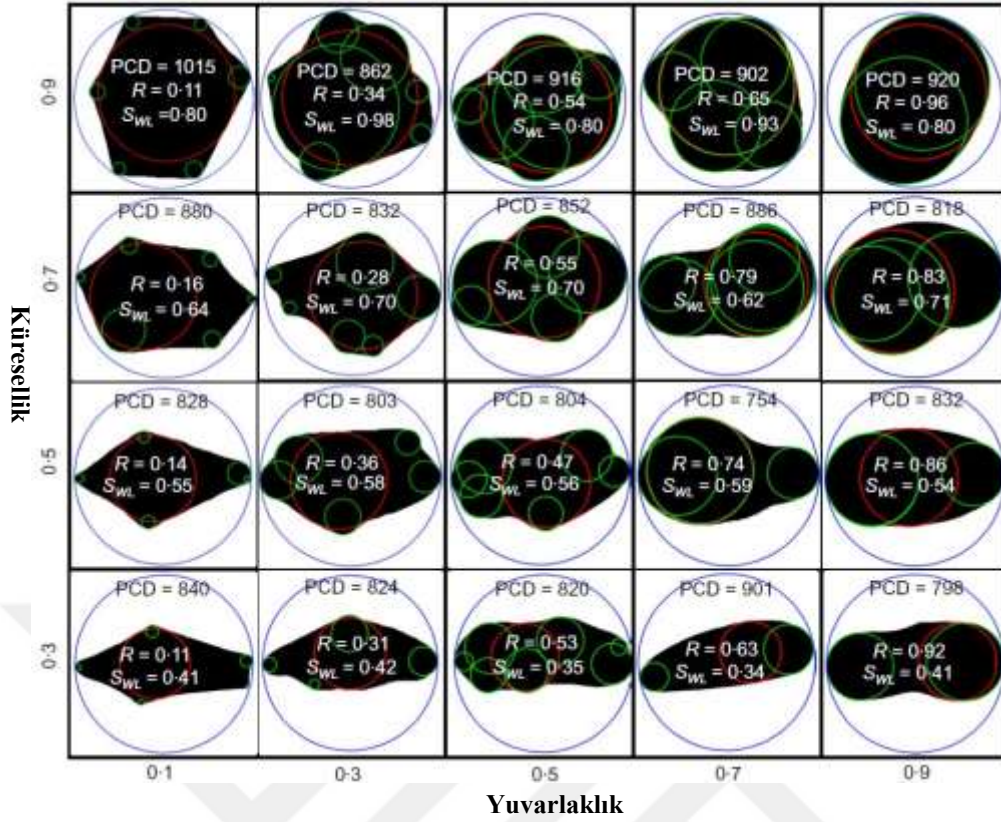
Şekil 2.29 PCD değerinin hesaplanan yuvarlaklık ve küresellik üzerine etkisi (Zheng and Hryciw 2015).

Zheng and Hryciw (2015), her bir zemin danesi için Eşitlik 2.15-19 kullanarak hesapladıkları küresellik değerlerini ve Krumbein-Sloss grafik değerlerini Şekil 2.32'de karşılaştırmışlardır. Yazarlar, iyi bilinen ve küresellik şemalarında sıklıkla kullanılan Krumbein and Sloss (1951) şemasında  $S_{WL}$  kullandığını, Şekil 2.31'in yaygın tarihsel kullanımına ek olarak,  $S_{WL}$ 'nin küreselliği tanımlamak için kullanımını destekleyen ilave nedenler bulunduğunu belirtmişlerdir. İlk olarak,  $S_{WL}$  kavramsal olarak basit, sezgisel ve görüntülerden kolayca belirlenebilmektedir. İkincisi,  $S_{WL}$ 'nin yuvarlaklıktan tamamen bağımsız olduğu görülmektedir. Üçüncüsü, beş tanımın hepsinde, 0 ile 1.0 arasında en geniş değer aralığını kullanır, bu nedenle  $S_{WL}$  dane formunun en pratik ve çekici ölçüsü haline gelmektedir.

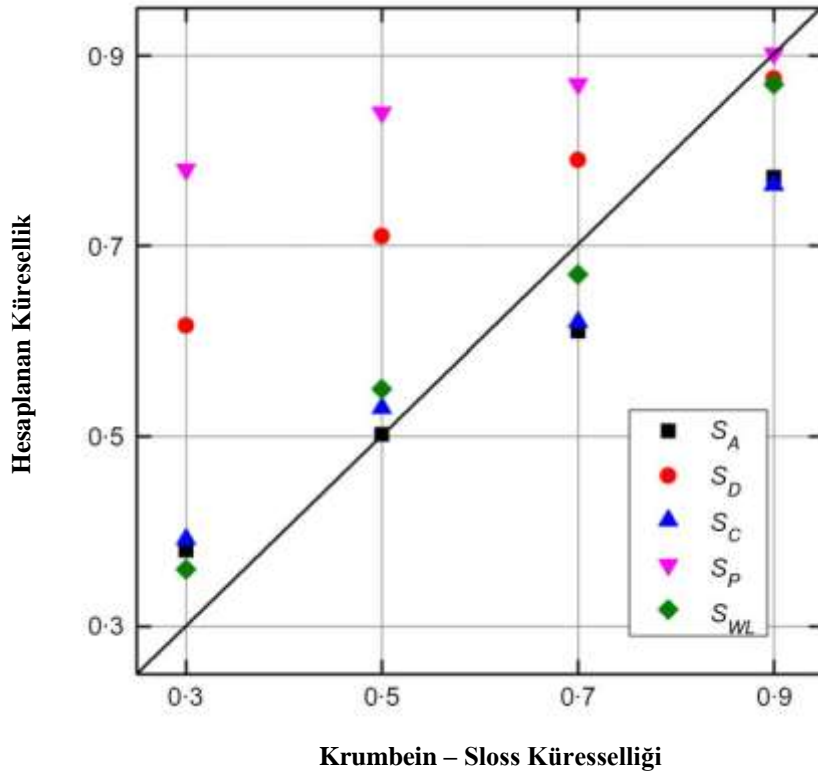




Şekil 2.30 Wadell 1935 sonuçlarının karşılaştırılması a ve b ) Wadell 1935'den birim mm c ve d) Hesaplamalı geometri sonuçları birim piksel (Zheng and Hrychiw 2015).



Şekil 2.31 Krumbein and Sloss (1951) sonuçları ile hesaplamalı geometri sonuçlarının karşılaştırılması (Zheng and Hrychiw 2015).



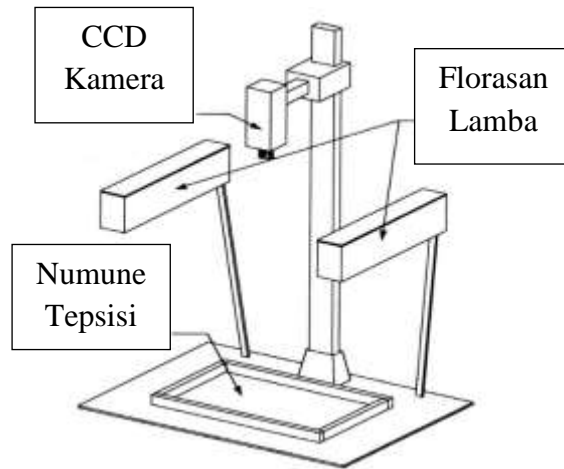
Şekil 2.32 Küresellik tanımları sonuçlarının karşılaştırılması (Zheng and Hrychiw 2015).

## BÖLÜM 3

### MALZEME YÖNTEM

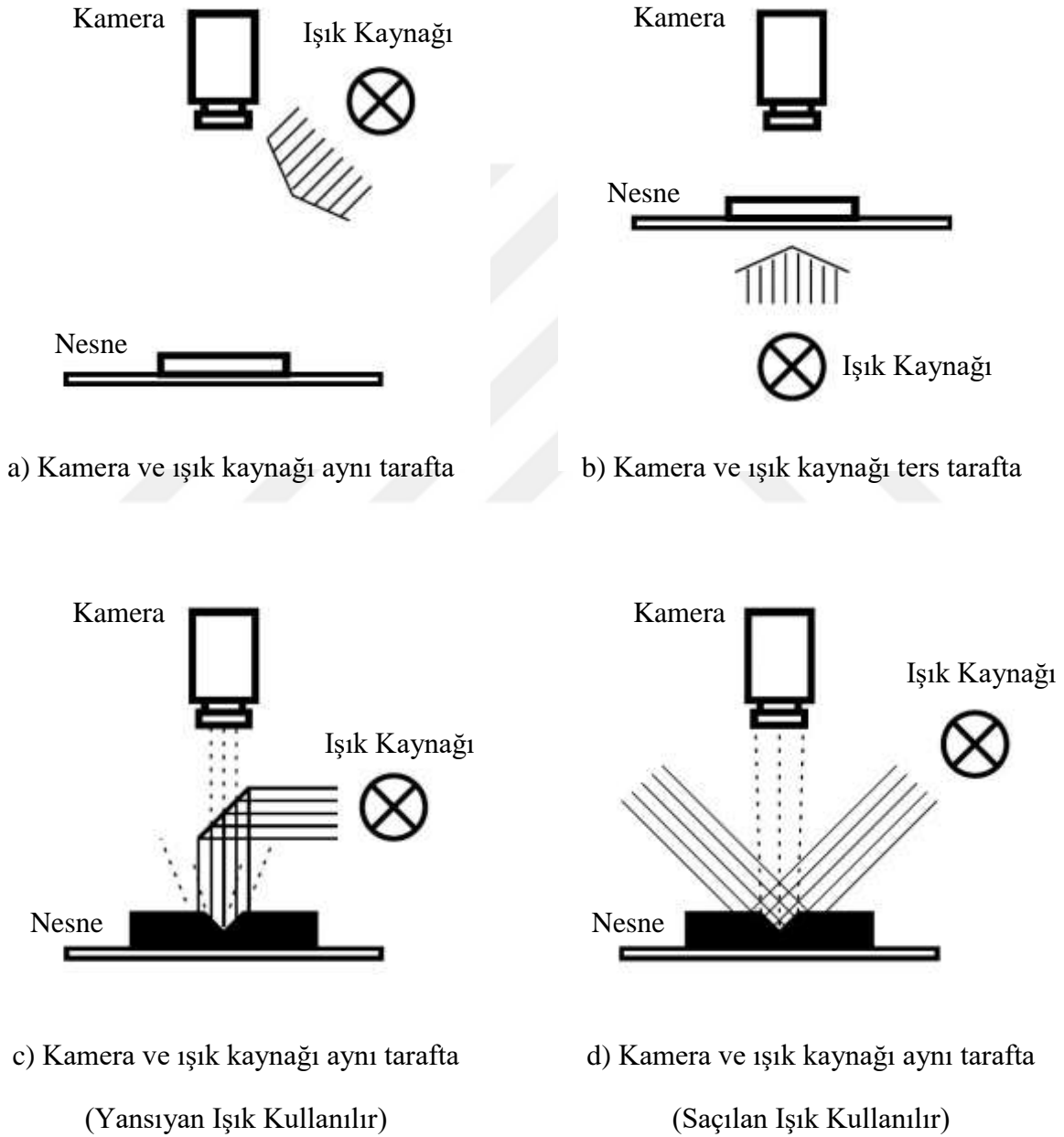
#### 3.1 GÖRÜNTÜ ALMA DÜZENEGİ

Görüntülerin işlenmesinden önce agrega parçacıklarının yüksek kaliteli fotoğraflarının çekilmesi gerekmektedir. Agreganın monte edildiği yüksek ayarı yapılabilen bir konsoldan ve ışık kaynağından oluşmaktadır. Kameranın monte edildiği konsol, kameranın karşısına yerleştirilen numune tepsisinde yeterince büyük alan yakalanabileceği yüksekliğe ayarlanmalıdır. Numune tepsisine yerleştirilen numunelerin gölge oluşturmayacağı şekilde ışık kaynağı yerleştirilmelidir. Agreganın parçacıkları eklenmeden önce numune tepsisine uygun renkte bir karton tabaka yerleştirilmelidir. Agreganın daneleri numune tablasına yerleştirildiğinde, bunlar birbirine değmeyecek veya üst üste gelmeyecek ya da ölçüm alanının sınırından taşmayacak şekilde dikkatlice yayılır. Agreganın daneleri doğru bir şekilde yerleştirildikten sonra, numune tepsi kamera altındaki fotoğraf standına yerleştirilir. Lensin odağı, agreganın örneğinin net ve keskin bir görüntüsünü elde etmek için ayarlanır. Kwan et al. (1999) tarafından kullanılan görüntü alma düzenegi Şekil 3.1’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1 Görüntü alma düzenegi (Kwan et al. 1999)

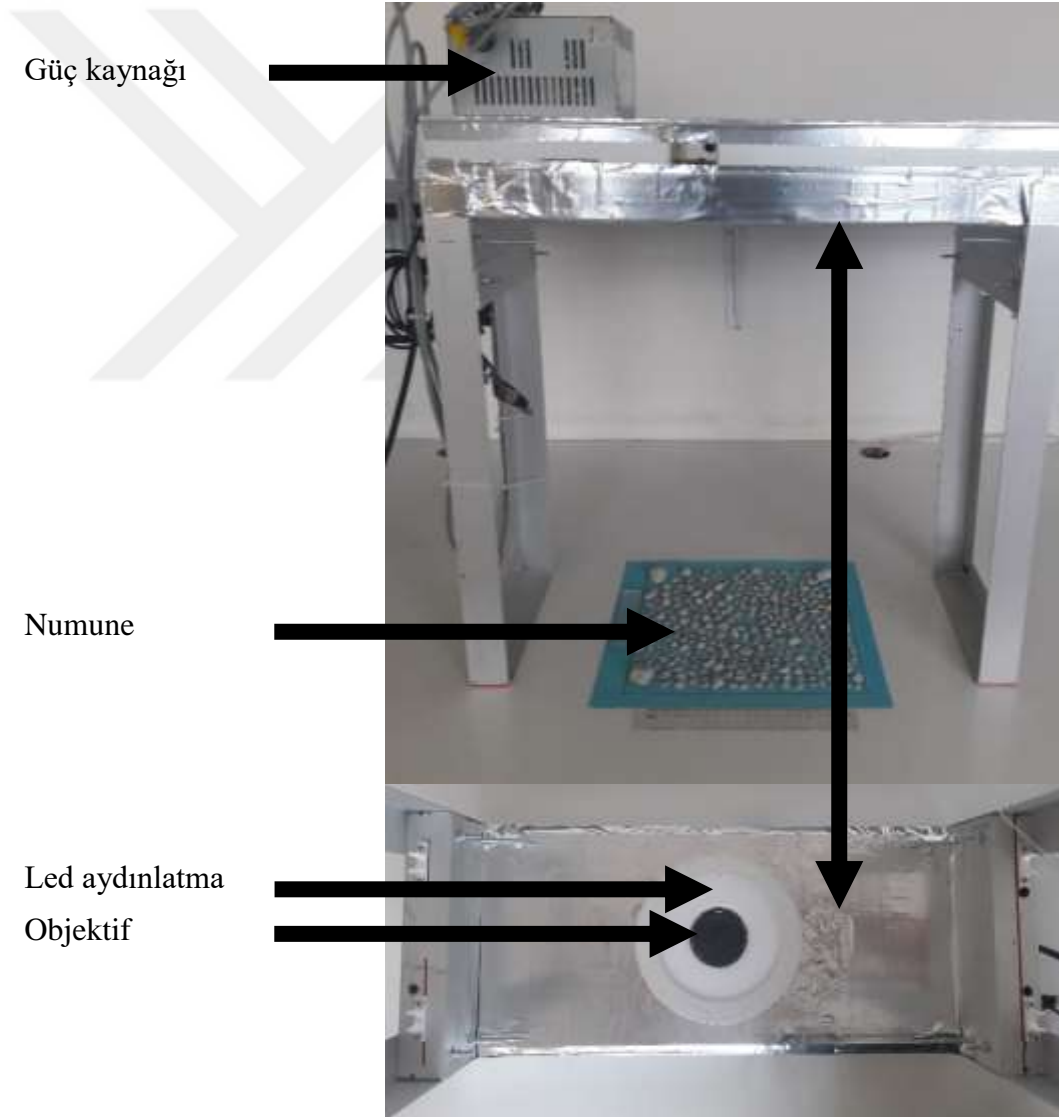
Görüntü alma düzeneklerinde, görüntüsü yakalanacak olan nesnenin, görüntüde gölgelerin oluşmayacağı uygun bir şekilde ışıklandırılması gerekmektedir. Aksi takdirde görüntülerin işlenmesi esnasında bu gölgelerin dane dışhatlarından ayıklanması hem ilave iş yükü getirmekte hem de bu işlem sonucunda danenin pürüzlülüğü, yuvarlaklığı ve küreselliğinin hesaplanmasında hatalara neden olabilmektedir. Literatürde genellikle kullanılan aydınlatma yöntemleri Erhardt (2000) ve Dipova (2018) tarafından Şekil 3.2’deki verilmiştir.



Şekil 3.2 Aydınlatma yöntemleri (Erhardt 2000).

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan görüntü alma düzeneği Şekil 3.3'te verilmiştir. Kullanılan düzende yeni bir aydınlatma yöntemi denenmiştir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi objektifi saran bir led aydınlatma sistemi geliştirilmiştir. Buna göre kamera ile aynı yönde uygulanan aydınlatma sisteminde nesneden yansıyan ışık verimli bir şekilde kullanılmıştır. Uygulanan bu yeni yöntem sayesinde agregalarda gölge etkisi minimum düzeye indirilmiştir.

Şekil 3.3'deki görüntü alma düzeneğinde 14 MP çözünürlüğe sahip Nikon marka L310 model kamera kullanılmıştır. Düzende Kumara et al. (2012)'da kullanıldığı gibi renkli bir arka fon kullanılmıştır. Görüntülerin işlenmesinde kolaylık sağlaması açısından daha mavi renkli fon kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Kullanılan görüntü alma düzeneği.

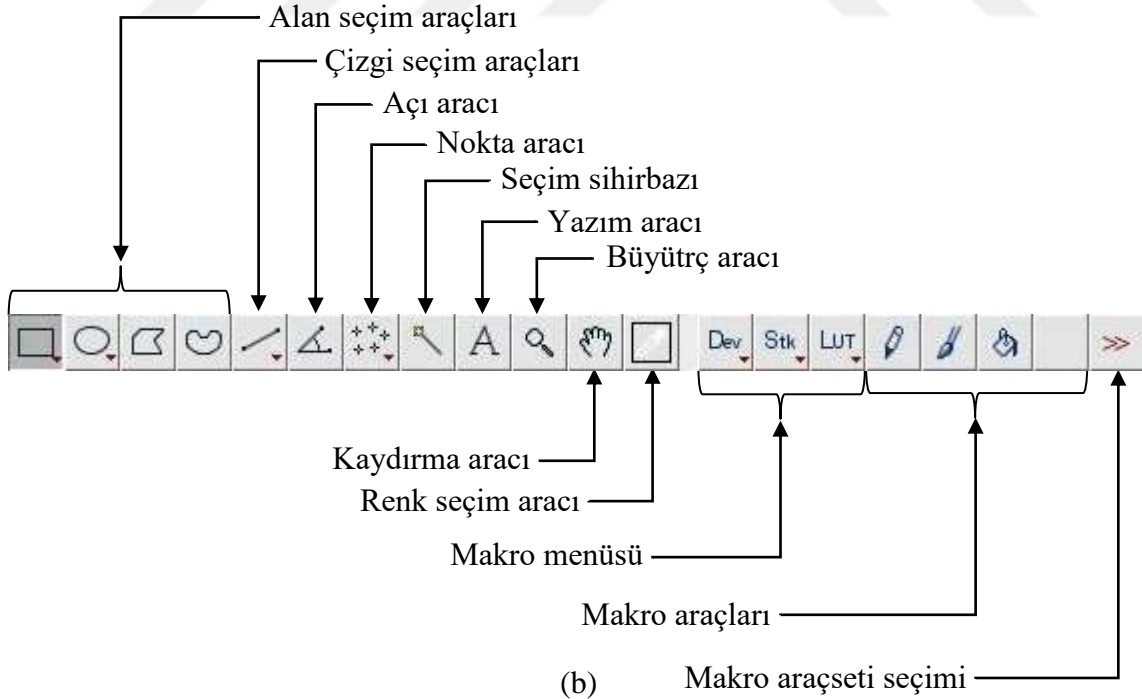
### 3.2 GÖRÜNTÜ ANALİZİNDE KULLANILAN YAZILIM

Bu tez çalışması kapsamında görüntü analizini gerçekleştirmek için iki farklı program kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, alınan görüntülerde agregaların mavi renkli arka fondan ayrıştırılmasını ve boyutları ile ilgili ölçümlerin yapıldığı Image J açık kaynak kodudur (Schneider et al. 2012.a, b). Bir diğeri ise danelerin yuvarlaklığı ve küreselliği ile ilgili hesaplamaların görüntüler üzerinden yapılabildiği Zheng and Hryciw (2015) tarafından sunulan Matlab kodudur. Bu bölümde bu programlar hakkında bilgi verilecektir.

Image J görüntü analizi programı agrega danelerinin görüntü analizinde Kumara et al. (2012) ve Ohm and Hryciw (2013) tarafından kullanılmıştır. ImageJ program menüsü ve araç çubuğu Şekil 3.4.a'da, araç çubuğu detayı Şekil 3.4.b'de verilmiştir (Schneider et al. 2012 a, b).



(a)



(b)

Şekil 3.4 ImageJ program menüsü.

ImageJ, amerikan ulusal sağlık enstitülerinde (NIH) geliştirilen popöler açık kaynak kodlu göröntü işleme programıdır (Ohm and Hryciw 2013). ImageJ, TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM ve FITS dahil olmak üzere biröok göröntü formatlarını işleyebilen bir programdır Kumara et al. (2012). Bu tez öalışması kapsamında, Kumara et al. (2012)'de olduğu gibi JPEG formatında göröntüler kullanılmıştır. ImageJ, kullanıcı tanımlı seöimlerin alan ve piksel değer istatistiklerini hesaplayabildiği gibi, mesafe ve aöıyı da öleöebilmektedir. Kontrast manipölasyonu, keskinleştirme, yumuşatma, kenar algılama ve medyan filtreleme gibi standart göröntü işleme fonksiyonlarını desteklemektedir. Orijinal renkli göröntü 8-bit gri tonlamalı bir göröntüye dönüştürölür. Kullanılan mavi renkli fon yardımıyla, gri tonlamalı göröntü, ImageJ'deki otomatik eşikleme özelliği kullanılarak kolayca bir ikili göröntüye dönüştürölabilir. Genellikle, ikili göröntülerin siyah nesnelere ve beyaz arka plan olduğunu varsayılmaktadır. İkili göröntüler, erezyon, genişleme, boşlukların doldurulması ve havza fonksiyonu gibi göröntü manipölasyonlarına olanak sağlamaktadır. Erezyon, pikselleri siyah nesnelere kenarlarından kaldırır ve genişleme, pikselleri siyah nesnelere kenarlarına ekler. Boşlukları doldurma, nesneleredeki delikleri doldurur. Bazı ışık efektleri nedeniyle, siyah nesnelere beyaz lekeler olabilir. Bu beyaz noktalar, boşlukları doldurma ile giderilmelidir. Havza ayırma, birbirine temas eden danelere ayrılmasında kullanılmaktadır. Ohm and Hryciw (2013) birbirine temas eden danelere göröntü analizi ile dane boyutu dağılımının bulunmasına yönelik bir yöntem öne sürmüşlerdir. Mora et al. (1998), Kwan et al. (1999), Kumara et al. (2012) ve Zheng and Hryciw (2015) gerek dane boyutu dağılımını gerekse de dane şekilsel özelliklerinin göröntü analizini ile bulunmasında birbirine temas etmeyen danelere göröntülerini kullanmışlardır. Bu tez öalışması kapsamında danelere birbirine temas etmediği yöntemle danelere göröntüsü alınmıştır.

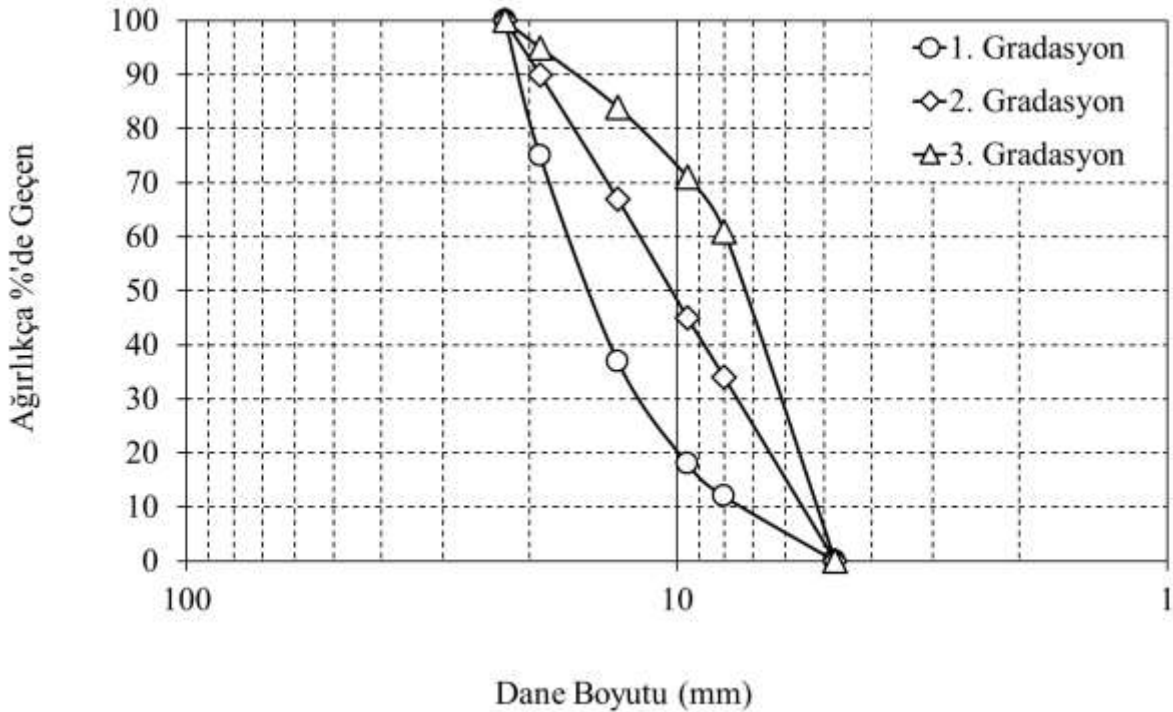
Bu tez öalışmasında, kırmataş agregaların dane boyutu dağılımının, yuvarlaklık ve küresellik gibi şekilsel özelliklerinin bulunmasında geröekleştirilen göröntü işleme adımları yöntem başlığı altında detaylı olarak verilecektir.

Zheng and Hryciw (2015), geleneksel olarak danelere şekilsel özelliklerinin bulunması ile benzer yöntemi takip eden fakat bilgisayar ortamında hesaplamalı geometri yöntemini kullanan bir yöntem öne sürmüşlerdir. Bu öalışmada yazarların öne sürdüğu yöntem danelere şekilsel özelliklerinin bulunmasında kullanılmıştır. Kullanılan matlab kodu hakkında detaylı bilgi Zheng and Hryciw (2015)'de bulunabilir.

### 3.3 YÖNTEM

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Zonguldak ilinde bulunan Pelenkoğlu ve Sayılı firmalarına ait iki farklı taş ocağından alınan kırmataş numunelerin görüntü analizi ile dane boyutları ve şekilsel özellikleri araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda benimsenen yöntem, taş ocaklarından getirilen kırmataş ağegaların önce standart elekler kullanılarak kütle bazlı fraksiyonlara ayrılması ve mütakiben laboratuvar ortamında fotoğraflarının çekilerek görüntü analizlerinin gerçekleştirilmesi şeklindedir.

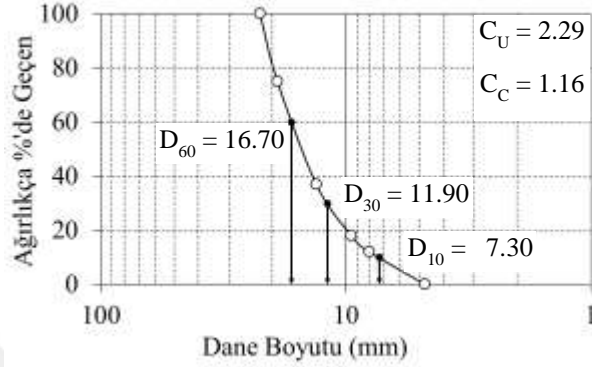
Öncelikle herbir kaynaktan gelen 4.00-12.00 ve 12.00-22.00 mm dane çapı aralığındaki kırmataş agregalar standart kare delikli elekler kullanılarak alt gruplara ayrılmıştır. Bu işlem için kullanılan standart kare delikli elek çapları 4.75, 6.30, 8.00, 9.50, 13.20, 19.00 ve 22.40 mm dir. Bu elekler kullanılarak 4.75-6.30, 6.30-8.00, 8.00-9.50, 9.50-13.20, 13.20-19.00 ve 19.00-22.40 mm aralığında altı farklı numune grubu elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni numuneler kullanılarak iki farklı kaynaktan gelen kırmataşlar için aynı olmak üzere, üç farklı gradasyon eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 3.5).



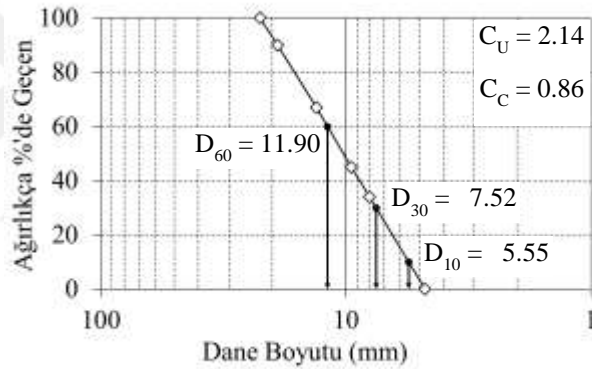
Şekil 3.5 Oluşturulan gradasyon eğrileri.



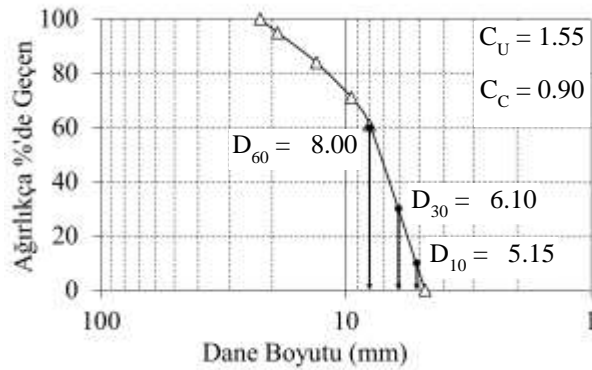
Bu gradasyon eğrilerinin herbiri sırasıyla Şekil 3.6.a-c'de üniformluk katsayısı  $C_u$  ve derecelendirme katsayısı  $C_c$ 'nin elde edilebilmesi için ayrı ayrı verilmiştir. Her bir gradasyon eğrisi için  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$ ,  $C_u$  ve  $C_c$  değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu gradasyon eğrilerinin herbir kaynak için aynı olduğunu tekrar belirtmek gerekmektedir.



(a) Birinci gradasyon eğrisi



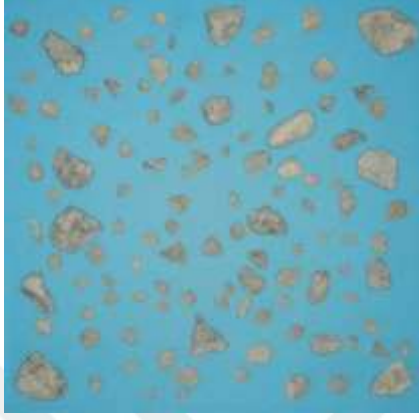
(b) İkinci gradasyon eğrisi



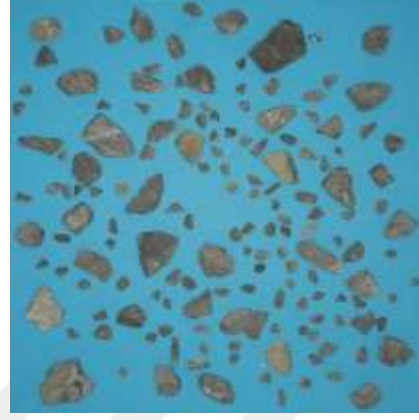
(c) Üçüncü gradasyon eğrisi

Şekil 3.6 Oluşturulan gradasyon eğrilerinden bulunan  $C_u$  ve  $C_c$  katsayıları.

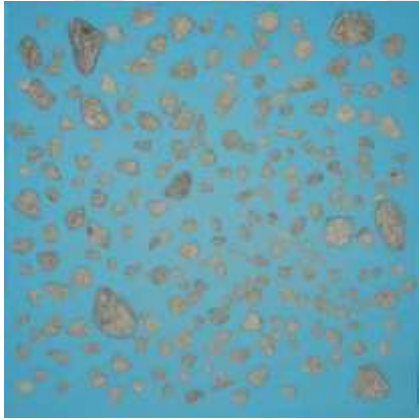
Yukarıda verilen bu gradasyon eğrilerine sahip iki farklı kaynaktan gelen numunelerin, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen görüntü alma düzeneği (Şekil 3.3) ile laboratuvar ortamında fotoğrafları çekilmiştir. Elde edilen bu görüntüler Şekil 3.7’de verilmiştir.



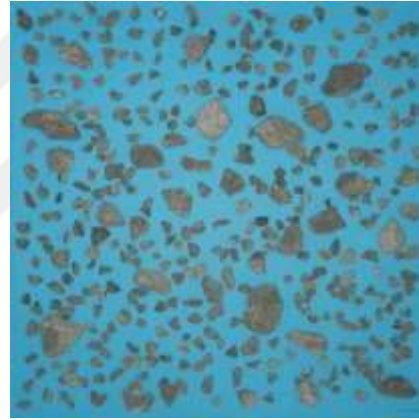
(a) Pelenkoğlu birinci gradasyon



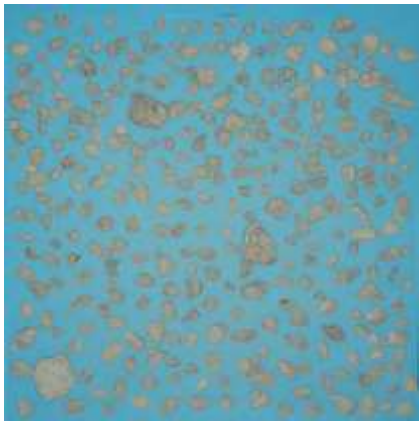
(d) Sayılı birinci gradasyon



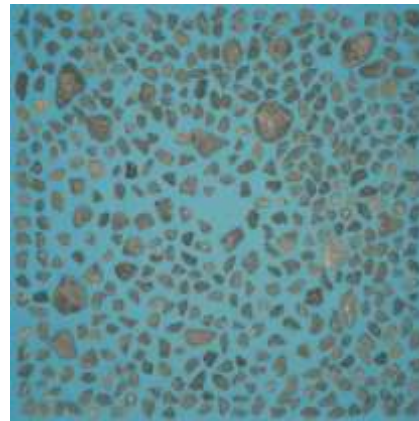
(b) Pelenkoğlu ikinci gradasyon



(e) Sayılı ikinci gradasyon



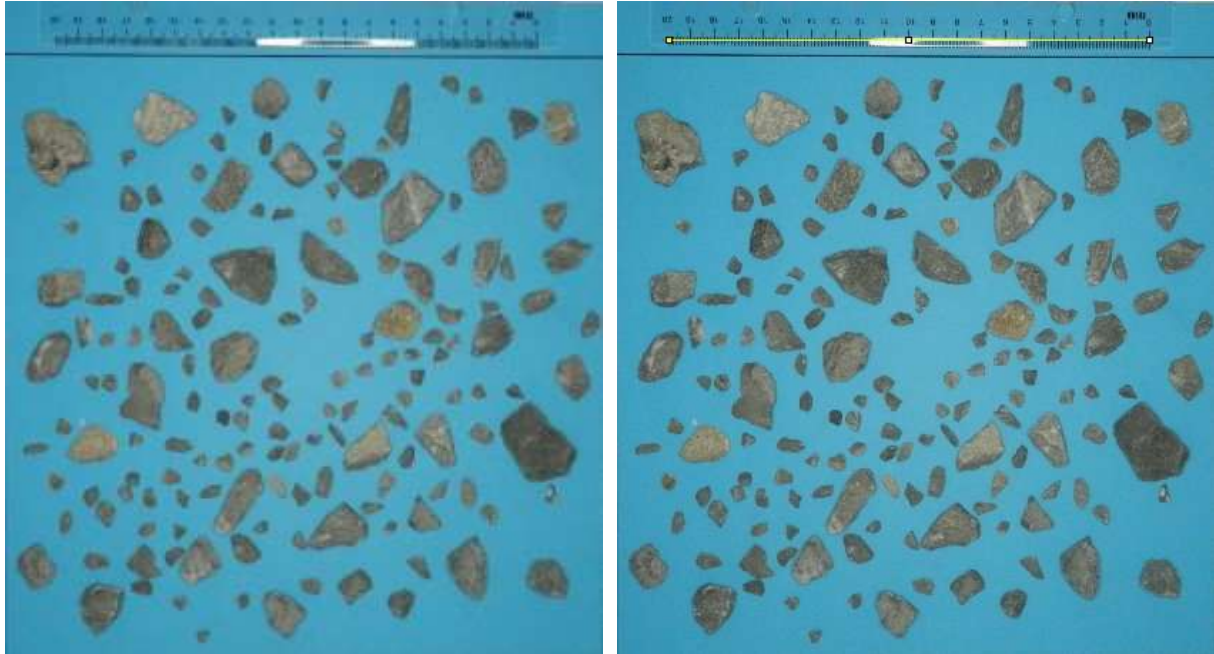
(c) Pelenkoğlu üçüncü gradasyon



(f) Sayılı üçüncü gradasyon

**Şekil 3.7** Belirlenen gradasyon eğrilerine sahip numune fotoğrafları.

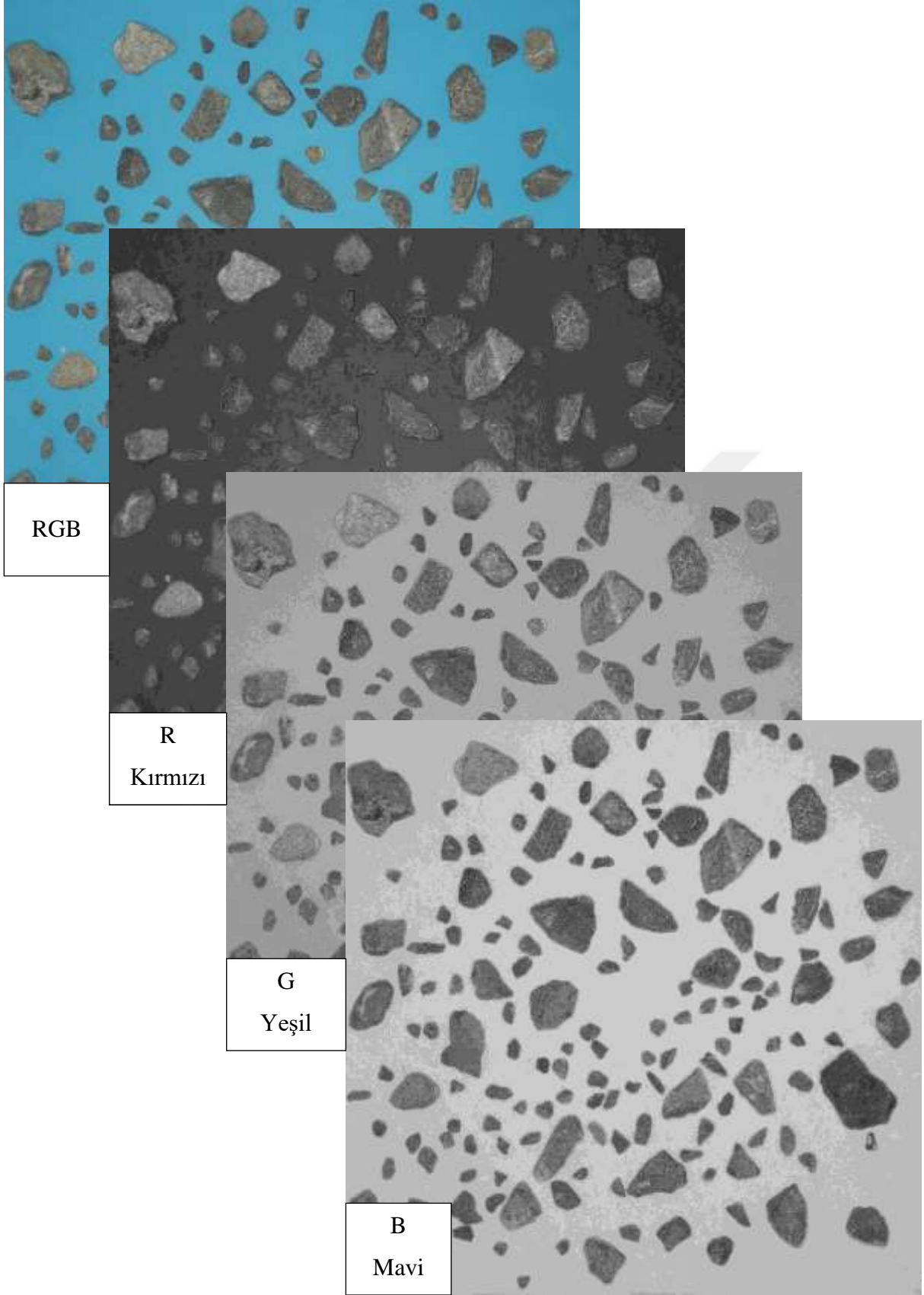
Görüntüler alınmadan önce, kırmataş agregaların yerleştirildiği fon üzerine cetvel yerleştirilmiş ve görüntüler bu şekilde elde edilmiştir. Şekil 3.7’de bu cetvel görüntüden çıkarılmıştır. Cetvelin görüntüsü alınacak sahneye yerleştirilme amacı bir ölçek faktörü elde ederek piksel değerinin mm gibi uzunluk birimine dönüştürülmesidir. Ölçek faktörünün kalibrasyonu Şekil 3.8’deki gibi görüntüye yerleştirilen cetvel ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için Şekil 3.18.a’daki görüntü ImageJ programında açılmış ve daha sonara çizgi seçim aracı ile cetvelde 0’dan 200 mm’ye kadar bir doğru parçası çizilmiştir (Şekil 3.8.b). Bu doğru parçasının uzunluğu 1350 piksel ve gerçek uzunluğu 200 mm’dir. Bu durumda görüntüdeki 1 piksel 0.1481 mm’ye, yada 1mm 6.75 piksele karşılık gelmektedir. Bu ölçek kullanılarak görüntü analizindeki geometrik ölçümler piksel biriminden mm birimine dönüştürülebilmektedir. Ölçü faktörü elde edildikten sonraki görüntü işleme adımlarında Şekil 3.7’deki gibi cetvelden arındırılmış fotoğraflar kullanılmıştır. Ölçü faktörünün elde edilmesinden sonraki adım RGB formatındaki rekli görüntülerin tek banda dönüştürülme işlemidir (Şekil 3.9). Mavi fon üzerindeki kırmataş agregaların görüntüsü tek banda dönüştürüldükten sonar, mavi bant kullanılarak arka fon ve agregalar kolaylıkla ayrılabilir. Bu halde 256 gri tonlamaya sahip fotoğraflar Image J içerisinde bulunan otomatik eşik algoritması ile ikili görüntüye dönüştürülebilmektedir. Otomatik eşik algoritması kullanılarak elde edilen ikili görüntü Şekil 3.10’da verilmiştir.



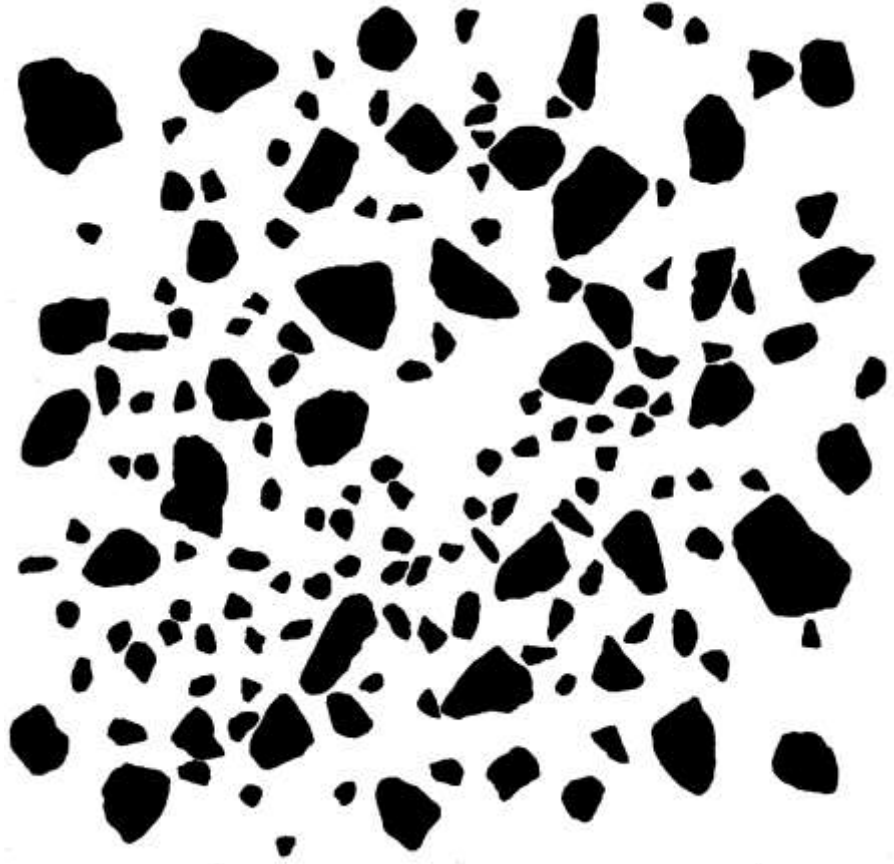
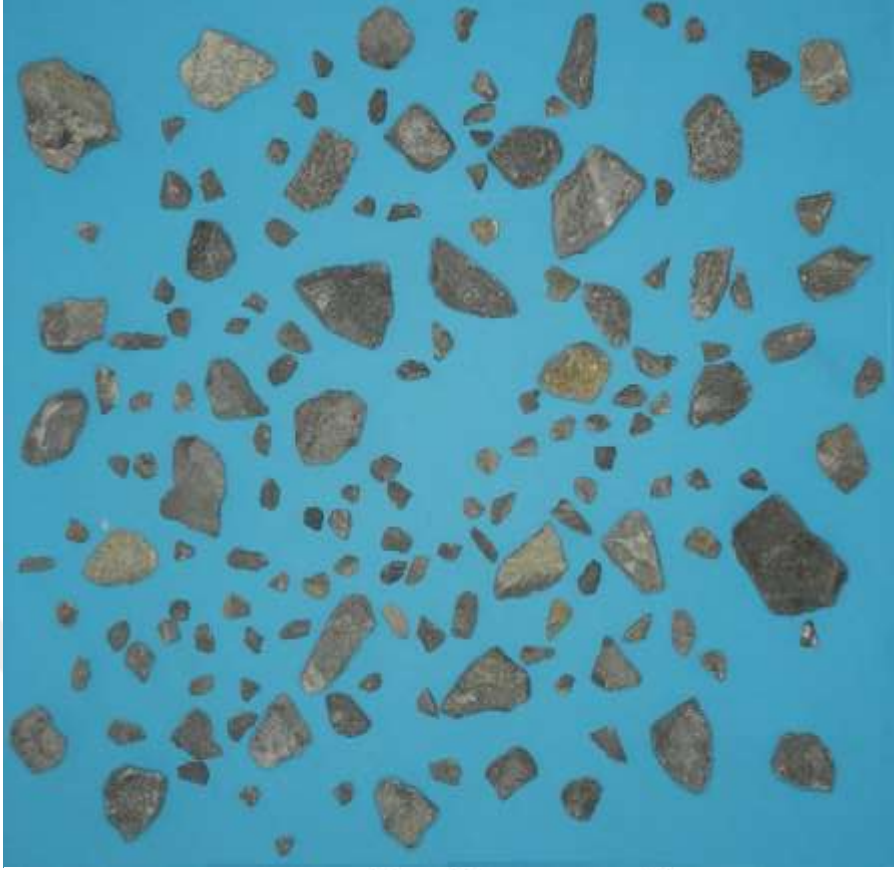
(a) Ölçek elde etmek için yerleştirilen cetvel

(b) Ölçek elde etmek için cetvel üzerine çizilen doğru parçası

**Şekil 3.8** Piksel biriminden uzunluk ölüsüne geçiş için ölçek faktörünün elde edilişi.

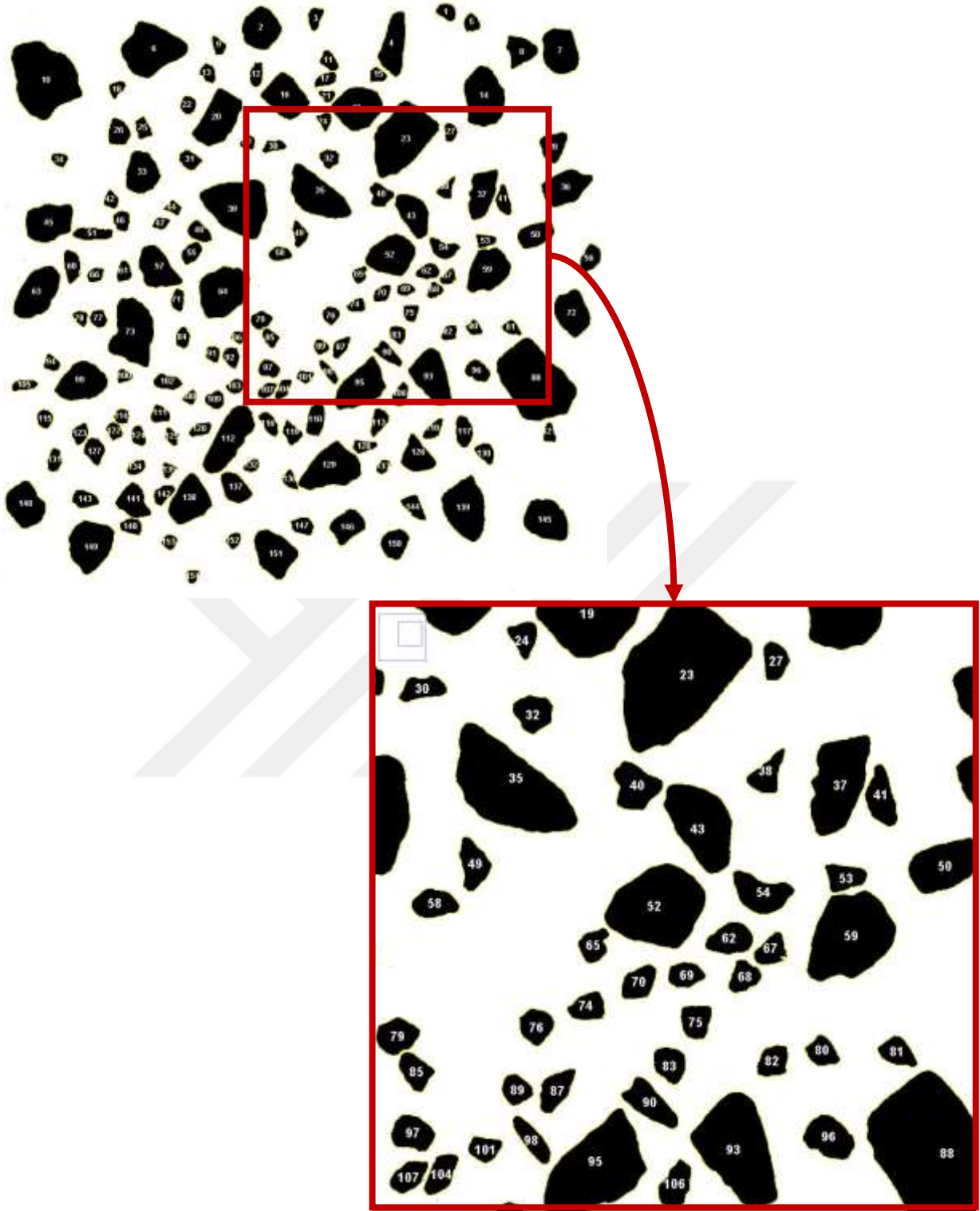


Şekil 3.9 RGB formatındaki renkli görüntülerin tek banda dönüştürülmesi.



Şekil 3.10 RGB formatından ikili görüntü elde edilmesi.

Daha sonra ikili görüntüler üzerinde Image J 'de yer alan partikül analizi algoritması kullanılarak kırmataş agrega danelerinin düzlem üzerine izdüşümleri bölge olarak Şekil 3.11'de görüldüğü gibi ve bu bölgelere ilişkin çeşitli geometrik özellikler elde edilmiştir. Bu geometrik özellikler bölgelerin alanları, ağırlık merkezleri, çevreleri, bu alanı çevreleyen en küçük dikdörtgen, en uygun elips, yuvarlaklık, en boy oranı, ferret çapı olarak sayılabilir. Bu geometrik özelliklerin elde edilmesi ile ilgili detaylı bilgi Schindelin et al. (2012.a,b)'de bulunabilir. Bu tez çalışması kapsamında ImageJ partikül analizi algoritmasındaki çıktılarından dane izdüşüm alanı ve dane izdüşüm alanına çevreleyen en küçük dikdörtgenin boyutları kullanılmıştır. Şekil 3.11'deki partikül analizi sonuçları Çizelge 3.1'de örnek olarak verilmiştir. Çizelgenin ilk dört sütunu analiz sonucundan alınmıştır. Birinci sütunda dane izdüşüm alanlarını kod numarası, ikinci sütunda izdüşüm alanları, üçüncü ve dördüncü sütunda sırasıyla dane izdüşüm alanını çevreleyen en küçük boyuttaki dikdörtgenin genişliği ve boyu yer almaktadır. Çizelgenin beşinci sütunundaki D2 değeri Eşitlik 2.14'den hesaplanmıştır. D2'nin hesaplanmasında Pelenkoğlu ve Sayılı kırmataş ocaklarından alınan numuneler için Kumara et al. (2012) tarafından önerildiği şekilde  $c/b$  oranlarının ve  $\square$  katsayısının bulunması bulgular kısmında verilmiştir. Çizelgenin son sütunu da bulunduktan sonra, D2 sütunundaki değerler büyükten küçüğe doğru olacak şekilde tüm Çizelge yeniden sıralanmıştır (Çizelge 3.2). Bu yeni Çizelgeye eklenen son üç sütun Mora et al. (1998), Kwan et al. (1999) ve Kumara et al. (2012)'de tarif edildiği ve tezin literatür özeti kısmında verildiği şekilde hesaplanmıştır. Burada Çizelgenin altıncı sütunundaki b, izdüşüm alanını çevreleyen dikdörtgenin genişliği olarak alınmıştır. Çizelgenin son sütunu Eşitlik 2.12'den hesaplanmıştır. Böylece görüntü analizlerinden kırmataş agregaların alan bazlı gradasyon eğrileri oluşturulabilmiştir. Pelenkoğlu ve Sayılı taş ocaklarından alınan numunelerden önceden belirlenen 3 farklı gradasyona sahip numuneler mekanik eleme yöntemi ile oluşturulmuş ve bu numunelerin alan bazlı dane boyutu dağılım grafikleri bulgular kısmında verilmiştir.



Şekil 3.11 Partikül analizi algoritması sonrası elde edilen dane izdüşüm alanları.

Agrega danelerinin yuvarlaklığının ve küreselliğinin hesaplanmasında tezin literatür özeti kısmında detaylı olarak verilen ve Zheng and Hryciw (2015)'tarafından önerilmiş olan yöntem kullanılmıştır. Şekil 3.11'de ikili görüntü Matlab kodu (Zheng and Hryciw 2015) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizin sonucu Şekil 3.12'de örnek olarak verilmiştir. Bu

analizin çıktıları Çizelge 3.3'te ve diğer tüm analiz sonuçları şekil olarak bulgular kısmında verilmiştir. Analizlerde Eşitlik 2.15-19 kullanılarak kırmataş agraga danelerinin küreselliği ve Wadel (1933) tarafından tariflenen ve Zheng and Hrychiw (2015) tarafından hesaplamalı geometrik yöntemlerle hesaplanan yuvarlaklık değerleri her bir numunedeki tüm daneler için bulunmuş ve her bir gradasyon için ortalama değerleri bulgular kısmında verilmiştir.

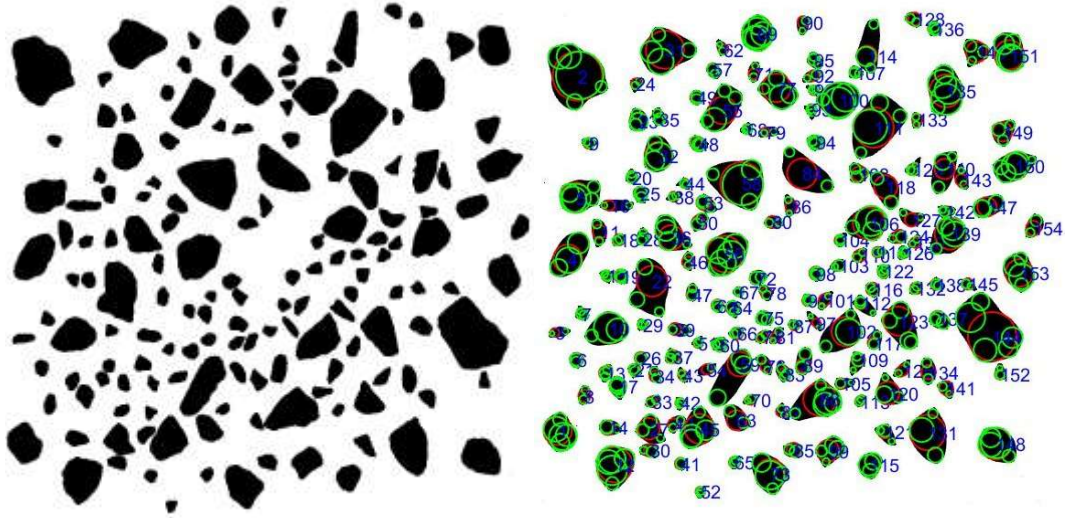
**Çizelge 3.1** Kırmataş agraga danelerinin ImageJ partikül analizi verileri.

Kodu	İzdüşüm Alanı (mm <sup>2</sup> )	Alanı Çevreleyen Dikdörtgenin		D <sub>2</sub> (mm)
		Genişliği (mm)	Boyu (mm)	
1	44.03	7.41	8.30	6.24
2	213.20	16.59	18.07	13.99
3	43.92	6.82	9.63	5.75
4	203.06	11.70	26.67	9.87
5	39.29	6.82	7.70	5.75
6	404.98	23.41	27.56	19.73
7	230.94	15.11	18.96	12.74
8	116.00	13.19	13.78	11.11
9	31.85	6.07	8.15	5.12
10	644.57	29.04	32.59	24.48
11	43.83	8.00	8.44	6.74
12	43.87	5.48	10.22	4.62
13	38.06	6.82	8.30	5.75
14	324.19	17.04	25.04	14.36
15	33.19	6.22	7.26	5.25
16	237.15	19.56	20.30	16.49
17	40.91	6.37	9.04	5.37
18	32.81	6.82	7.41	5.75
19	273.87	17.93	21.48	15.11
20	289.34	20.89	23.70	17.61
21	25.39	5.19	6.82	4.37
22	38.61	6.52	7.70	5.50
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
148	48.44	7.26	9.33	6.12
149	297.68	19.26	22.52	16.24
150	109.08	12.00	12.89	10.12
151	242.50	18.07	20.59	15.24
152	30.42	6.37	6.82	5.37
153	29.76	6.52	6.52	5.50
154	23.86	5.48	5.93	4.62



**Çizelge 3.2** Dane boyutu dağılımı grafik verilerinin oluşturulması.

D <sub>2</sub> (mm)	Kodu	İzdüşüm Alanı (mm <sup>2</sup> )	Alanı Çevreleyen Dikdörtgenin		A <sub>i</sub> *b <sub>i</sub>	ΣA <sub>i</sub> *b <sub>i</sub>	% 'de Geçen
			Genişliği (mm)	Boy (mm)			
27.73	88	711.44	32.89	34.07	23398.55	23398.55	100.00
24.48	10	644.57	29.04	32.59	18716.23	42114.78	91.26
22.61	23	523.79	26.82	31.85	14045.32	56160.11	84.27
20.73	39	478.68	24.59	28.00	11772.25	67932.36	79.03
19.73	6	404.98	23.41	27.56	9479.41	77411.77	74.63
19.11	35	330.38	22.67	25.04	7488.75	84900.52	71.09
18.36	112	312.58	21.78	28.00	6807.41	91707.93	68.30
17.73	95	276.81	21.04	22.07	5823.19	97531.12	65.76
17.61	20	289.34	20.89	23.70	6044.00	103575.12	63.58
17.36	64	333.56	20.59	21.63	6869.08	110444.20	61.32
17.23	129	323.64	20.44	25.93	6616.56	117060.76	58.76
16.49	16	237.15	19.56	20.30	4637.65	121698.41	56.29
16.24	63	279.48	19.26	21.78	5382.58	127080.99	54.56
16.24	149	297.68	19.26	22.52	5733.00	132813.99	52.55
15.86	73	375.53	18.82	28.59	7065.56	139879.55	50.41
15.49	59	242.26	18.37	18.67	4450.33	144329.88	47.77
15.24	139	339.42	18.07	27.56	6134.75	150464.63	46.11
15.24	151	242.50	18.07	20.59	4382.98	154847.61	43.82
15.11	19	273.87	17.93	21.48	4909.32	159756.93	42.18
15.11	93	261.97	17.93	23.70	4696.07	164453.01	40.35
15.11	138	241.38	17.93	21.19	4327.03	168780.04	38.59
14.86	57	206.35	17.63	17.93	3638.02	172418.06	36.98
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4.50	51	69.66	5.33	16.74	371.51	266798.71	0.51
4.50	69	30.86	5.33	7.70	164.57	266963.29	0.38
4.50	71	39.79	5.33	9.78	212.21	267175.49	0.31
4.50	121	31.96	5.33	8.15	170.42	267345.91	0.23
4.37	21	25.39	5.19	6.82	131.67	267477.58	0.17
4.25	47	26.40	5.04	7.41	132.99	267610.57	0.12
4.12	105	39.70	4.89	10.82	194.11	267804.68	0.07



Şekil 3.12 Danelerin yuvarlık değerlerinin elde edilişi.

Çizelge 3.3 Yuvarlık ve küresellik değerlerine örnek Çizelge

No	Yuvarlaklık	Küresellik 1	Küresellik 2	Küresellik 3	Küresellik 4	Küresellik 5
1	0.7420	0.8029	0.8960	0.7281	0.9582	0.7890
2	0.4919	0.7216	0.8495	0.7126	0.9238	0.8192
3	0.6253	0.5648	0.7515	0.4536	0.8835	0.4059
4	0.7389	0.5922	0.7696	0.5699	0.9324	0.5656
5	0.6410	0.7318	0.8554	0.7086	0.9427	0.7278
6	0.8697	1.0689	1.0339	0.9415	1.0057	0.8587
7	0.8028	1.0807	1.0395	0.8829	0.9846	0.8408
8	0.6633	0.7370	0.8585	0.6781	0.9518	0.5806
9	0.8035	1.0626	1.0308	0.8835	0.9922	0.8067
10	0.6936	0.7088	0.8419	0.7162	0.9574	0.7262
11	0.6065	0.5937	0.7705	0.5469	0.9027	0.5002
12	0.6373	0.7914	0.8896	0.7881	0.9564	0.8389
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
149	0.5568	0.7751	0.8804	0.7238	0.9377	0.7944
150	0.6606	0.6388	0.7992	0.6359	0.9235	0.6350
151	0.7488	0.8200	0.9055	0.7568	0.9681	0.7495
152	0.7227	0.8446	0.9190	0.7509	0.9345	0.6254
153	0.6456	0.7431	0.8621	0.7113	0.9585	0.7305
154	0.6759	0.7092	0.8421	0.6354	0.9479	0.6141

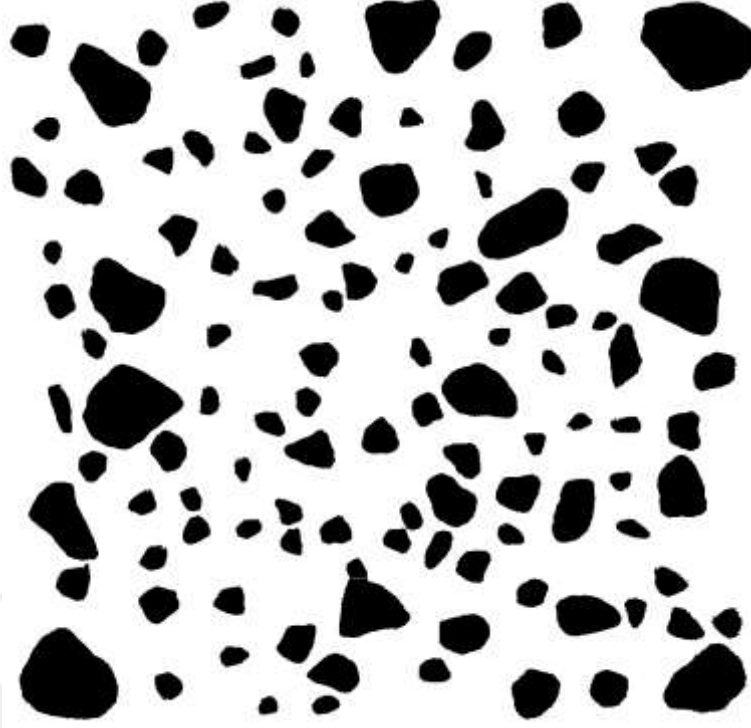
## BÖLÜM 4

### BULGULAR

Çalışma sonucunda Pelenkoğlu ve Sayılı kırmataş ocaklarından gelen kırmataş agrega numunelerinden önceden belirlenen gradasyon eğrilerine sahip yeni numuneler oluşturularak laboratuvar ortamında görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüler ImageJ programlarında işlenilerek görüntü analizi ile dane boyutları bulunmuştur (Şekil 4.1- 4.6).

Görüntü analizi ile dane boyut dağılımının bulunması için Kumara et al. (2012)'de önerildiği gibi görüntülerden danenin boyu ve genişliği bulunduktan sonra danenin yüksekliğinin tahmin edilebilmesi için Sayılı ve Pelenkoğlu kırmataş ocaklarından alınan 50'şer adet numunede kumpasla danelerin boyutu ölçülmüştür. Bu numunelerin görüntüleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Burada Şekil 4.7.a'da Pelenkoğlu , Şekil 4.7.b'de Sayılı kırmataş ocağından alınan numuneler görülmektedir. Bu numuneler üzerinde kumpasla yapılan boyut ölçümleri sonucu dane yüksekliği  $c$ 'nin, dane genişliği  $b$ 'ye oranları bulunmuş ve bu oranların Şekil 4.8'de görüldüğü gibi histogramları çizilmiştir. Pelenkoğlu ve Sayılı kırmataş ocaklarından alınan bu numunelerin ortalama  $c/b$  oranları sırasıyla 0.664 ve 0.649 olarak bulunmuştur. Bu oranlar daha sonra Eşitlik 2.13 ve 2.14'ten  $D_2$  hesaplanmasında kullanılmıştır. Görüntü analizleri sonrası Eşitlik 2.12 yardımıyla numunelerin alan bazlı dane boyutu dağılım eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.9 - 4.14).

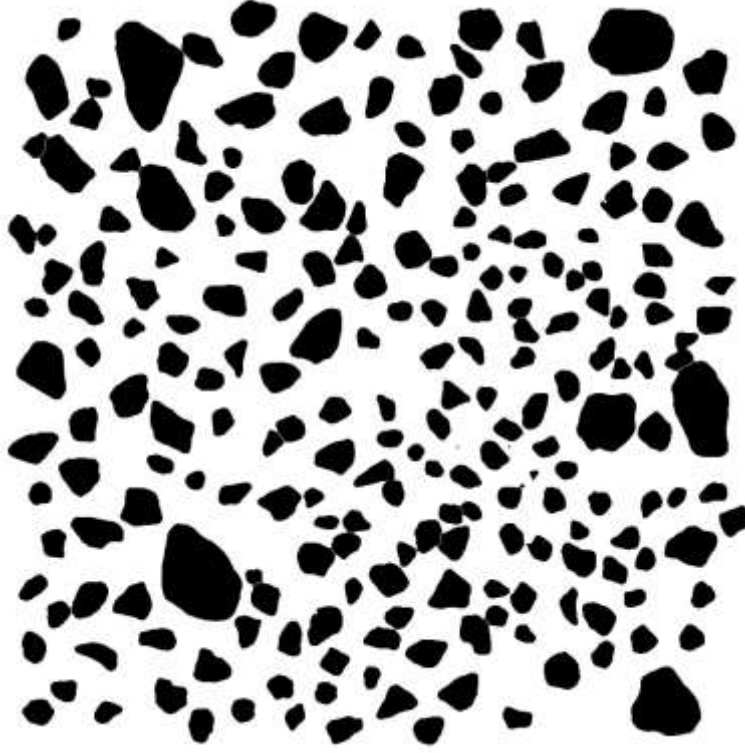
Laboratuvar ortamında görüntüleri alınmış ve önceden belirlenen gradasyonlara sahip numunelerin şekil karakteristiklerinden yuvarlaklık ve küresellik değerleri elde edilmiştir. Öncelikle yuvarlaklık değerlerinin elde edildiği geometrik hesaplama bilgileri içeren Şekil 4.15-20'de ve ardından herbir kırmataş agrega gradasyonunun ortalama yuvarlaklık ve küresellik değerlerini içeren veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelgelerdeki küresellik değerleri Mitchell ve Soga (2005)'de verilen eşitliklerin her biri için hesab edilmiştir.



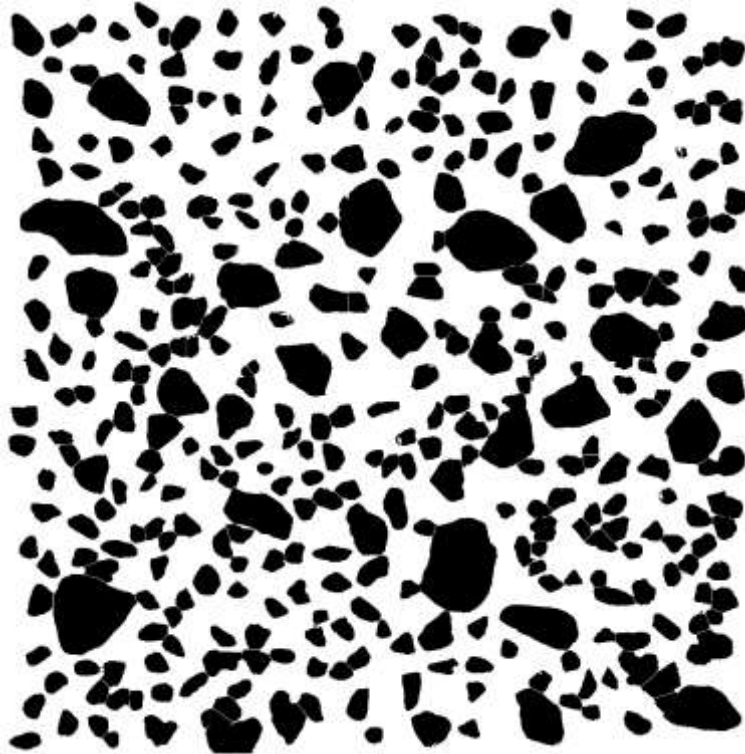
Şekil 4.1 Pelenkoğlu 1.Gradasyon ikili görüntü.



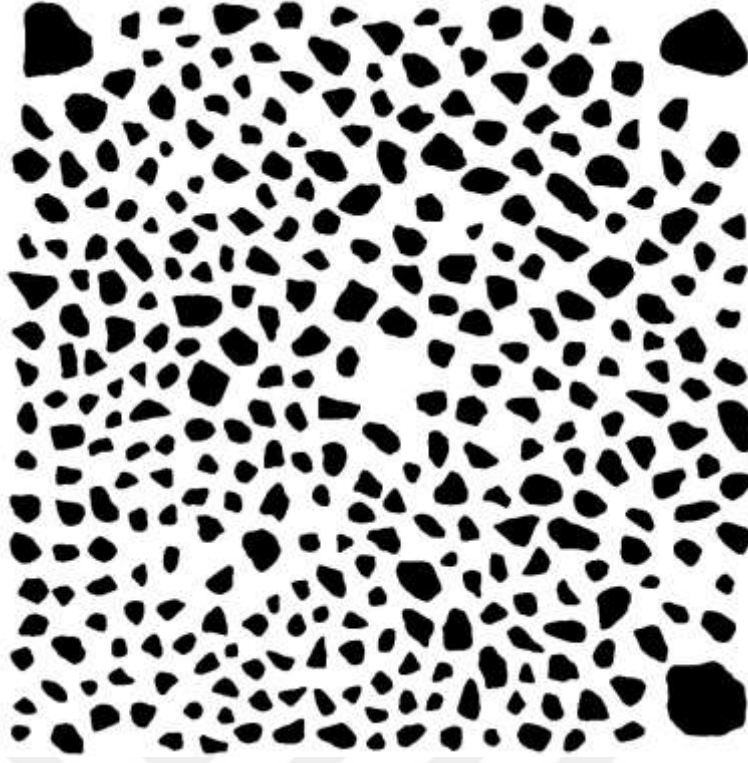
Şekil 4.2 Sayılı 1.Gradasyon ikili görüntü.



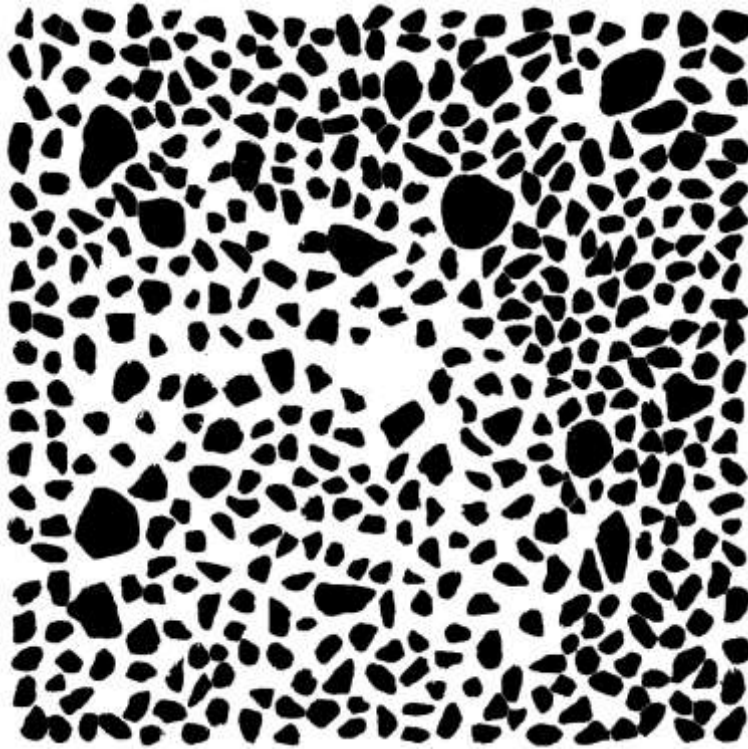
Şekil 4.3 Pelenkoğlu 2.Gradasyon ikili görüntü.



Şekil 4.4 Sayılı 2.Gradasyon ikili görüntü.



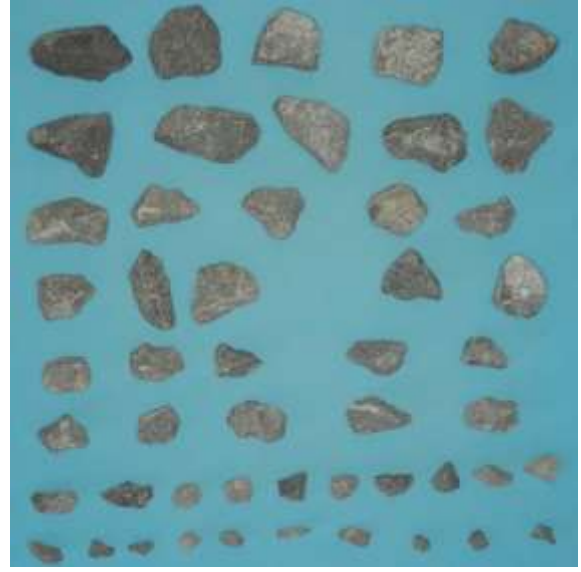
Şekil 4.5 Pelenkoğlu 3.Gradasyon ikili görüntü.



Şekil 4.6 Sayılı 3.Gradasyon ikli görüntü.

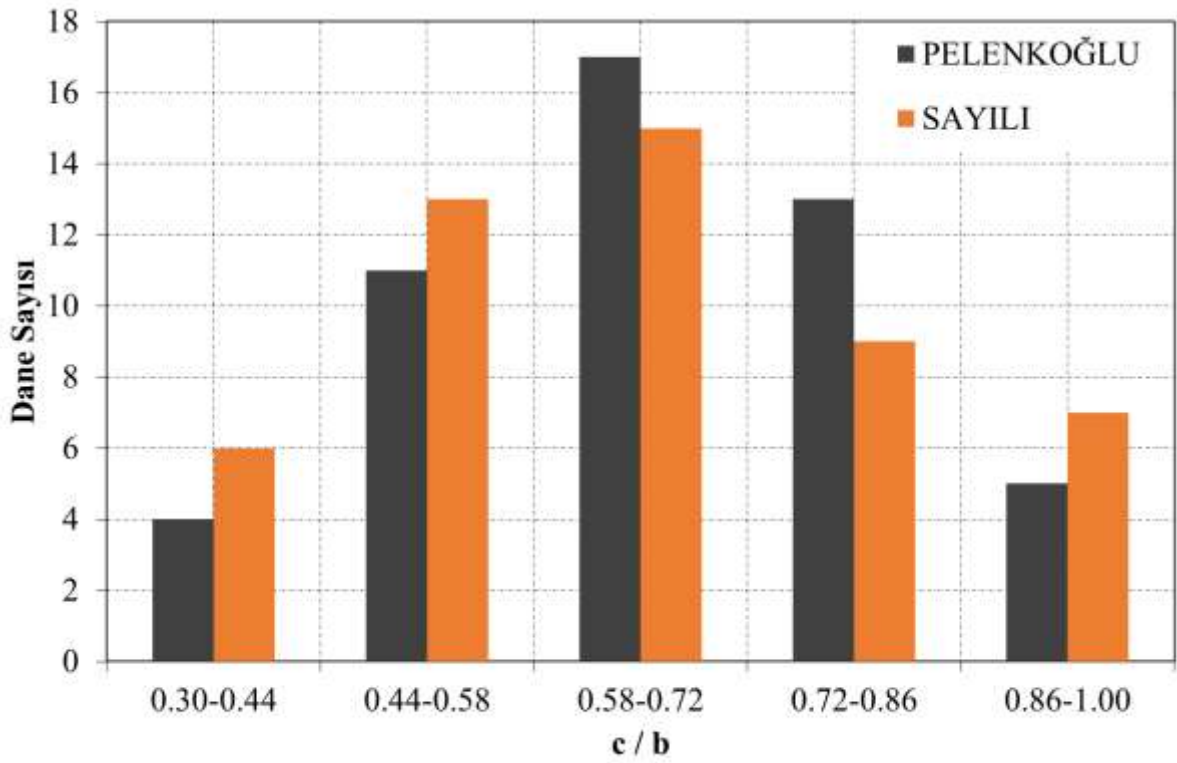


a) Pelenkoğlu numuneleri

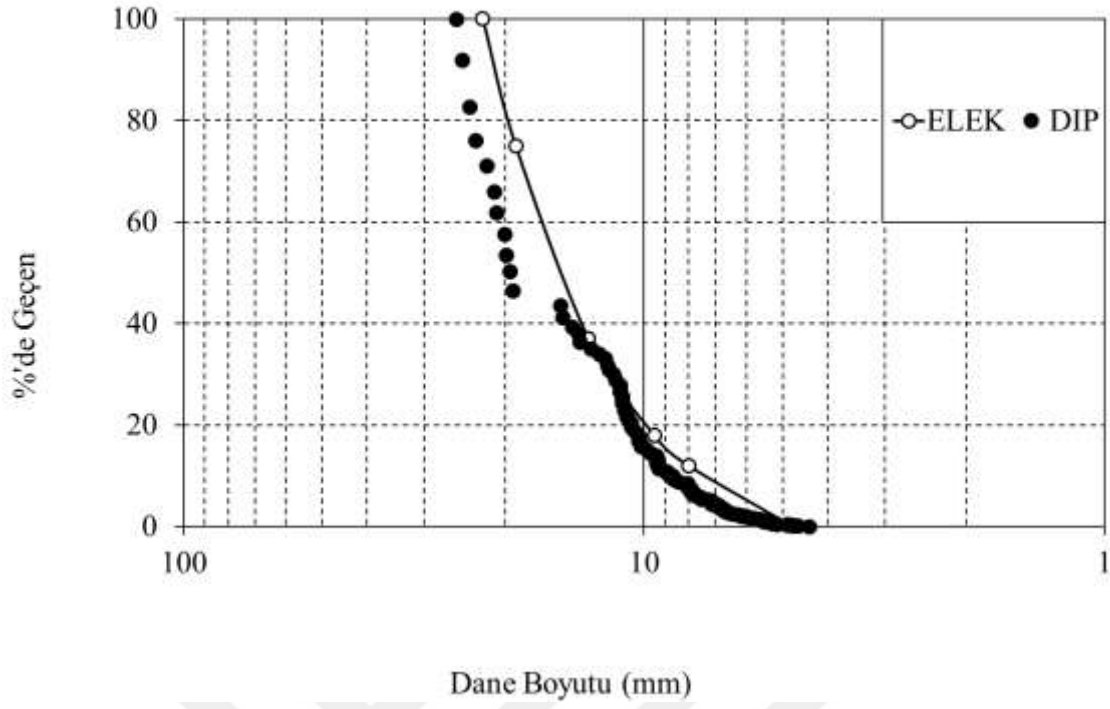


b) Sayılı numuneleri

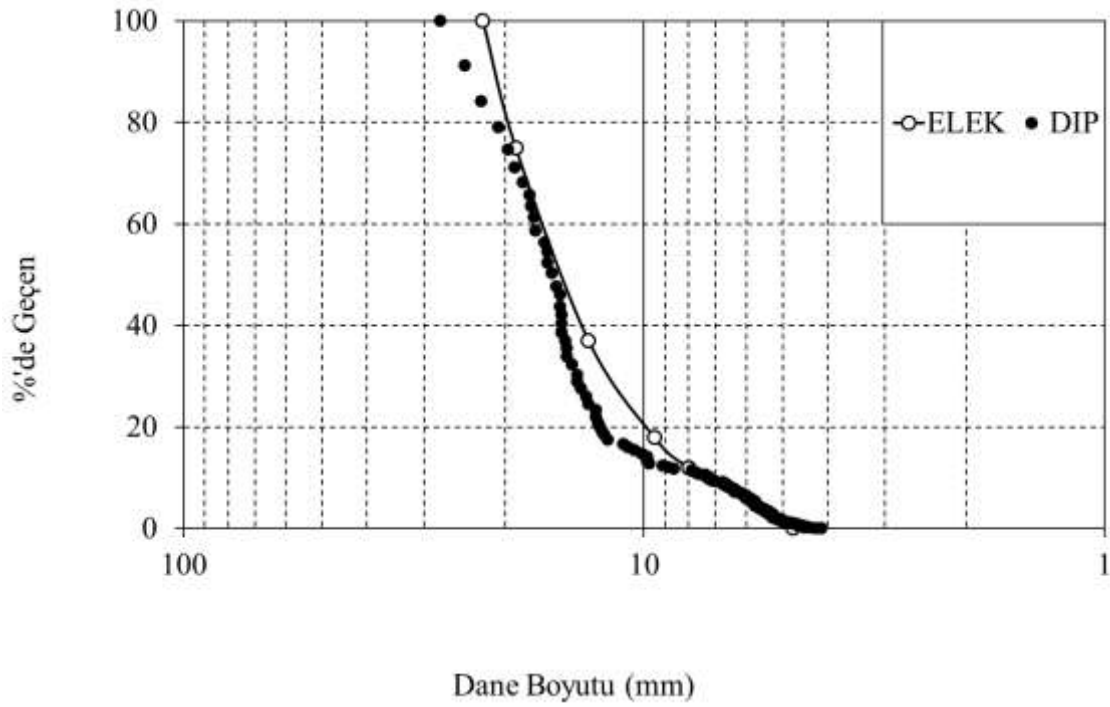
Şekil 4.7 Dane yüksekliğinin tahmini için kullanılan 50'şer adet numune



Şekil 4.8 Pelenkoğlu ve Sayılı taş ocağı numunelerinde ölçülen dane boyutu oranları.

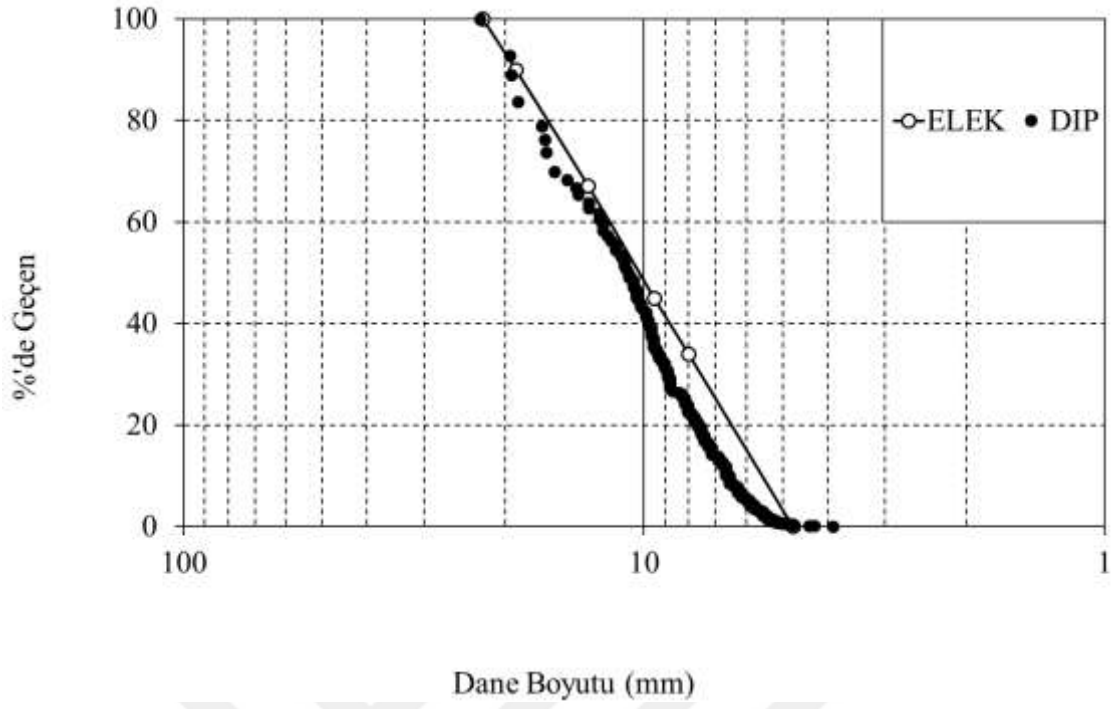


Şekil 4.9 Pelenkoğlu 1. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.

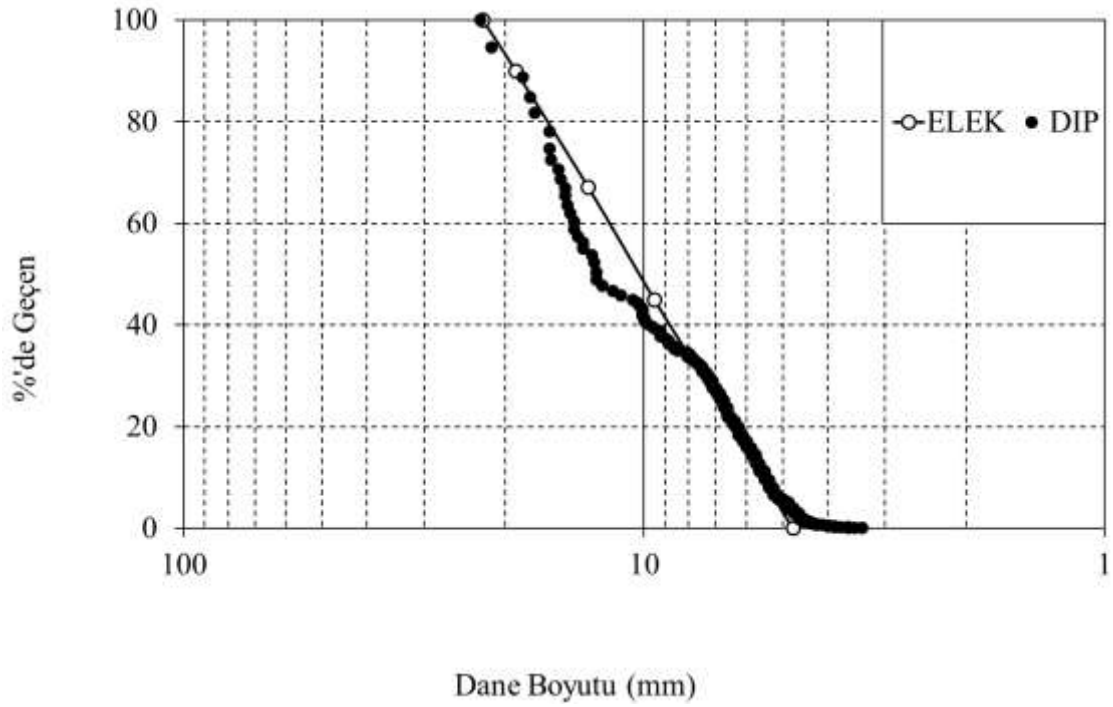


Şekil 4.10 Sayılı 1. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.

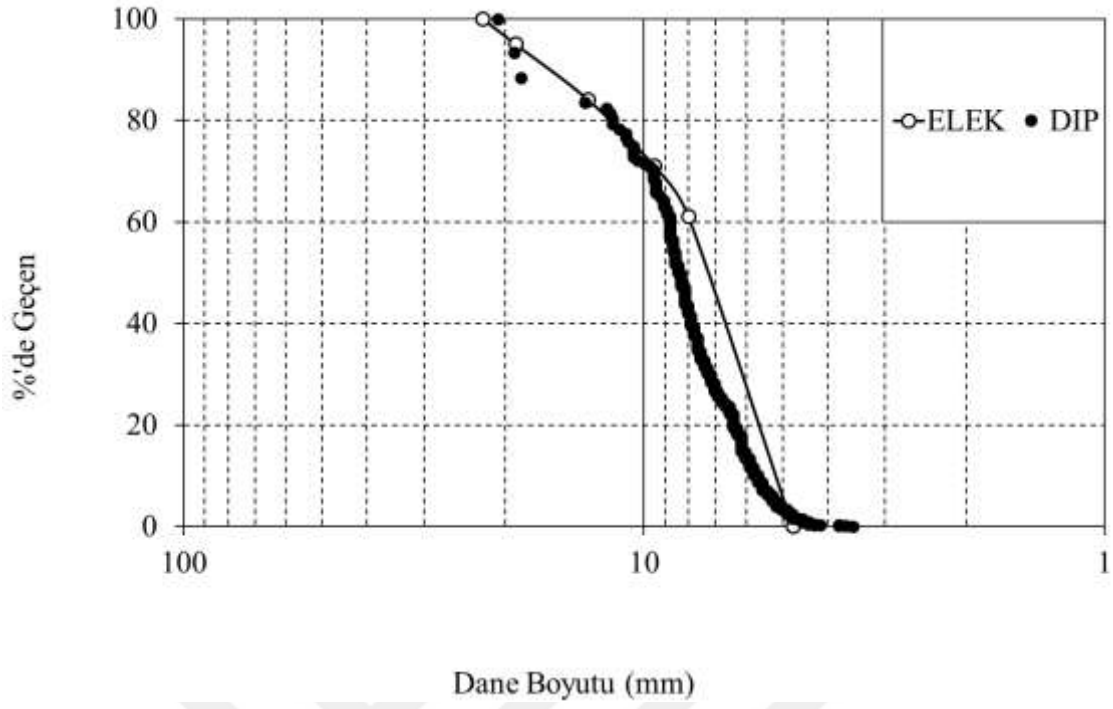




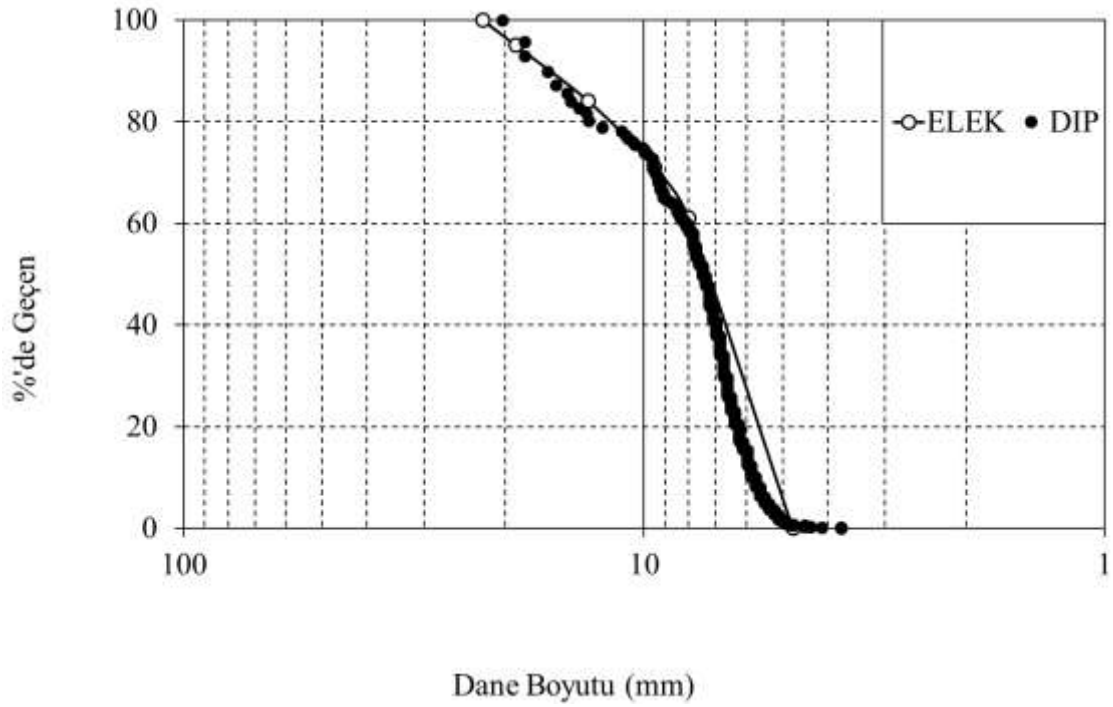
Şekil 4.11 Pelenkoğlu 2. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.



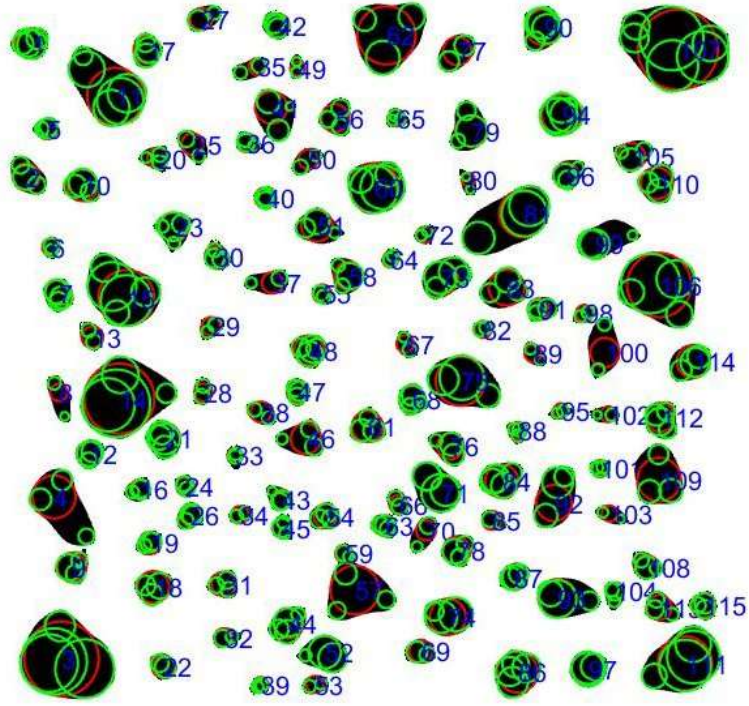
Şekil 4.12 Sayılı 2. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.



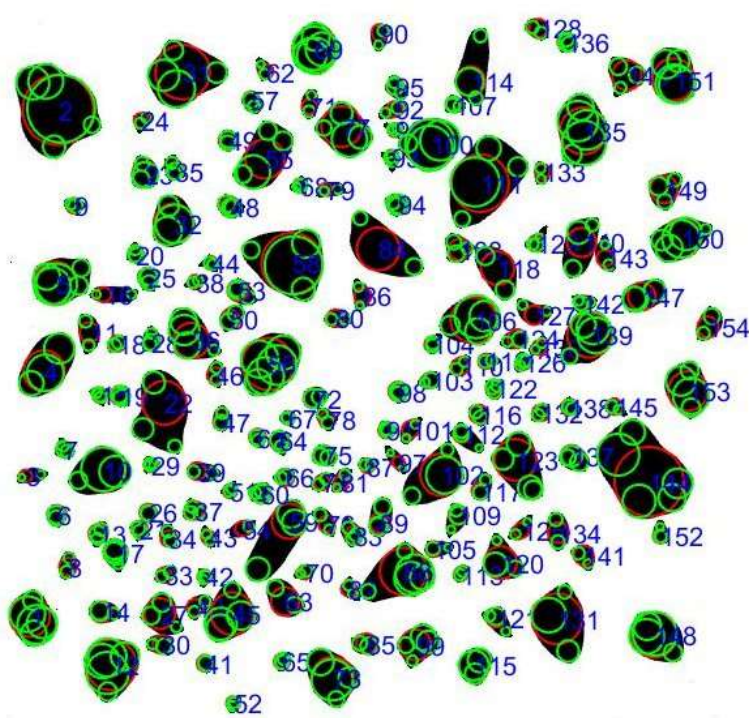
Şekil 4.13 Pelenkoğlu 3. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.



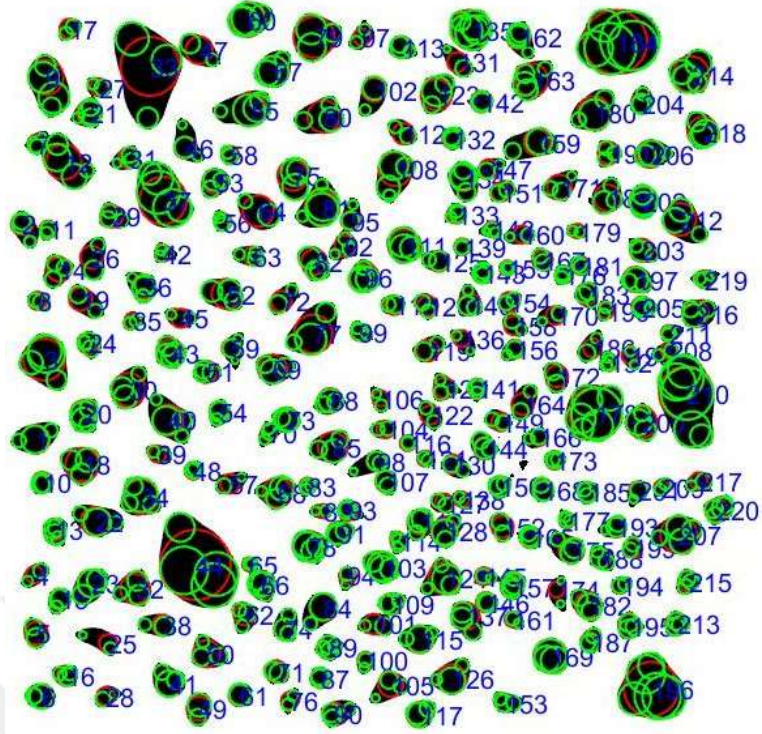
Şekil 4.14 Sayılı 3. Gradasyon dane boyutu dağılım grafiği.



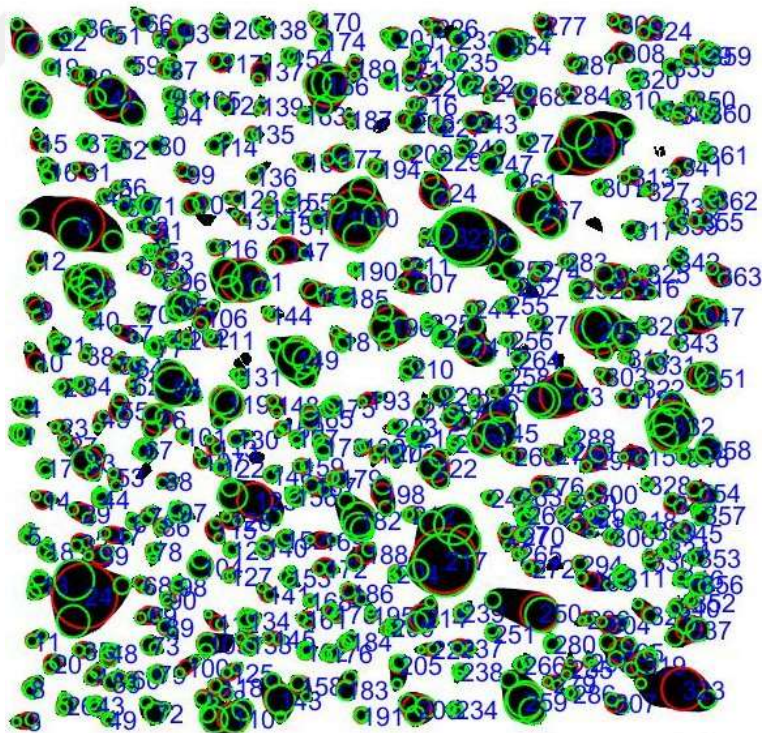
Şekil 4.15 Pelenkoğlu 1. Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.



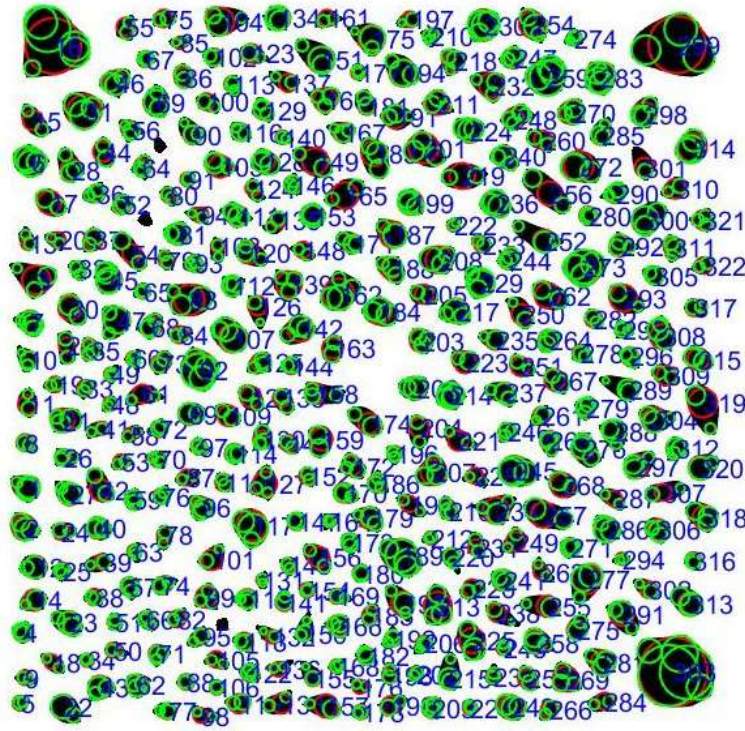
Şekil 4.16 Sayılı 1. Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.



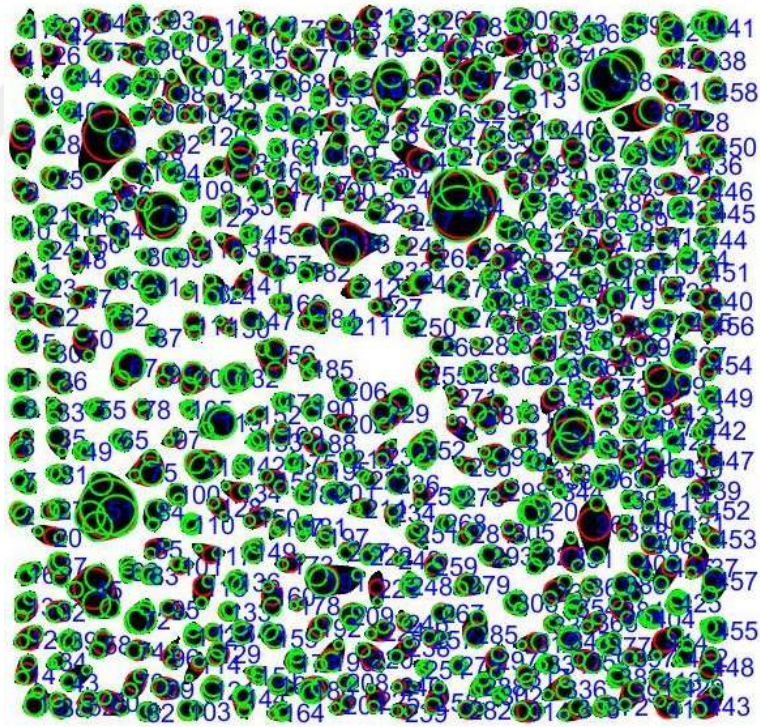
Şekil 4.17 Pelenkoğlu 2.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.



Şekil 4.18 Sayılı 2.Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.



Şekil 4.19 Pelenkoğlu 3. Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.



Şekil 4.20 Sayılı 3. Gradasyon yuvarlaklık ve küresellik hesaplamaları grafiği.

**Çizelge 4.1** Elde edilen ortalama yuvarlaklık ve küresellik değerleri.

	SAYILI			PELENKOĞLU		
	1	2	3	1	2	3
Yuvarlaklık	0.626	0.682	0.710	0.673	0.693	0.707
Küresellik Eşitlik (2.15)	0.734	0.811	0.804	0.764	0.783	0.833
Küresellik Eşitlik (2.16)	0.852	0.895	0.893	0.871	0.881	0.909
Küresellik Eşitlik (2.17)	0.685	0.729	0.723	0.720	0.730	0.754
Küresellik Eşitlik (2.18)	0.934	0.946	0.949	0.945	0.953	0.959
Küresellik Eşitlik (2.19)	0.698	0.711	0.701	0.742	0.729	0.735



## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında farklı taş ocaklarından getirilen kırmataş agregaların laboratuvar ortamında fotoğrafları çekilmiş ve elde edilen bu görüntülerin dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak agregaların boyut dağılımı ve şekil karakteristiklerinden yuvarlaklık ve küresellik değerleri olarak elde edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında kırmataş agrega görüntülerinin elde edilmesinde yeni bir görüntü alma düzeneği geliştirilmiştir. Geliştirilen düzenele görüntüsü alınacak agregalarda gölge oluşumu ve görüntü analizlerinde gölge etkisi minimum düzeye indirilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan dane boyutu dağılımı grafiklerinin oluşturulmasında herbir farklı kaynaktan gelen agregalar için dane yüksekliğinin dane genişliğine oranının ortalama değerinin elde edilmesi gerekliliği literatürde yer almaktadır. Bu kapsamda Pelenkoğlu ve Sayılı kırmataş ocaklarından alınan numunelerde agrega dane yüksekliğinin genişliğe oranının ortalama değerleri elde edilerek sunulmuştur.

Agrega danelerinin kullanım amacına göre boyut dağılımı kadar şekil karakteristiklerinin de önemli olduğu bilinmektedir. Ancak günümüzde halen taş ocaklarından alınan ürünler sadece dane boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. Halbuki şekil karakteristiklerinin elde edilmesi görüntü işleme teknikleri ile kolayca yapılabildiği bu tez çalışmasında gösterilmiştir. Kullanılan yöntemin rahatlıkla taş ocaklarında ürünlerin şekil karakteristikleri ve dane boyutu dağılımını elde etmede kullanılabılır.





## KAYNAKLAR

- AASHTO TP 56-03** (2003) *Uncompacted Void Content of Coarse Aggregate (As Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)*, Washington, D.C., American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Altuhafi F, O’Sullivan C and Cavarretta I** (2013) Analysis of an image-based method to quantify the size and shape of sand particles. *J. Geotech. Geoenviron. Engng*, ASCE 139(8): 1290–1307.
- Araujo G S, Bicalho K V, and Tristão F A** (2017) Use of digital image analysis combined with fractal theory to determine particle morphology and surface texture of quartz sands. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(6):1131-1139
- Arasan S** (2011) Görüntü analizi ile granüler zeminlerin bazı geoteknik özelliklerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 420 s.
- ASTM D 1252-03** (2003) *Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 3398-00** (2000) *Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4791-99** (1999) *Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- ASTM D 5821-95** (1999) *Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Bernhardt C** (1994) *Particle Size Analysis: Classification and Sedimentation methods*, Chapman & Hall, London, 428 pp.
- Bowman E T, Soga K and Drummond W** (2001). Particle shape characterization using Fourier descriptor analysis. *Géotechnique*, 51(6): 545–554.
- Brzezicki J M and Kasperkiewicz J** (1999) Automatic Image Analysis in Evaluation of Aggregate Shape. *J. Comput. Civil Eng.*, 13 (2): 123-128.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Cho G C, Dodds J and Santamarina J C** (2006) Particle shape effects on packing density, stiffness, and strength: Natural and crushed sands. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 132(5): 591–602.
- Cox E A** (1927) A method of assigning numerical and percentage values to the degree of roundness of sand grains. *J. Paleontol.*, 1(3): 179–183.
- Cleveland W S and Devlin S J** (1988) Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *J. Am. Statist. Assoc.*, 83(403): 596–610.
- Dipova N** (2017) Determining the grain size distribution of granular soils using image analysis. *Acta Geotechnica Slovenica*, 14(1): 28-37
- Dipova N** (2018) Görüntü Analizi Yöntemlerinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 33-44
- Efron B and Tibshirani R J** (1993) *An introduction to the bootstrap*. ISBN : 0-4120-4231-2, New York, USA: Chapman and Hall, 436 pp
- Erhardt A** (2000). *Theory and Applications of Digital Image Processing*, University of Applied Sciences, 54p.
- Fernlund J M R** (2005.a) Image analysis method for determining 3-D shape of coarse aggregate. *Cement and Concrete Research*, 35: 1629-1637.
- Fernlund J M R** (2005.b) Image analysis method for determining 3-D size distribution of coarse aggregates. *Bull Eng Geol Environ*, 64: 159-166.
- Gander W, Golub G H and Strebel R** (1994) Least-squares fitting of circles and ellipses. *BIT Numer. Math.*, 34(4): 558–578.
- Ghalib A M and Hryciw R D** (1999) Soil Particle Size Distribution by Mosaic Imaging and Watershed Analysis. *J. Comput. Civil Eng.*, 13 (2): 80-87.
- ISO** (2008) ISO 9276-6:2008: *Representation of results of particle size analysis – Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology*. Geneva, Switzerland: ISO.
- Krumbein W C** (1941) Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *J. Sedimentary Petrol.* 11(2): 64–72.
- Krumbein W C and Sloss L L** (1951) *Stratigraphy and sedimentation*. San Francisco, USA: W. H. Freeman and Company.
- Kumara G H A J J, Hayano K and Ogiwara K** (2011) Fundamental study on particle size distribution of coarse materials by image analysis, in *Proc. 1st Int. Conf. on GEOMAT*, 399-404.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kumara G H A J J, Hayano K and Ogiwara K** (2012) Image Analysis Techniques on Evaluation of Particle Size Distribution of Gravel. *Int. J. Geomate*, 3(1): 290–297.
- Kuo C Y, Frost J D, Lai J S and Wang L B** (1996) Three dimensional image analysis of aggregate particles from orthogonal projections. *Transport Research Council*, Washington D.C. :98-103
- Kwan A K H, Mora C F and Chan H C** (1999) Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 29 (9): 1403-1410.
- Mandelbort B B** (1977) *Fractals form, change and dimension*. ISBN: 0-7167-0473-0, Freeman, San Francisco, 273 s.
- Masad E, Al-Rousan T, Button J, Little D and Tutumluer E** (2007) *Test methods for characterizing aggregate shape texture, and angularity*, National Cooperative Highway Research Program Report 555. Washington, D.C., USA: Transportation Research Board.
- Mitchell J K and Soga K** (2005) *Fundamentals of soil behavior*, 3, York: John Wiley & Sons, 577 pp.
- Mora C F, Kwan A K H and Chan H C** (1998) Particle size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 28 (6): 921-932.
- Ohm H S and Hryciw R D** (2013) Translucent Segregation Table Test for Sand and Gravel Particle Size Distribution. *Geotechnical Testing Journal*, 36 (4): 1-14.
- Powers M C** (1953) A new roundness scale for sedimentary particles. *J. Sediment. Res.*, 23(2): 117–119.
- Riley N A** (1941) Projection sphericity. *J. Sedimentary Petrol.* 11(2) 94–97.
- Rodriguez J M, Johansson J M A and Edeskar T** (2012) Particle shape determination by two-dimensional image analysis in geotechnical engineering. *Proceedings of Nordic conference on soil mechanics and geotechnics*, Copenhagen, Denmark: Danish Geotechnical Society, 207-218.
- Santamarina J C and Cho G C** (2004) Soil behaviour: the role of particle shape. *In Advances in geotechnical engineering: The Skempton conference*, London, UK: Thomas Telford, 604-617.
- Schneider C A, Rasband W S and Eliceiri K W** (2012.a) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods*, 9(7): 671-675,
- Schindelin J, Arganda-Carreras I and Frise E et al.** (2012.b) Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, 9(7): 676-682.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sukumaran B and Ashmawy A K** (2001) Quantitative characterization of the geometry of discrete particles. *Géotechnique*, 51(7): 171–179
- Tickell F G** (1931) *The examination of fragmental rocks*. Stanford, California, USA: Stanford University Press.
- Tutumluer E, Rao C and Stefanski J A** (2000) *Video Image Analysis of Aggregates*. Transportation Engineering Series No. 111, Illinois Cooperative Highway and Transportation Series No. 278, Illinois Department of Transportation and Federal Highway Administration, Springfield, IL.
- Tutumluer E, Pan T and Carpenter S H** (2005) *Investigation of Aggregate Shape Effects on Hot Mix Performance Using an Image Analysis Approach*. Transportation Engineering Series No. 137, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Tutumluer E and Pan T** (2008) Aggregate morphology affecting strength and permanent deformation behavior of unbound aggregate materials. *J. Mater. Civ. Engng.*, 20(9): 617–627.
- Wadell H** (1932) Volume, shape and roundness of rock particles. *J. Geol.* 40(5): 443–451.
- Wadell H** (1933) Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* 41(3): 310–331.
- Wadell H** (1935) Volume, shape, and roundness of quartz particles. *J. Geol.* 43(3): 250–280.
- Wettimuny R and Penumadu D** (2004) Application of Fourier analysis to digital imaging for particle shape analysis. *J. Comput. Civ. Engng.*, 18(1): 2–9.
- Zhang D, Huang X and Zhao Y** (2012) Investigation of the shape, size, angularity and surface texture properties of coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 34: 330-336.
- Zheng J and Hryciw R D** (2015) Traditional soil particle sphericity, roundness and surface roughness by computational geometry. *Géotechnique*, 65(6): 494–506
- Zheng J and Hryciw R D** (2016) Roundness and sphericity of soil particles in assemblies by computational geometry. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(6): 04016021.1-04016021.13.

## ÖZGEÇMİŞ

Turgay KURT 1984 yılı Zonguldak doğumludur. Lise öğrenimini Zonguldak Mehmet Çelikel Anadolu Lisesi (2002) ve ardından lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği (2007) bölümünde tamamlamıştır. Siba İnşaat ve Remtaş inşaat firmalarının yurtiçi ve yurtdışı şantiyelerinde şantiye şefi olarak beş seneye yakın görev aldıktan sonra kariyerine Kozlu Belediyesinde devam etmeye karar vermiştir. Evli ve iki çocuk babası olup halen Kozlu Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdür Vekilliği görevini sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Tel: (+90) 544 979 67 61

E-posta: turgaykurt67@gmail.com