

afyonkarahisar

# MERSEM<sup>2008</sup>

mermer ve doğaltaş sempozyumu

## TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI TÜRKİYE VI. MERMER VE DOĞALTAŞ SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI

26-27 HAZİRAN 2008 / AFYONKARAHİSAR



TMMOB  
MADEN MÜHENDİSLERİ  
ODASI



AFYON  
KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ



AFYONKARAHİSAR  
TİCARET VE SANAYİ  
ODASI



TÜRKİYE MERMER  
DOĞALTAŞ VE MAKİNA  
ÜRETİCİLERİ BİRLİĞİ



ANA SPONSOR

### EDİTÖRLER

Metin ERSOY

Liyaddin YEŞİLKAYA

Ahmet Lütfi DİNÇER

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI  
**MERSEM 2008**



Maden Mühendisleri Odası  
Afyonkarahisar İl Temsilciliği



Afyon Kocatepe Üniversitesi



Afyon Ticaret ve Sanayi Odası



Türkiye Mermer Doğaltaş ve  
Makineleri Üreticileri Birliği

**TÜRKİYE**  
**VI. MERMER VE DOĞALTAŞ**  
**SEMPZYUMU**  
**BİLDİRİLER KİTABI**

26-27 HAZİRAN 2008

AFYON KARAHİSAR

**EDİTÖRLER**

**Metin ERSOY**

**Liyaeddin YEŞİLKAYA**

**Ahmet Lütfi DİNÇER**

## **BİLİM KURULU**

- Dr. A. İhsan KARAYİĞİT..... Hacettepe Üniversitesi  
Dr. Ali KAHRIMAN..... İstanbul Üniversitesi  
Dr. Aydın BİLGİN ..... Ortadoğu Teknik Üniversitesi  
Dr. Bahtiyar ÜNVER ..... Hacettepe Üniversitesi  
Dr. Bektaş UZ..... İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Burhan ERDOĞAN..... Dokuz Eylül Üniversitesi  
Dr. Can AYDAY..... Anadolu Üniversitesi  
Dr. Cem ŞENSÖĞÜT ..... Dumlupınar Üniversitesi  
Dr. Ercüment YALÇIN ..... Dokuz Eylül Üniversitesi  
Dr. Erdoğan YÜZER..... İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Erkan KARAMAN..... Akdeniz Üniversitesi  
Dr. Erkin NASUF..... İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Eyüp SABAH..... Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Dr. Faruk ÇALAPKULU..... Ege Jeoteknik  
Dr. Fikret İŞLER ..... Çukurova Üniversitesi  
Dr. Güner ÖNCE..... Dumlupınar Üniversitesi  
Dr. H. Hüseyin BAYRAKLI..... Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Dr. Remzi Karagözel ..... Süleyman Demirel Üniversitesi  
Dr. Rıza AŞIKOĞLU ..... Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Dr. Rifat BOZKURT..... Osmangazi Üniversitesi  
Dr. Saim SARAÇ..... Süleyman Demirel Üniversitesi  
Dr. Seyfi KULAKSIZ ..... Hacettepe Üniversitesi  
Dr. Halil KÖSE..... Dokuz Eylül Üniversitesi  
Dr. Hasan GERÇEK..... Kara Elmas Üniversitesi  
Dr. İ. Göktay EDİZ ..... Dumlupınar Üniversitesi  
Dr. İsmail AYDOĞUŞ ..... Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Dr. Kemalettin CONKAR..... Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Dr. Lütfullah GÜNDÜZ ..... Süleyman Demirel Üniversitesi  
Dr. M. Kemal GÖKAY ..... Selçuk Üniversitesi  
Dr. M. Sabri ÇELİK ..... İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Mehmet ÖZKUL..... Pamukkale Üniversitesi  
Dr. Mesut ANIL..... Çukurova Üniversitesi  
Dr. Mustafa ERDOĞAN ..... İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Mustafa KUŞCU ..... Süleyman Demirel Üniversitesi  
Dr. Okay GÜRPINAR..... İstanbul Üniversitesi  
Dr. Ö.Faruk EMRULLAHOĞLU .. Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Dr. R.Mete GÖKTAN ..... Osmangazi Üniversitesi  
Dr. Şinasi ESKİKAYA..... İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Taner ÜNLÜ ..... Ankara Üniversitesi  
Dr. Turgay ONARGAN..... Dokuz Eylül Üniversitesi  
Dr. Yadiğar MÜFTÜOĞLU ..... Kara Elmas Üniversitesi  
Dr. Yahya ÖZPINAR ..... Pamukkale Üniversitesi  
Dr. Yaşar KİBİCİ..... Dumlupınar Üniversitesi



## İÇİNDEKİLER

Sunuş.....	iii
Yönetim Kurulu .....	iv
Düzenleme Kurulu .....	v
Yürütme Kurulu .....	v
Bilim Kurulu .....	vi
Danışma Kurulu .....	vii
Sponsorlar Listesi.....	viii
Teşekkür .....	ix
<b>OSMANLI DÖNEMİNDE BİR MERMER OCAĞI İMTİYAZI (FOURNİ ADALARI ÖRNEĞİ)</b>	
GÖKMEN, E.....	1
<b>TÜRKİYE DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜNÜN GÜNCEL DEĞERLENDİRMESİ</b>	
YÜZER, E., ANGI, S. ....	9
<b>TÜRKİYE MERMER VE BLOKTAŞ POTANSİYELİ ETÜD VE DEĞERLENDİRMELERİ</b>	
UZ, B., BACAK, G. ....	19
<b>AFYON'DAKİ TARİHİ ÇEŞMELERDE DOĞAL TAŞ KULLANIMI VE RESTORASYONU</b>	
ÇELİK, M.Y., SEL, H. ....	39
<b>GELENEKSEL MİMARİDE TAŞ ALTERASYONU</b>	
DAL, M., ARTIK, K. ....	59
<b>AFYONKARAHİSAR MİLLET HAMAMINDA YAPILAN RESTORASYON ÇALIŞMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	
OKUYUCU,Ş.E.....	65
<b>KONUT PROJELERİNDE KULLANILAN DOĞAL TAŞLARIN SEÇİMİNİ ETKİLEYEN ÖNEMLİ FAKTÖRLER</b>	
ÖZKAN, E., YEREL, S., AYDOĞDU, V., SARIŞIK, G. ....	79
<b>MERMERLERİN EVLERDE KULLANILAN TEMİZLEYİCİLERLE RENK DEĞİŞİMİ; MİKRO ÖLÇEKTE İNCELEME.</b>	
GÖKAY, M.K., DOĞAN, K., GÜNDOĞDU, B.İ. ....	87
<b>MERMER ENDÜSTRİSİ ATIK ÇAMURLARININ YOL İNŞAATINDA STABİLİZASYON MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	
YILDIZ, A.H., KARASHAHİN, M., ÇAVUŞ, U.Ş., TACIROĞLU, M. ....	97
<b>AFYON BÖLGESİ ANDEZİTLERİNE SERAMİK SIR TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI ve ENDÜSTRİYEL YENİ ÜRÜN GELİŞTİRME</b>	
SARIŞIK, A., DEMİREL, Ş., GÖRKEM, Ö., ERGÜN, H., GÜREL, AK, C., ERGÜN, M. ....	107
<b>ENDÜSTRİYEL BOYUTTA UYGULANABİLİR YÜKSEK PERFORMANSLI VE EKONOMİK TRAVERTEN DOLGUSU ARAŞTIRMASI</b>	
İŞİK, E. C., ÖZKAHRAMAN, H. T. ....	127
<b>BLOK KESME MAKİNALARININ ENERJİ TÜKETİMLERİNİN İNCELENMESİ</b>	
ENGİN İ, C., ÖZKAN, E. ....	141
<b>SÜREKSİZLİK TEMELİNE DAYALI VERİM DEĞERLENDİRMESİ ÜZERİNE ÜÇ BOYUTLU BİR MODEL YAKLAŞIMI</b>	
ÜLKER, E., TURANBOY, A.....	149

<b>MERMER İŞLETMELERİ ÇALIŞANLARININ İŞ TATMİNİ VE İŞLETMELERİNDEN BEKLENTİLERİ - AFYONKARAHİSAR İLİNDE FAALİYETTE BULUNAN İŞLETMELERDE GERÇEKLEŞTİRİLEN BİR ARAŞTIRMA</b> GÖKSEL, T., ERSOY, M. ....	161
<b>KURUMSALLAŞMA SÜRECİNDE MERMER VE DOĞALTAŞ ÜRETİM TAKİP VE ANALİZ YÖNTEMLERİ VE ERP / MRP II UYGULAMALARI</b> ÜNSAL, A. ....	187
<b>ÖRGÜTSEL DEĞİŞİM VE AFYONKARAHİSAR MERMER İŞLETMELERİNDE ÖRGÜTSEL DEĞİŞİM UYGULAMASI İLE İLGİLİ BİR ALAN ARAŞTIRMASI</b> HOTAMIŞLI, M., ARSLAN, R. ....	201
<b>AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ANDEZİTLERİNİN AGREGA OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI</b> AKBULUT, H., ÇETİN, S., GÜRER, C., YILDIZ, A. ....	211
<b>BİLGİSAYAR DESTEKLİ YÖNTEMLERİN MERMER ÜRETİM SÜRECİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME</b> AKKOYUN, Ö. ....	217
<b>GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİNİN KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN NİCEL ANALİZİNDE KULLANILMASI</b> ÇELİK, M.Y. ....	227
<b>PINARBAŞI (KAYSERİ) VE YILDIZELİ (SİVAS) YÖRESİ TRAVERTENLERİNİN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ</b> KILIÇ, A. M., KILIÇ, Ö., KESKİN, M. Ö., COŞKUN İ. ....	239
<b>BEYCEKÖY (BİLECİK) KİREÇTAŞLARININ JEOLJİSİ, PETROGRAFİSİ VE MERMER OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ</b> UZ, B., BACAK, G. ....	249
<b>İSTANBUL'DA MERMER KULLANIMI VE KAYNAKLARI (1570-1800)</b> GÖKMEN, E. ....	257
<b>BATMA SERTLİK DENEYİ YARDIMIYLA MERMERLERİN BASINÇ VE ÇEKME DİRENCİNİN TAHMİN EDİLMESİ</b> KAHRAMAN, S., GÜNAYDIN, O., FENER, M. ....	265
<b>MERMER PLAKALARINDAKİ ÖLÇÜM HATALARININ ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ</b> ÖZKAN, E., YEREL, S., KONUK, A. ....	271
<b>BURDUR BEJ, BUCAK TRAVERTEN VE AFYON BEYAZ DOĞAL TAŞ PARÇA ATIKLARININ YOL TEMEL İNŞAATINDA DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA</b> YILDIZ, A.H., KARAŞAHİN, M., YILMAZ, A., TACIROĞLU, M. ....	277
<b>BEYCAYIR (LAPSEKİ-ÇANAKKALE) MERMERLERİNİN JEOLJİK ETÜDÜ VE MERMER POTANSİYELİ</b> UZ, B., ESENLİ, F., BACAK, G. ....	287
<b>PINARBAŞI (KAYSERİ) VE YILDIZELİ (SİVAS) YÖRESİ TRAVERTENLERİ TEKNOMEKANİK ÖZELLİKLERİ ÖZGÜL ENERJİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI</b> KILIÇ, A. M., KESKİN, M. Ö., KILIÇ, Ö., COŞKUN İ. ....	293
<b>KAYAÇLARIN BASİT FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE SCHMIDT YÜZEY SERTLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	

# GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİNİN KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN NİCEL ANALİZİNDE KULLANILMASI

ÇELİK, M.Y., Afyon Kocatepe Üniversitesi, [mycelik@aku.edu.tr](mailto:mycelik@aku.edu.tr)

## Özet

Kayaçların porozite, süreksizlik, tane boyut dağılımı, tane sınırları ve şekilleri gibi bazı özellikleri mühendislik çalışmalarında önem taşımaktadır. Özellikle mermer olarak kullanılacak kayaçlarda bu özellikler daha da önem kazanmaktadır. Kayaçların bu özelliklerinin tespitinde birçok geleneksel ve modern yöntem kullanılmaktadır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak görüntü alma ve işleme teknolojisinde de önemli ilerlemeler gözlenmiştir. Bu gelişmeler, "görüntü analiz yöntemleri"nin kayaçların bazı özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmasına yol açmıştır. Alışagelmiş yöntemlerin zaman alıcı ve maliyetli olmasına karşılık, görüntü analiz yöntemleriyle daha hızlı ve ucuz bir şekilde analiz kolaylığı sağlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Görüntü Analizi, Kayaç Özellikleri, Porozite, Tane Boyut Dağılımı

## USING IMAGE ANALYSIS METHODS IN QUANTITATIVE ANALYSIS OF PROPERTIES OF THE ROCKS

### Abstract

Some characteristics of rocks, such as porosity, discontinuity, grain size distribution, grain boundaries and shapes, has shown great importance in engineering works. In particular, this properties has gained greater importance for the rocks to be used as marble. Various traditional and modern methods has been used to determine properties of rocks. In parallel to the developments in computer technology, important progress has been observed in image capturing and processing technologies. These developments have caused the employment of "image analysis methods" to find out properties of rocks. In contrast time consuming and costly structure of traditional methods, much cheaper and faster analysis facilities have been provided with image analysis methods.

**Keywords:** Image Analysis, Rock Properties, Porosity, Grain Size Distribution.

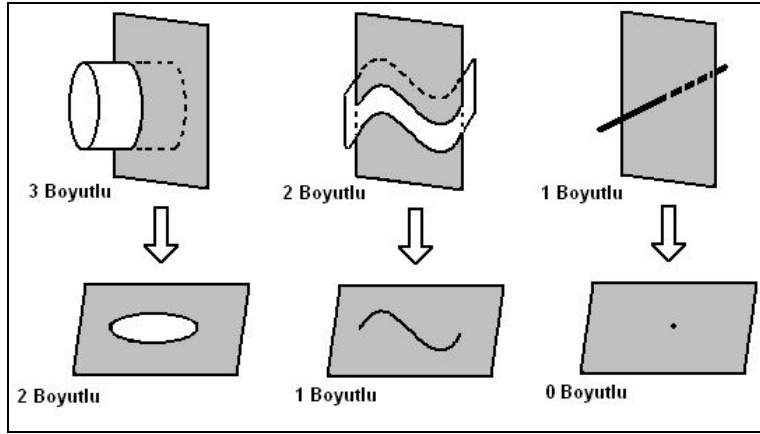
## 1. GİRİŞ

Görüntü analiz yöntemlerinin uygulama alanları çok geniş olmakla birlikte yerbilimlerinde kullanılması çok yaygın değildir. Bu konuda madencilik, jeoloji, metalürji ve seramik gibi disiplinlerde, yerküreden elde edilen doğal malzemeler üzerinde çalışılmakta ve sınırlı olarak kullanılmaktadır. Her bir disiplin bu malzemelerin farklı özelliklerini incelemekte ve gerekli bilgileri sağlamak amacıyla kendi geleneksel yöntemlerini kullanmaktadırlar. Kayaç ve minerallerin yapısal ve dokusal özelliklerinin saptanması amacıyla mikroskopik incelemeler yapılırken, tane boyut dağılımları elek analizleri ve tane boyut sayıcı aletler yardımıyla yapılmaktadır. Mineralojik ve petrografik analizlerde XRD, SEM, TEM ve diğer mikroskopik yöntemler kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemlerin bazıları için kullanılan aletler, fiyatı çok yüksek gelişmiş teknolojik cihazlar olmalarına karşılık, personel hataları nedeniyle birçok yanlışlıklara da neden olabilmektedir. Buna karşılık aynı analizlerin daha kolay, çabuk ve hatasız olarak görüntü analiz yöntemleri ile otomatik olarak yapılması mümkündür. Bunun için gerekli olan uygun çözünürlükte bir fotoğrafın yanı sıra, her yerde bulunabilen bir bilgisayar ve bu işe uygun bir bilgisayar yazılımı (programı) bunun için yeterli olmaktadır.

Değişik konularda görüntü analizi yapmak amacıyla geliştirilmiş çok sayıda bilgisayar programı bulunmaktadır. Bütün programların ortak noktası sayısal ortamda çalışmalarınıdır. Programların özelliklerine göre bazıları, kamera görüntüleri ile analiz yapabilirken, bazıları mikroskopta çekilen görüntüler üzerinden, bazıları da yüksek çözünürlüğe (2048x1536 ve üzeri) sahip olan dijital

fotoğraf makinasından veya tarayıcıdan (scanner) alınan fotoğraflar ile bu analizleri yapabilmektedir. Bu amaç için en çok kullanılan resim formatları bmp, jpg, tif ve gif uzantılı olanlardır.

Stereoloji, üç boyutlu örneklerin (biyolojik yapılar, metalürjik örnekler, kayaçlar vb) iki boyutlu kesitlerinden elde edilen verilere dayanarak, onların gerçekteki üç boyutlu özellikleri ile ilgili yorumlar yapılmasını sağlayan bilim dalıdır. Kesitler, herhangi bir yapının içinden geçen ve yapının bileşenleri ile kesişen düzlemler olarak düşünülürse, yapının her bir bileşeni, bu kesitlerde, sayısı, büyüklüğü ve kapladığı uzunluk, alan ve hacim oranıyla ilişkili bir biçimde izdüşümler (profiller) oluşturur. Bu izdüşümler de yapının içerdiği bileşenler hakkında bilgi almak üzere kullanılır. Gerçekte "kesit" kavramı, herhangi bir katı yapı içerisinde geçen ve kalınlığı olmayan ( $t=0$  olan) düzlemleri tanımlar. Fakat yapının içinde bulunan bileşenlerin kesitlerde ortaya çıkan izdüşümleri, sadece ait oldukları yapıların, kesit düzlemi üzerindeki temsilleridir. Dolayısıyla, bu izdüşümlerden yola çıkarak doğrudan yorumlar yapmak, bunların ait oldukları bileşenlerin üç boyutlu özelliklerine ait gerçek verilerin elde olmamasından dolayı, oldukça yanıltıcı olabilmektedir (Şekil 1.).



Şekil 1 "n" boyutlu bir yapının, kesitte "n-1" kadar boyuta sahip bir izdüşüm ile temsil edilmesini gösteren grafikler<sup>1</sup>.

Buna iyi bir örnek olarak, bir maden örneğinin kesilmiş ve parlatılmış bir yüzeyi verilebilir. Maden örnekleri ışığa geçirgen olmadıklarından bu örnekleri inceleyen bir gözlemci, parlatılmış yüzeye karşılık gelen gerçek iki boyutlu bir düzlemle karşı karşıyadır. Genel bir kabul olarak, eğer incelenilen bir yapı, çıplak gözle, ilgilenilen tüm ayrıntıları seçilebilecek büyüklükte ise, herhangi bir yanılmaya meydan vermeyecektir. Fakat, mikroskobik düzeyde yapılan incelemeler söz konusu olduğunda, bir çok yanıltıcı faktör devreye girmektedir. Eğer bunların farkına varılarak mantıklı önlemler alınmaz veya düzeltmeler yapılmazsa, elde edilmek istenen sonuç, gerçek değerden istenmeyen sapmalar gösterebilir. Tek başına bu bakış açısı bile, kesitlerden faydalanılarak yapılan morfolometrik çalışmaların, uygun metotlar kullanılmadan ne kadar yanıltıcı olabileceğini göstermeye yeterlidir<sup>1</sup>.

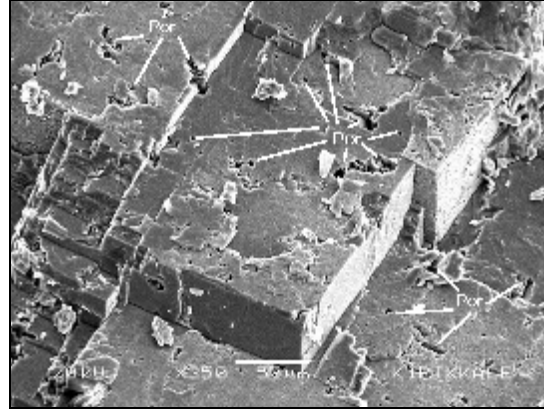
Görüntü analiz yöntemleri, 1970'li yıllardan itibaren yerbilimlerinde uygulanmakta, bu amaç için kullanılan geleneksel yöntemlere göre hızlı, basit, ekonomik ve otomatik olması nedeniyle personel gözlem hatası olmaksızın ölçüm yapmaktadır<sup>2, 3, 4, 5</sup>. Görüntü analiz yöntemleri yoluyla kayaçların saptanabilen bazı özellikleri porozite, süreksizlikler, tane boyut dağılımı, tane sınırları, tane şekilleri olarak sıralanabilir.

## 2. GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMİ İLE KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN NİCEL ANALİZİ

### 2.1. Porozite

Porozite, kayacı oluşturan mineral taneleri arasında ve içindeki boşlukların toplam hacmidir. Kayacın bütün boşluk hacminin kayacın hacmine oranı şeklinde ve % olarak ifade edilir. Doğal yapı taşlarının kullanım yeri ve petrol jeolojisinde rezervuar kayaç çalışmalarında porozite çok önemli bir parametredir. Kayaçların porozitesi diğer özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle kaplama taşı olarak kullanılan doğal taşlar ve mermerlerde, basınç dayanımı, su emme kapasitesi ve donma dayanımı açısından porozite çok önemlidir. Doğal taşlar ve mermerlerde genel olarak porozite artışına bağlı olarak basınç dayanımının azaldığı ve su emme kapasitesinin arttığı bilinmektedir. Bütün bu olaylarda, kayaçların bünyesinde bulunan boşlukların hacimsel büyüklüğü, geometrik yapıları ve kayaç içerisindeki dağılımları çok önemli bir rol oynamaktadır.

Kayaçlarda porozite boyut dağılım ölçümü çeşitli yöntemler ile yapılabilmektedir. Bu işlem önceden cıvalı porozimetre ile gerçekleştirilmekte iken son yıllarda parlatılmış yüzeylerde porların geometrik özellikleri, SEM (Scanning Electron Microscope) tekniği kullanılarak elde edilen mikrofotolarla bağlı olarak saptanmaktadır (Şekil 2).



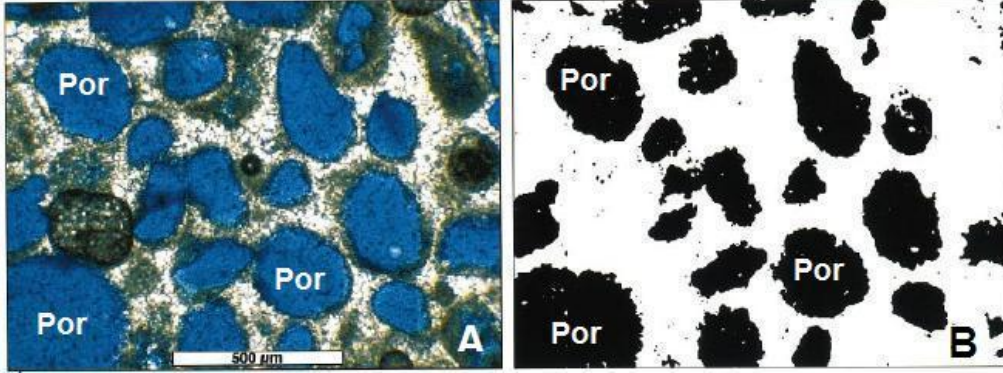
Şekil 2 Bir mermerde yaklaşık 10-50 µm çaplı porların SEM mikrofoto görünümü<sup>6</sup>.

Çeşitli kayaçlarda boşlukların geometrik özelliklerinin belirlenmesi görüntü analiz yöntemiyle de yapılabilmektedir. Bu amaç için boşluk boyutları gözle görülebilen kayaçların yüzeylerinin yakından elde edilen fotoğraf görüntülerinin yanı sıra scannerden (tarayıcı) elde edilen görüntüler de kullanılabilir. Bu şekilde yapılan porozite ölçümlerinde, kayacın deneyler yardımıyla ölçülen porozitesi ile bir kıyaslama yapılabilmesi için, daha fazla sayıda ve belirli aralıklarla alınan kesitlerden elde edilen dijital görüntüler kullanılmalıdır.

Anselmetti vd, (1998)<sup>7</sup>, karbonatlardaki toplam poroziteyi helyum porozimetresi ile belirlemişler ve bu porozitenin makro ve mikro porozitelerden meydana geldiğini de ince kesitlerden elde edilen fotoğraflardan saptayarak bu verileri doğrulamışlardır (Şekil 3.) Dekayir vd,(2003)<sup>8</sup>, bazaltlardaki poroziteyi cıvalı porozimetre ve görüntü analiz yöntemi ile ölçerek kıyaslamışlardır. Görüntü analiz yönteminde 712x448 piksel 256 gri renkli elektron mikroskobu (BSF) görüntüsü kullanmışlardır. Cerepi vd, (2001)<sup>9</sup>, karbonatlardaki porozitenin petrofiziksel özelliklerini cıvalı porozimetre ve görüntü analiz yöntemi ile inceleyerek porozitenin geometrik özelliklerinin kayacın geçirgenliğine olan etkisini araştırmışlardır. Shin vd, (2005)<sup>10</sup>, % 60-80 oranında vesiküler boşluğa sahip bazaltik bombalardaki porozitenin geometrik yapısını ve özelliklerini görüntü analiz yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Boşlukları büyüklüklerine göre sınıflandırmışlardır. Layman II ve Wayne, (2004)<sup>11</sup>, ince kesitlerden (12,5X) elde edilen fotoğrafları kullanarak rezervuar karbonatların porozite özelliklerini saptamışlardır. Görüntü analiz yöntemi ile boşlukların boyutu,



şekli, dağılımı ve toplam porozite miktarını geleneksel yöntemlere göre daha ucuz ve kolay bir şekilde ortaya koymuşlardır.



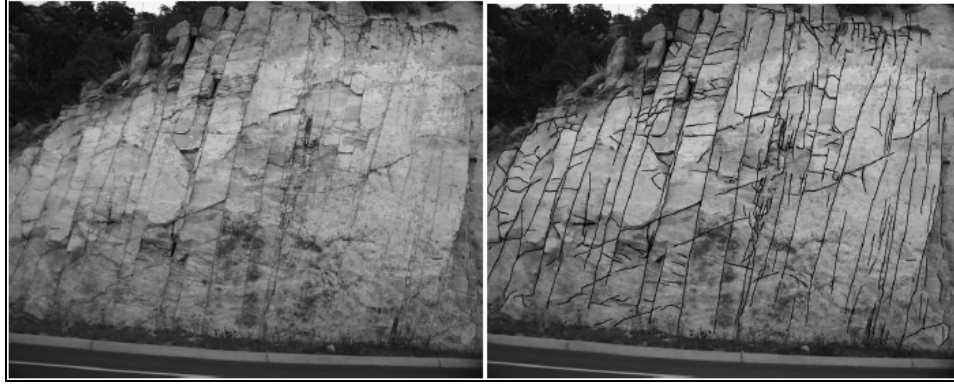
Şekil 3 Makro boşluk içeren bir kayacın mikroskop altında elde edilen görüntüsünün (A), görüntü analizi yardımıyla zenginleştirilmiş porların görüntüsü (B)<sup>12</sup>.

## 2.2. Süreksizlikler

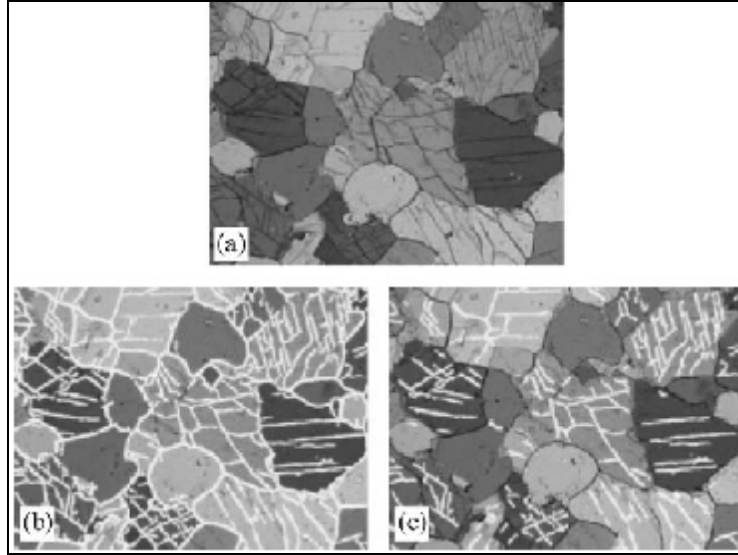
Süreksizlikler, kaya kütlelerinde bulunan eklem, tabaka düzlemi, fay, klivaj, foliasyon, çatlak gibi mekanik süreksizlik yüzeyleri veya kırıklarındır. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında ve mühendislik uygulamalarında süreksizliklere ait özelliklerin saptanması gerekir. Bu işlemler sondaj verilerinin yanı sıra, geleneksel yöntemler olan jeolog pusulası ve şerit metre kullanarak (hat etüdü) yapıla gelmekle beraber son yıllarda görüntü analiz teknikleri kullanılarak da yapılmaktadır. Üç boyutlu bir yapının iki boyutlu görüntüsü kullanılarak mevcut süreksizlik yapıları saptanmaktadır<sup>12</sup>. otoyol, köprü, tünel ve baraj gibi mühendislik yapılarında önemli olan süreksizlikleri, görüntü analiz yöntemi ile pratik olarak ölçerek 3 boyutlu yapılardan 2 boyutlu olarak izler elde etmişlerdir (Şekil 4.).

Doğal taşların içinde tektonik hareketler sonucu çeşitli boyutlarda fissür ve çatlaklar oluşur. Bu süreksizlik yüzeyleri değişik renkli, daha yumuşak ve kolay aşınan maddelerle dolunabilir. Bu tip doğal taşlar kesilip cilalandıktan sonra renkli güzel bir görünüş arz ederler. Ancak bu süreksizliklerin tamamen dolmamış veya yapışmamış olanları kesilme sırasında veya daha sonraki aşamalarda bu noktalardan kırılarak parçalanır ve kopar<sup>13</sup>. Mermerler içerisinde bulunan mikro fissürler özellikle su emme, basınç mukavemeti gibi fiziko-mekanik özellikler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Akesson vd, (2004)<sup>14</sup>, granitlerde tek eksenli basınç deneyi sırasında meydana gelen kırılmanın nasıl oluştuğunu tespit etmek amacıyla, kırılmış örneklerden alınan resimler görüntü analiz yöntemiyle incelenmiştir. Test sonrası meydana gelen kırılma düzlemlerinin, tane sınırları boyunca olmasının yanı sıra mineral tanelerinin de belirli düzlemler boyunca kırıldığı ve mikro çatlaklar oluştuğunu tespit etmiştir. Obara, (2007)<sup>15</sup>, polarizan mikroskopta ince kesitten elde edilen fotoğraflardan görüntü analiz yöntemleri yardımıyla dolomitlerdeki mikro çatlakları tespit etmiştir. Görüntü analiz yöntemiyle bu mikro çatlakların, 2-5 piksel genişliğinde ve 10 pikselden daha uzun olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 5.).

Makro süreksizlikler, mühendislik çalışmalarında çalışma yüzeyi temel alınarak ölçülmektedir. İster açık ocak, isterse yeraltı ocağı olsun süreksizlik düzlemlerinin sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Maerz vd, (1987a)<sup>2</sup>, ocak aynasından alınan sayısal fotoğrafları gri tonlamalar kullanarak zenginleştirmiş ve süreksizlik haritalarını çıkarmışlardır. Lemy, ve Hadjigeorgiou, (2003)<sup>16</sup>, yer altı ocak işletmesinde karbonatit ve granodiyoritlerin, açık ocak işletmesinde ise kireçtaşının aynadaki görüntülerinden faydalanarak süreksizlik haritaları çıkarmıştır. Yarı otomatik olarak nitelendirilen işlemlerde kaya kütlelerinin süreksizliklerinin pratik ve devamlı olarak ölçülebilmesi sağlanabilecektir.



Şekil 4 Bir kayaç aynasında gözlenen süreksizlerin görüntü analiz yöntemleriyle saptanması<sup>12</sup>.



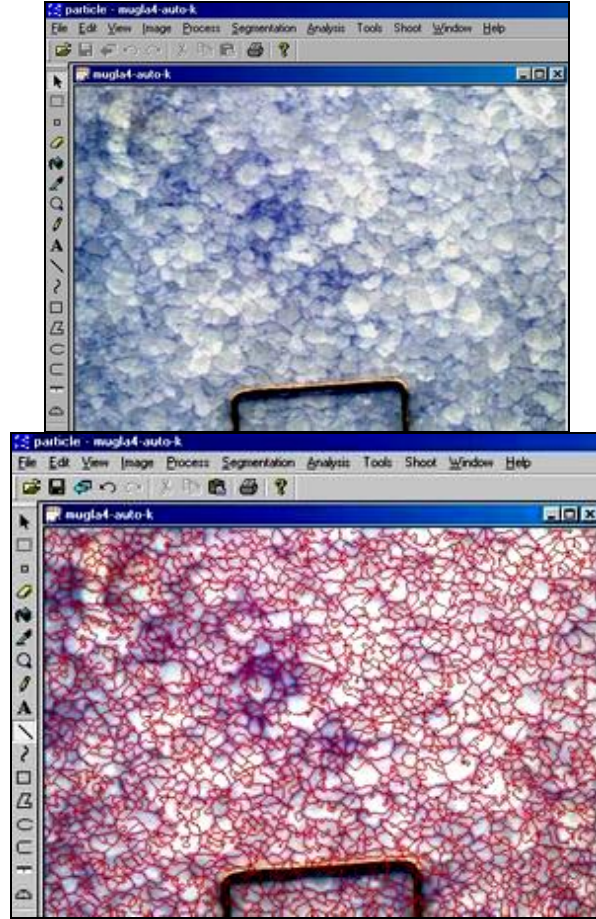
Şekil 5 Dolomitlerde mikro çatlak ve tane sınırlarının görüntü analiz yöntemiyle belirlenmesi. (a) orijinal fotoğraf, (b) tane sınırları ve mikro çatlakların görünümü, (c) mikro çatlakların zenginleştirilmiş görüntüsü<sup>15</sup>.

### 2.3. Tane Boyut Dağılımı

Mermerlerde tane boyu dağılımı çok önemli bir özellik olup mermerlerin darbe ve fiziksel basınçlara karşı dayanımı, korozyon etkilerine karşı olan korozyon dayanımı, kullanım yeri, parlaklık ve cila alma özelliklerini doğrudan belirlemektedir. Bu nedenle mermerlerde tane boyutu küçüldükçe fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesine paralel olarak ekonomik değeri de artmaktadır<sup>6</sup>. Sedimenter kayalarda ise tane boyutu depolanma ortamları ile ilişkilidir<sup>17</sup>.

Ölçme işlemi prensipte, ölçülecek olan mesafeyi, bilinen başka bir mesafe (ölçek) ile kıyaslamaktır. Mikroskopta ölçme işlemi de ölçmenin mikroskop boyutlarında uygulanışından ibaret olup mikrometrik lam ve üzerinde bölmeleri olan bir oküler yardımıyla yapılmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe sayma işleminde yanılma ve hataların yanı sıra işlem çok uzun zaman almaktadır. Görüntü analiz yöntemleri ise çok daha kısa sürede ve daha güvenilir olarak ölçüm yapmaktadır.

Lumbraras ve Serrat (1996)<sup>18</sup>, mermerlerin ince kesit görüntülerinden petrografik özelliklerini bu yöntemle belirlemiştir. Maerz vd, (1987a)<sup>2</sup>, kayaların makro yapısal özelliklerini görüntü analiz yöntemi ile incelemiştir. Maerz vd, (1987b)<sup>3</sup>, sayısal görüntüler yardımıyla kanyon üzerindeki kayaların tane boyut dağılımını ölçmüştür. Çelik, (2003)<sup>6</sup>, Paşadağ (Afyon) mermerlerinin ve Çelik, (2004)<sup>19</sup>, Muğla Beyaz mermerinin tane boyut dağılımını görüntü analiz yöntemleri kullanarak ölçmüştür. Ölçüm sonucu elde edilen veriler, literatürde verilen Muğla beyaz mermerine ait tane boyut değerleri ile karşılaştırılmış ve bu veriler görüntü analiz yöntemiyle doğrulanmıştır. Bu ölçümde mermer örneklerinin tarayıcıdan alınan yüksek çözünürlüklü resimler kullanılmıştır (Şekil 6). Sanchidrian vd, (2006)<sup>20</sup>, kireçtaşı ocağındaki patlatma sonrasında oluşan materyalin tane boyut dağılımını görüntü analiz yöntemi ile ölçerek geleneksel yöntemler ile karşılaştırmıştır. Tarquini ve Armenti, (2003)<sup>21</sup>, Carrara mermerlerinin tane boyut dağılımını iri taneli kayalar için 1500 dpi, ince taneli kayalar içinse 2700 dpi çözünürlükte taranmış fotoğrafları kullanarak ölçmüştür. Jerram ve Chead, (2000)<sup>5</sup>, olivin kümeleri içeren kayadaki minerallerin tane boyutunun 0,3-2,5 mm ve dağılımının da % 5-45 arasında olduğunu görüntü analiz yöntemiyle ölçmüştür.

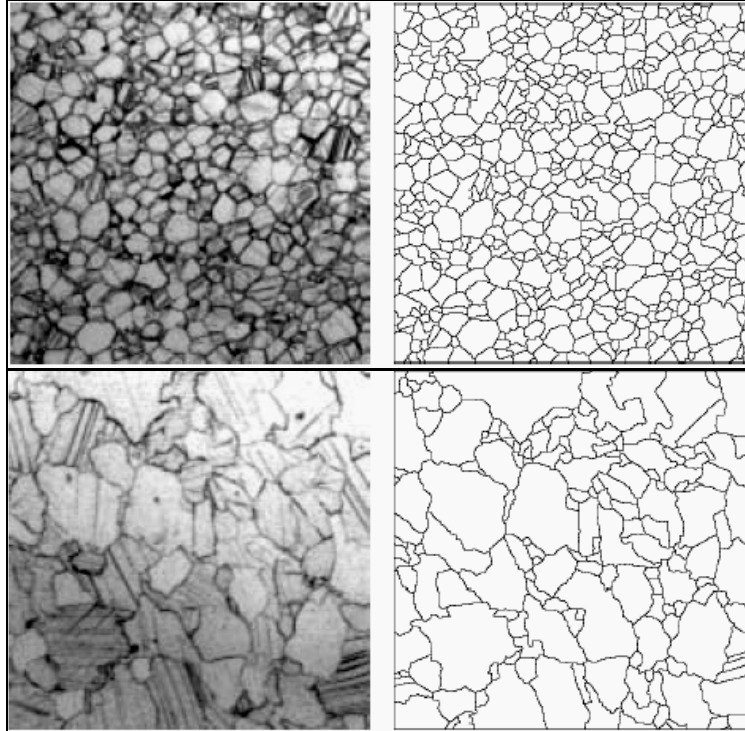


Şekil 6 Görüntü analiz yöntemi ile tane boyutu ölçülmesinde kullanılan Muğla beyaz mermer örnekleri ve segmentasyon görüntüleri (ölçek uzunluğu 12 mm)<sup>20</sup>.

#### 2.4. Tane Sınırları

Tane sınırları, kayaçların oluşumu sırasında geçirdikleri evreler hakkında bilgi vermeleri yanı sıra fiziko-mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Magmatik kayaçlarda ise tane sınırları, kristalleşmenin gelişimi hakkında önemli bilgiler vermektedir<sup>22</sup>. Tane boyut dağılımının iri ve tane sınırlarının düz olması mermerlerin dayanımlarının düşük olmasına neden olmaktadır. Tane boyut dağılımının genelde ince ve tane sınırının da girintili olması mermerlerin dayanımını arttırmaktadır<sup>23</sup>. Kalsit kristalleri iri ise mermer dişli ve kaba görünümlüdür. Bu tip mermerlerin dış tesirlere karşı dirençleri küçük kristalli olanlara göre daha düşüktür. Tane çapları küçüldükçe ve kenetlenme oranı arttıkça direnç fazlalaşır ve dış etkilerle bozuşma azalır<sup>24</sup>. Mermerleri oluşturan minerallerin tane sınırları düzgün ve iç içe girintili değilse mermer daha yumuşaktır. Tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılı ve diğer tanenin içine girer şekilde uzanan parçalar içeriyorsa bu tip mermerler daha serttir. O nedenle, metamorfizma geçirmemiş ve mineral kenarları düzlenmemiş kireçtaşları, metamorfizma geçirip mineral kenarları düzlenmiş olan gerçek mermerlerden daha serttir<sup>25</sup>.

Obara, (2007)<sup>15</sup>, dolomit ince kesitlerinden elde edilen mikroskop resimleri kullanarak, görüntü analiz programları yardımıyla, dolomit minerallerin düz tane sınırlarına sahip olduğu saptamıştır (Şekil 5). Heilbronner, (2000)<sup>26</sup>, "NIH Image" programında "Black Hill" kuvarsitlerinin ince kesitlerden elde edilen görüntülerini kullanarak, kuvars minerallerinin tane sınırlarını belirlemiştir. Lumbreras ve Serrat, (1996)<sup>19</sup>, antik Roma ve Bizans dönemlerinde gerek yapı malzemesi gerekse heykel olarak yoğun bir şekilde kullanılan, Carrara (İtalya), Paros, Pentelikon, Naxos (Yunanistan), Proconnesos (Marmara Adası), Aphrodisias (Aydın), Afyon (Türkiye) ve Estremoz (Portekiz) mermerlerinin ince kesit resimlerinden görüntü analiz yöntemiyle kalsit minerallerinin tane analizini yapmışlardır (Şekil 7.).



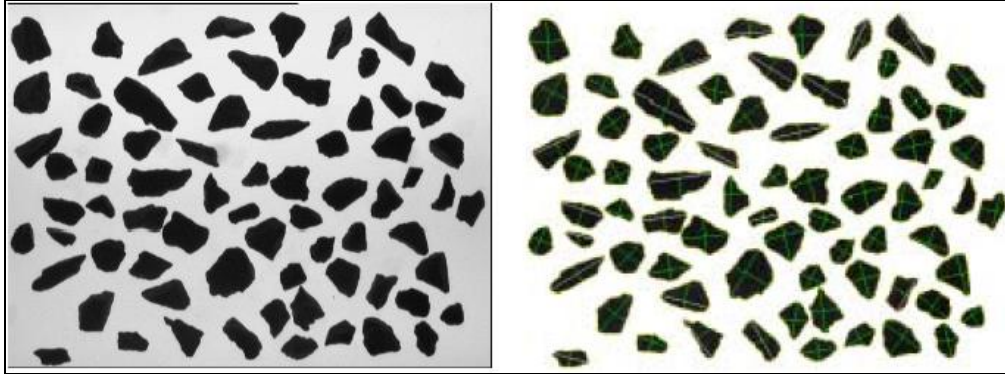
Şekil 7 Carrara ve Afyon mermerlerinin tane boyut ve sınırlarının ince kesit ve görüntü analiz yöntemleriyle elde edilmiş görüntüleri<sup>19</sup>.



## 2.5. Tane Şekilleri

Beton ve yol yapımında kullanılan agregaların en önemli özelliğinden birisi tane şeklidir. Yol inşaatında asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar oluşturmaktadır. Bu nedenle yol yapımında agregalar büyük rol oynarlar. Değişik yol katmanlarında farklı agrega özellikleri aranmaktadır. İri boyutlu agregaların tane şekillerinin boyutu ve düzgünlüğü yol inşaatında önemli bir konudur. Uzun olan agregaların kırılması yolun stabilizesini etkileyen en önemli unsurlardan biri olduğu için bu konuda belirli bir tane boyut standardının sağlanması istenir. Bu bakımdan, tane şekillerinin analizi bu alanda gerekli olmaktadır. Bu konuda da görüntü analiz yöntemleri, bu amaç için kullanılan geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha basit, daha ekonomik ve otomatik olması nedeniyle personel gözlem hatası olmaksızın ölçüm yapmaktadır.

Bu yöntem ile patlatma ve kırma sonucu oluşan agrega tanelerinin boyut analizi de yapılabilmektedir. Taşocaklarında agrega üretiminde, kırma ve eleme ünitelerinin istenilen boyutlarda agrega üretimini sağlayabilmesi için, bant konveyör üzerinden numune alma işlemine gerek duymadan, on-line olarak tane boyutunu ve şeklini ölçen sistemler gündeme gelmiştir. Bu amaç için Maerz, (1998)<sup>27</sup>, Maerz ve Lusher, (2001)<sup>28</sup>, konveyör bant sistemi üzerinde hareket eden agregaların tane şekillerini WipFrag adını verdiği yöntem ile bir kamera yardımıyla anında saptayan bir sistem kurmuşlardır (Şekil 8.). Fernandez vd, (1995)<sup>29</sup> tarafından, Şili bakır madeninde bant konveyör üzerindeki hareketli iri boyutlu kayalık parçalarının 256 gri renkli 512x480 piksel resimleri elde edilerek tane boyut ve şekil özellikleri anında belirlenmiştir.



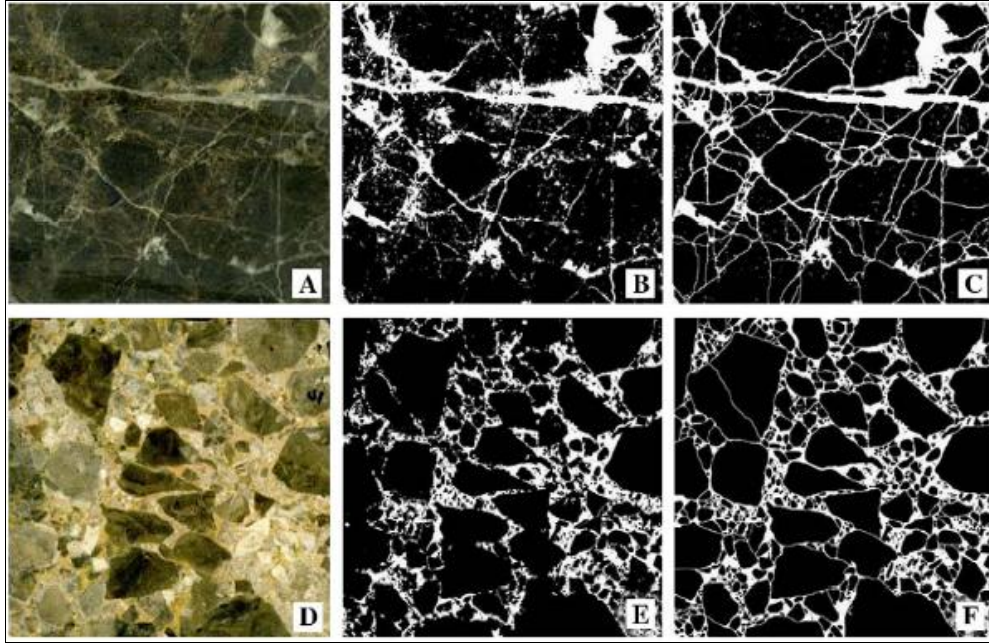
Şekil 8 Bant konveyör üzerinde hareket halinde olan agregaların tane şekillerini saptayan görüntü analiz yöntemi ile alınan görüntü<sup>28</sup>.

Agregaların tanelerinin uzunluğu, genişliği ve yuvarlaklığı kullanım yerlerinde önemli olmaktadır. Bunun için tanelerin geometrik özelliklerini belirlemek amacıyla, Uthus vd, (2005)<sup>30</sup>, görüntü analiz yöntemleriyle açışal tane şekli ve yüzey özelliklerini geleneksel yöntemlere göre daha başarılı bir şekilde ölçmüşlerdir. Mora ve Kwan, (2000)<sup>31</sup>, betonda kullanılan iri agregaların konvekslik ve küresellik şekillerini görüntü analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Das, (2006)<sup>32</sup>, görüntü analiz yöntemleri yoluyla geometrik şekil analizinde kullanılan çeşitli parametreleri karşılaştırarak (küresellik, yassılık, pürüzlülük, konvekslik vb.) bu konudaki gelişmeleri irdelemiştir. Fernlund, (2005)<sup>33</sup>, 10-50 mm arasında tane boyutuna sahip olan granitik agregaları görüntü analiz yöntemiyle uzun ve kısa eksenlerine göre sınıflandırmıştır.

Görüntü analiz yöntemiyle incelenecek görüntüler (resimler) çeşitli kaynaklardan sağlanabilmektedir. Bunlar SEM, mikroskopta ince kesit görüntüleri olabileceği gibi yüksek çözünürlüklü bir tarayıcıdan elde edilen fotoğraflar da kullanılabilir. Kalliomaki vd, (2005)<sup>34</sup>, betonda kullanılan agregaların geometrik özelliklerini saptamak amacıyla tarayıcıdan elde ettikleri 4000x3000 piksel çözünürlükteki fotoğrafları kullanmışlardır. Persson, (1998)<sup>35</sup>, 63-

125 mm ve 125–250 mm boyutlarındaki agregaların ince kesitlerinden elde edilen görüntüler üzerinde tane boyutu ve şekli çalışmaları yapmıştır. Lanaro vd, (2000)<sup>36</sup> ve Tolppanen vd, (2002)<sup>37</sup>, demiryolu balast malzemesi olarak kullanılan 32-63 mm boyutlu 7 ayrı kayaç agregasını, Los Angeles deney aleti ile aşınma dayanımı testi sonrası şekil özelliklerini görüntü analiz yöntemiyle incelemiştir.

Agregalar dışında kayaçların ve minerallerin tane şekillerinin incelenmesi de görüntü analiz yöntemi ile yapılabilmektedir. Özellikle hakiki mermerlerde metamorfizmayı yansıtan tane özellikleri incelenmiştir. Martínez-Martínez vd, (2007)<sup>38</sup>, breşik kayaçlarda tane şekillerini görüntü analiz yöntemiyle ortaya koymuşlardır (Şekil 9.).



Şekil 9 Breşik kayaçlarda tane şekillerinin görüntü analiz yöntemiyle belirlenmesi. (A-D) orijinal kayaç, (B-E) görüntünün zenginleştirilmesi, (C-F) ikinci zenginleştirme işlemi sonucu tanelerin şeklinin belirginleşmesi<sup>39</sup>.

## SONUÇLAR

Görüntü analiz yöntemleri, son yıllardaki bilgisayar ve görüntü işleme yöntemlerinin gelişmesine paralel olarak birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Bu alanlardan birisi de yerbilimleridir. Görüntü analiz yöntemleri, kayaçların çeşitli özelliklerinin belirlenmesinde geleneksel yöntemlere göre, daha hızlı ve daha ucuz olmasının yanı sıra kişisel hataları da en aza indirmesi bakımından daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Bu olumlu özellikleri nedeniyle daha çok alanda uygulama çalışmalarına hız verilmiş ve başarılı sonuçlar alındığı, yerbilimlerinin birçok alanında günümüze kadarki yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır.

Mühendislik çalışmalarında kayaçların porozite, süreksizlik, tane boyut dağılımı, tane sınırları ve şekilleri gibi bazı özelliklerinin önemli olduğu bilinmektedir. Amacı ne olursa olsun kayaçlarla yapılan mühendislik çalışmalarında bu özelliklerin yeteri kadar incelenerek özelliklerinin ortaya konulması gereklidir. Bu özelliklerin belirlenmesinde görüntü analiz yöntemlerinin kullanılması gün geçtikçe artmaktadır.

Kayaçalarda boşlukların geometrik özelliklerinin belirlenmesi, cıvalı porozimetrenin yanı sıra görüntü analiz yöntemiyle de yapılabilmektedir. Bu amaç için boşluk boyutları gözle görülebilen kayaçların yüzeylerinin yakından elde edilen fotoğraf görüntülerinin yanı sıra tarayıcıdan elde edilen görüntüler de kullanılabilir.

Kayaçlar homojen malzemeler olmayıp çeşitli süreksizlikler içerirler. Süreksizlikler, kaya kütlelerinde bulunan eklem, tabaka düzlemi, fay, klivaj, foliasyon, çatlak gibi mekanik süreksizlik yüzeyleri veya kırıklarındır. Mühendislik uygulamalarında süreksizliklere ait bu özelliklerin saptanması gerekir. Bu özelliklerin laboratuvar ortamında tespiti her zaman mümkün değildir. Bu işlemler sondaj verilerinin yanı sıra, geleneksel yöntemler olan jeolog pusulası ve şerit metre kullanarak (hat etüdü) yapıla gelmekle beraber son yıllarda görüntü analiz teknikleri kullanılarak da yapılmaktadır. Üç boyutlu bir yapının iki boyutlu görüntüsü kullanılarak mevcut süreksizlik yapıları saptanmaktadır.

Kayaçların kullanım yeri dikkate alındığında tane boyutu önem taşımakta olup tane boyut dağılımı bilinmesi gerekmektedir. Tane boyutu küçüldükçe sayma işleminde yanılma ve hataların yanı sıra işlem çok uzun zaman almaktadır. Görüntü analiz yöntemleri ise çok daha kısa sürede ve daha güvenilir olarak ölçüm yapmaktadır.

Kayaçların ve minerallerin tane şekillerinin incelenmesi de görüntü analiz yöntemi ile yapılabilmektedir. Özellikle hakiki mermerlerde metamorfizmayı yansıtan tane özellikleri incelenmiştir. Tane sınırları, kayaçların oluşumu sırasında geçirdikleri evreler hakkında bilgi vermeleri yanı sıra fiziko-mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Tane boyut dağılımının iri ve tane sınırlarının düz olması mermerlerin dayanımlarının düşük olmasına neden olmaktadır. Tane boyut dağılımının genelde ince ve tane sınırının da girift olması mermerlerin dayanımını arttırmaktadır.

Görüntü analiz yöntemleri kullanılarak yapılan kayaçların nicel analizinde, özellikle arazi çalışmalarına olan ihtiyacı azaltması, son derece pahalı olan bazı yüksek teknolojiye sahip cihazlara ihtiyaç duymaması ve personel hatalarını en asgariye indirmesi nedeniyle daha çok tercih edilmesi kaçınılmaz görünmektedir.

Bilgisayar ve görüntü alma ve işleme alanlarındaki son derece hızlı gelişmelerin devam edeceği düşünüldüğünde, farklı alanlarda ve farklı şekillerdeki analizlerin de "görüntü analiz" yöntemleriyle yapılması beklentisi ortaya çıkmaktadır.

1 Canan, S., 2004; "Stereolojik Metotlar".

<http://stereoloji.tripod.com/stereo.html>

2 Maerz, N. H., Bennett, C. P. ve Dony, B. A., 1987a; Microcomputer Image Analysis Of Rock Fabric, 1st. Can. Symp. on Microcomputer Applications to Geotechnique., Regina, Canada, pp. 269-275.

3 Maerz, N. H., Franklin, J. A., Rothenburg, L. ve Coursen, D. L., 1987b; Measurement Of Rock Fragmentation By Digital Photoanalysis. ISRM. 6th Int. Cong. on Rock Mechanics, Montreal, Canada, v 1, pp. 687-692.

4 Maerz, N. H., Palangio, T. C. ve Franklin, J. A., 1996; Wipfrag Image Based Granulometry System, Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada, 23-24 Aug., 1996, pp. 91-99.

5 Jerram, D.A. ve Cheadle, M.J., 2000; On The Cluster Analysis Of Grains And Crystals In Rocks, American Mineralogist, Volume 85, page 47-67.

6 Çelik, M.Y., 2003; İscehisar – Bolvadin (Afyon Doğusu) Arasındaki Paşadağ Yöresinin Jeolojisi ve Paşadağ Mermerlerinin Değerlendirilebilirliğinin İncelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Yayımlanmamış), Ankara, 183 s.

7 Anselmetti, F.S., Lüthi, S. ve Eberli, G.P., 1998; Quantitative Characterization Of Carbonate Pore Systems By Digital Image Analysis, AAPG Bulletin 81/10, 1815-1836.

8 Dekayir, A, Rouai, M, ve Moustier, S., 2003; Basalt Pore Fractal Dimensions From Image Analysis And Mercury Porosimetry, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 28, Number 1C, pp. 223-231.

- 9 Cerepi, A., Humbert, L., ve Burlot, R., 2001; Petrophysical Properties of Porous Medium From Petrographic Image Analysis Data, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 187-188, pp. 233-256.
- 10 Shin, H., Lindquist, W., Sahagian, D., ve Song, S., 2005; Analysis of the Vesicular Structure of Basalts, Comput. Geosci., 31: 473-487.
- 11 Layman II J, ve Wayne A., 2004; Porosity Characterization Utilizing Petrographic Image Analysis: Implications for Rapid Identification and Ranking of Reservoir Flow Units, Happy Spraberry Field, Garza County, Texas, AAPG International Conference: October 24-27, 2004; Cancun, Mexico.
- 12 Kemeny, J., Mofya, E., Holmlund, J. ve S. Ahlgren., 2002; Digital Imaging For Rock Mass Characterization, Proceedings of the 2nd Annual Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies To Transportation Facilities and Infrastructure (Geophysics 2002), Los Angeles, April, 2002.
- 13 Erguvanlı, K., 1978; Mühendislere Jeoloji, İ.T.Ü. Kütüphanesi. Sayı: 1126, (Değiştirilmiş Dördüncü Baskı), 295 s., İstanbul.
- 14 Akesson, U., Hansson, J., ve Stigh, J., 2004; Characterisation Of Micro Cracks In The Bohus Granite, Western Sweden, Caused By Uniaxial Cyclic Loading, .Engineering Geology, 2004, 72(1-2): 131-142.
- 15 Obara B.; 2007; Identification Of Transcrystalline Microcracks Observed In Microscope Images Of Dolomite Structure Using Image Analysis Methods Based On Linear Structuring Element Processing, Computers & Geosciences, Volume 33, Issue 2, Pages 151-158.
- 16 Lemy F, ve Hadjigeorgiou J., 2003; Discontinuity Trace Map Construction Using Photographs Of Rock Exposures. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40(9):903-917.
- 17 Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987; Sand and Sandstone, Springer-Verlag, Berlin.
- 18 Lumbrebras, F., ve Serrat, J., 1996; Segmentation Of Petrographical Images Of Marbles, Computers and Geosciences, Vol. 22, No. 5, 547-558.
- 19 Çelik, M.Y., 2004; Muğla Beyaz Mermerinin Tane Boyut Dağılımının Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi, V. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, (Editör: A. Akar ve A. Seyrankaya), s.222-232, İzmir.
- 20 Sanchidrian J. A., Segarra P., ve Lopez L. M., 2006; A Practical Procedure for the Measurement of Fragmentation by Blasting by Image Analysis, Rock Mech. Rock Engng. 39 (4), 359-382.
- 21 Tarquini, S. ve Armienti, P., 2003; Quick Determination of Crystal Size Distributions of Rocks by Means of a Color Scanner, Image Analysis & Stereology, 22, 27-34.
- 22 Marsh, B.D., 1988; Crystal Size Distribution (CSD) In Rocks And The Kinetics And Dynamics Of Recrystallization. I. Theory, Contributions of Mineralogy and Petrology 99, 277-291.
- 23 Onargan, T., Deliormanlı, A.H., Saydam, S ve Hacimustafaoğlu, S.R. 1997; Mermerlerde Yüzeysel Sertliğin Dayanıma Olan Etkisinin Araştırılması, II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı s. 29-34. Afyon.
- 24 Çelik, M.Y. 2001; Dış Mekanlarda Kullanılan Mermerlerde Doğal Bozuşmalar. Mermer, Doğal Taş Sektörünün Dergisi, Yıl 6, Sayı:29, s.66-70, İzmir.
- 25 Kun, N., 2000; Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, Tezer Matbaası, 149 s. İzmir.
- 26 Heilbronner, R., 2000; Automatic Grain Boundary Detection And Grain Size Analysis Using Polarization Micrographs Or Orientation Images. J. Struct. Geol. 22, 969-981.
- 27 Maerz, N. H., 1998. Aggregate Sizing And Shape Determination Using Digital Image Processing, Center For Aggregates Research (ICAR) Sixth Annual Symposium Proceedings, St. Louis, Missouri, April 19-20, pp. 195-203.
- 28 Maerz, N. H., ve Lusher, M., 2001. Measurement Of Flat And Elongation Of Coarse Aggregate Using Digital Image Processing, Presented at the, Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Jan. 7-11 2001, 13 pp.
- 29 Fernandez, R., Viennet, E., Goles, E., Barrientos, R. ve Telias, M., 1995; On-Line Coarse Ore Granulometric Analyser Using Neural Networks, In Proceedings of ICANN'95 Paris, Volume Industrial Session, October 1995.
- 30 Uthus, L., Hoff, I. ve Horvli, I., 2005; Evaluation Of Grain Shape Characterization Methods For Unbound Aggregates, Seventh International Conference on the Bearing Capacity of Road, Railways and Airfields (BCRA). Trondheim.
- 31 Mora C F, ve Kwan A K H., 2000; Sphericity, Shape Factor And Convexity Measurement Of Coarse Aggregate For Concrete Using Digital Image Processing, Cement and Concrete Research, 30(3):351 -358.
- 32 Das, A., 2006; A Revisit To Aggregate Shape Parameters, Workshop On Aggregates Flakiness And Elongation Indices (WSOA-2006), CRRI, New Delhi, June 13.
- 33 Fernlund, J.M.R., 2005; Image Analysis Method For Determining 3-D Shape Of Coarse Aggregate, Cement and Concrete Research, vol.35, n 8, pp. 1629-1637.
- 34 Kalliomaki, I., Vehtari, A., ve Lampinen, J., 2005; Shape Analysis Of Concrete Aggregates For Statistical Quality Modeling, Machine Vision ve Applications 16: 197-201.
- 35 Persson A L., 1998; Image Analysis Of Shape And Size Of Fine Aggregates, Engineering Geology, 50(1-2):177-186.
- 36 Lanaro, F., Tolppanen, P., Illerström, A., ve Stephansson, O., (2000); Characterisation Of Size, Shape And Texture Of Aggregates By Fourier Analysis Of 3-D-Laser Images, In Proceedings of GeoEng2000, Melbourne, Australia.



- 37 Tolppanen, P., Stephansson, O. ve Stenlid, L., 2002; 3-D Degradation Analysis Of Railroad Balast, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 61(1):35-42.
- 38 Martínez-Martínez, J., Benavente, D., ve García del Cura, M.A., 2007; Petrographic Quantification Of Brecciated Rocks By Image Analysis. Application To The Interpretation Of Elastic Wave Velocities, Engineering Geology 90 (2007) 41-54.