



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİ KALSİYUM KARBONATLI KAYAÇLARIN
FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

NESLİHAN TUĞÇE TURGUT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN

Eylül 2019

Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN danışmanlığında Neslihan Tuğçe TURGUT tarafından hazırlanan “**Niğde Bölgesi Kalsiyum Karbonatlı Kayaçların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan: Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Müh. Böl.)



Üye: Prof. Dr. Hüseyin VAPUR (Çukurova Üniversitesi, Maden Müh. Böl.)



Üye: Doç. Dr. Serkan ÇAYIRLI (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Müh. Böl.)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../2019 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../2019 tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../2019

Prof. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Neslihan Tuğçe TURGUT



ÖZET

NİĞDE BÖLGESİ KALSİYUM KARBONATLI KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

TURGUT, Neslihan Tuğçe

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği AnaBilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN

Eylül 2019, 80 sayfa

Bölgemizde önemli karbonatlı kayaç oluşumları bulunmakta, özellikle çeşitli endüstrilerde ve inşaat sektöründe agrega (kırmataş) olarak kullanım alanı bulmaktadır. Uygulamada özellikle dayanım, aşınma, sertlik, kırılabilirlik gibi bazı kayaç özelliklerinin standart değerlerde elde edilmesi öne çıkmaktadır. Deneysel çalışmalar sonucunda; ISI değerlerine göre, KK-03 ve KK-05'in "Sert", KK-04, KK-06 ve KK-07'nin "Çok Sert" ve KK-08'in de "Çok Çok Sert" kayaç sınıfında olduğu, AIV değerlerine göre ise KK-03, KK-04, KK-05 ve KK-06'nın zor kırılır ve KK-07 ve KK-08'in ise çok zor kırılır kayaç türü olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama test sonuçlarına göre iki numune (KK-04 ve KK-05) belirtilen sınır değerden (200 kg/cm²) daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı değerine sahiptir. Ortalama test sonuçlarına göre kalker numunesi (KK-06) ise sınır değerlerden çok daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı değerine sahiptir. KK-04, KK-06 ve KK-07 en düşük CI değerine sahip olduğu dolayısıyla kolay kırılabildiği ancak KK-03, KK-05 ve özellikle KK-08'in benzer CI değerlerine sahip olduğu ve nispeten daha zor kırılabilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. KK-05 ve KK-07 nolu örneklerin benzer öğünme davranışı gösterdiği, özellikle KK-08 nolu örneğin çok zor öğündüğü, bunun yanı sıra KK-03, KK-04 ve KK-06 nolu kayaç örneklerinin öğünmelerinin çok daha kolay gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Kalsiyum karbonat, kireçtaşı, kalsit, aşınma, darbe dayanımı, kırılabilirlik, öğütülebilirlik

SUMMARY

INVESTIGATION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF CALCIUM CARBONATE ROCKS IN NIGDE REGION

TURGUT, Neslihan Tuğçe
Nigde Ömer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor : Professor Dr. Öner Yusuf TORAMAN

September 2019, 80 pages

There are significant carbonated rock formations in our region that are used as aggregate (crushed stone) especially in the construction industry as well as in other industries. Typical values for certain properties of rocks such as strength, abrasion, hardness and resistance are important in practice. At the end of experimental studies, it is understood that according to ISI values, KK-03 and KK-05 are classified as “Hard”, KK-04, KK-06 and KK-07 as “Very Hard” and KK-08 as “Very Very Hard”; and according to AIV values, KK-03, KK-04, KK-05 and KK-06 are difficult to break and KK-07 and KK-08 are very difficult to break. According to the mean test results, two samples (KK-04 and KK-05) have higher uniaxial compressive strength than the specified limit value (200 kg/cm^2). According to the mean test results, (KK-06) the uniaxial compressive strength of the the limestone sample is much higher than the limit values. It is understood that KK-04, KK-06 and KK-07 have the lowest CI values, and therefore, are easy to break, but KK-03, KK-05 and especially KK-08 have similar CI values and are relatively difficult to break. It has been found that KK-05 and KK-07 samples exhibit similar abrasive wear behavior, especially KK-08 sample is very difficult to grind, and additionally, the rock samples of KK-03, KK-04 and KK-06 are much easier to be abraded.

Keywords: Calcium carbonate, limestone, calcite, wear, impact resistance, crushability, grindability

ÖN SÖZ

Bu çalışma, tez danışmanım Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN'ın danışmanlığında, NİĞ TAŞ A.Ş. ve Orta Anadolu Madencilik A.Ş.'nin katkılarıyla Üniversite-Sanayi İşbirliği (ÜSİ) kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bölgemizde önemli karbonatlı kayaç oluşumları bulunmakta, özellikle çeşitli endüstrilerde ve inşaat sektöründe agrega (kırmataş) olarak kullanım alanı bulmaktadır. Uygulamada özellikle dayanım, aşınma, sertlik, kırılabilirlik gibi bazı kayaç özelliklerinin standart değerlerde elde edilmesi öne çıkmaktadır. Bölgedeki bu tür oluşumların özelliklerinin oldukça ayrıntılı incelenmesi ile kullanım alanlarının ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmaya FEB2018/20 numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmamn gerçekleŐtirilmesinde bana her konuda yardımcı olan, desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN'a, deneysel çalışmalarda beni yönlendiren ve destekleyen Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve özellikle aileme çok teşekkür ederim.

Tez alıŐması sırasında desteğini gördüğüm NİĞ TAŞ A.Ő. ve Orta Anadolu Madencilik A.Ő. firma yönetici ve personeline ayrıca çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ	xiv
SİMGE VE KISALTMALAR	xvi
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II KALSİYUM KARBONATLI KAYAÇLAR	3
2.1 Kalsiyum Karbonatlı Kayaç Nedir?	3
2.2 Karbonatlı Kayaçların Özellikleri ve Sınıflaması	6
BÖLÜM III AGREGA VE KIRMATAŞ MADENCİLİĞİ	8
3.1 Agrega Tanımı	8
3.2 Agrega ve Sınıflandırılması	8
3.2.1 Elde ediliş şekillerine göre sınıflandırma	8
3.2.2 Tane boyutuna göre sınıflandırma	9
3.3 Kırmataş Hammaddeleri	10
3.3.1 Magmatik kayaçlar	11
3.3.2 Sedimanter kayaçlar	11
3.3.3 Metamorfik kayaçlar	11
3.4 Kırmataş Özellikleri	11
3.5 Türkiye’de Agrega ve Kırmataş Madenciliği	12
3.6 Taş Ocaklarında Uygulanan Üretim Yöntemleri	13
3.6.1 Galeri patlatma yöntemi	13
3.6.2 Basamaklı (kademeli) üretim yöntemi	14
3.6.2.1 Basamaklı (kademeli) üretim yöntemin uygulama ilkeleri	15
3.7 Agrega Tesislerinde Kırma ve Eleme	15
3.7.1 Agrega üretiminde kullanılan kırıcılar ve özellikleri	16
3.7.1.1 Birincil kırıcılar	16

3.7.1.2 İkincil kırıcılar	18
3.8 Agregada Kırma-Eleme Tesislerinde Kullanılan Elek Tipleri	20
3.8.1 Titreşimli elekler	20
3.8.2 Döner elekler	21
3.8.3 Izgaralı elekler	21
3.9 Agregada Tesislerinde Kırma-Eleme	22
3.9.1 Kırma eleme tesislerinin uygulama adımları	22
3.9.2 Örnek bir agregada tesisi	23
3.9.3 Agregada tesislerinde stoklama ve taşıma birimleri	24
3.10 Agregaların Stoklanması	24
3.10.1 Stok yığınları	25
3.10.2 Silolar	25
3.10.3 Agreganın korunması ve depolanması	26
3.11 Agregaların Taşınması	27
3.11.1 Titreşimli besleyiciler	27
3.11.2 Titreşimli izgaralı besleyiciler	28
3.11.3 Çelik paletli (Apron) besleyiciler	28
3.11.4 Bantlı konveyörler	28
BÖLÜM IV KALSİYUM KARBONATLI KAYAÇLARA UYGULANAN	
FİZİKO-MEKANİK TESTLER	30
4.1 Kırılabilirlik Deneyi (CI)	30
4.2 Los Angeles Darbeli Aşınma Deneyi	31
4.3 Agregada Darbe Dayanım İndeksi (Impact Strength Indexi ISI)	32
4.4 Agregada Darbe Dayanım değeri (Aggregate Impact Value, AIV)	33
4.5 S ₂₀ Kırılma Testi	36
4.6 Nokta Yük Dayanımı	37
4.7 Agregada Ezilme Dayanımı (Aggregate Crushing Value, ACV)	40
4.8 Tek Eksenli Basma Dayanımı	41
4.9 Numune Azaltma Metotları	42
4.9.1 El ile örnek azaltma	42
4.9.1.1 Dikdörtgen yöntem ile örnek azaltma	42
4.9.1.2 Konileme-dörtleme yöntemi ile örnek azaltma	43
4.9.1.3 Kareleme-küreklenme yöntemi ile örnek azaltma	43

4.9.2 Mekanik bölücü ile örnek azaltma	43
4.9.3 Numune bölücü ile örnek azaltma (Johns Splitter)	43
BÖLÜM V ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	45
BÖLÜM VI MATERYAL VE METOT	48
6.1 Materyal	48
6.2 Metot	49
6.2.1 Kırılabilirlik testi (CI)	47
6.2.2 Darbe dayanım testi	50
6.2.3 Los Angeles darbe aşınma testi	51
6.2.4 Tek eksenli basınç dayanımı	53
6.2.5 Öğütme testleri	54
6.2.6 Diğer yardımcı ekipmanlar	54
BÖLÜM VII BULGULAR VE TARTIŞMA	56
7.1 Darbe Dayanım Testi (ISI) Sonuçları	56
7.2 Agregada Darbe Dayanım Testi (AIV) Sonuçları	63
7.3 Los Angeles Aşınma Testleri	66
7.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Testleri	67
7.5 Kırma Testleri	68
7.6 Öğütme Testleri (Öğütülebilirlik)	69
BÖLÜM VIII SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZ GEÇMİŞ	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Karbonatlı kayaçların CaO ve MgO oranlarına göre sınıflandırılması	4
Çizelge 2.2 Karbonatlı kayaçlara ait bazı özellikler	6
Çizelge 2.3 Kireçtaşlarının saflık sınıflaması	6
Çizelge 3.1 Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması	10
Çizelge 3.2 Kırmataş üretimi maliyet oranları	22
Çizelge 4.1 Bazı kayaçların kırılabilirlik indeks (CI) değerleri	31
Çizelge 4.2 Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategoriler	32
Çizelge 4.3 Los Angeles darbeleri aşınma deneyi alternatif dar aralık sınıfları	32
Çizelge 4.4 ISI test sınıflaması	33
Çizelge 4.5 Kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflandırılması	35
Çizelge 4.6 AIV sınıflaması	35
Çizelge 4.7 AIV sınır değerleri	35
Çizelge 4.8 Kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflandırılması (S ₂₀)	36
Çizelge 4.9 Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması	38
Çizelge 4.10 Tek eksenli basma dayanımına göre kayaların sınıflandırılması	41
Çizelge 6.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler ve kodları	48
Çizelge 6.2 Numunelere ait kimyasal analiz sonuçları	48
Çizelge 6.3. Öğütme deney şartları	54
Çizelge 7.1 KK-03 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları	57
Çizelge 7.2 KK-04 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları	58
Çizelge 7.3 KK-05 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları	59
Çizelge 7.4 KK-06 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları	60
Çizelge 7.5 KK-07 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları	61
Çizelge 7.6 KK-08 kayaç örneği darbe dayanım değerleri (ISI) sonuçları	62
Çizelge 7.7 Agrega darbe dayanım değerleri (AIV)	64
Çizelge 7.8 AIV toplu sonuçları (standart sapma değerleri ile birlikte)	65
Çizelge 7.9 ISI ve AIV toplu sonuçları	65
Çizelge 7.10 Niğtaş A.Ş.'ye ait kalsit örneklerinin Los Angeles aşınma kaybı miktarları	66
Çizelge 7.11 Niğtaş A.Ş. kalsit örneklerinin tek eksenli basınç dayanım değerleri	67
Çizelge 7.12. Örneklerin kırıcıdan geçtikten sonraki elek altı ve elek üstü	68

sonuçları	
Çizelge 7.13. Örneklerin kırılabilirlik indeks değerleri (CI)	69
Çizelge 7.14. Öğütme deneyleri sonrası ürün elek analiz sonuçları (toplu)	69
Çizelge 7.15. Tüm deney sonuçları	71



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Karbonatlı kayaçların sınıflandırılması	4
Şekil 2.2 Kalsit ve aragonitin kristal şekilleri	5
Şekil 3.1 Türkiye'nin yıllık agrega üretiminin Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırılması	12
Şekil 3.2 İller bazında kırmataş yüzde dağılım miktarı	13
Şekil 3.3 Taş ocaklarında oluşturulmuş ideal bir kademeli işletme sistemi	15
Şekil 3.4 Konik kırıcı elemanları	18
Şekil 3.5 Silo tipleri	26
Şekil 3.6 Bant konveyör elemanları	29
.....	
Şekil 4.1 Agrega darbe dayanım (AIV) testi	34
Şekil 4.2 S ₂₀ kırılmalık testi	36
Şekil 4.3 Nokta yükleme deneyinin prensibi	39
Şekil 4.4 Dikdörtgen metodu ile örnek azaltma	42
.....	
Şekil 4.5 Dörtleme metodu ile örnek azaltma	42
.....	
Şekil 4.6 Kareleme-kürekeme yöntemi ile örnek azaltma	43
Şekil 6.1 Los Angeles deneyi bilya hareketleri	52
Şekil 7.1 KK-03 kayaç örneği darbe dayanım grafiği	57
Şekil 7.2 KK-04 kayaç örneği darbe dayanım grafiği	58
Şekil 7.3 KK-05 kayaç örneği darbe dayanım grafiği	59
Şekil 7.4 KK-06 kayaç örneği darbe dayanım grafiği	60
Şekil 7.5 KK-07 kayaç örneği darbe dayanım grafiği	61
Şekil 7.6 KK-08 kayaç örneği darbe dayanım grafiği	62

FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ

Fotoğraf 2.1 Kalsit	5
Fotoğraf 2.2 Aragonit	5
Fotoğraf 2.3 Dolomit	6
Fotoğraf 3.1 Taş unu, ince agrega ve iri agrega	9
Fotoğraf 3.2 Galeri patlatma yönteminin örnek bir gösterimi (Sakarya-Geyve taş ocağı)	14
Fotoğraf 3.3 Basamaklı üretim yönteminin temsili bir görünümü (Kütahya-Simav taş ocağı)	14
.....	
Fotoğraf 3.4 Çeneli kırıcı	16
.....	
Fotoğraf 3.5 Döner kırıcı	17
Fotoğraf 3.6 Konik kırıcı	19
Fotoğraf 3.7 Çekiçli kırıcı	19
Fotoğraf 3.8 Titreşimli elek	20
Fotoğraf 3.9 Döner (Tromel) elek	21
Fotoğraf 3.10 Izgaralı elek	22
.....	
Fotoğraf 3.11 Konkasör tesisinden görünüm	24
Fotoğraf 3.12 Agregaların depolanması (Alsancak Beton)	26
Fotoğraf 3.13 Titreşimli besleyiciler	28
Fotoğraf 3.14 Agregta tesislerinde kullanılan örnek bant konveyör	29
Fotoğraf 4.1 Laboratuvar tipi çeneli kırıcı	30
Fotoğraf 4.2 Los Angeles darbeli aşınma cihazı	31
Fotoğraf 4.3 Agregta darbe dayanım (AIV) aparatı	33
Fotoğraf 4.4 Nokta yükleme deney düzeneği	37
Fotoğraf 4.5 Tek eksenli basınç dayanım cihazı	41
Fotoğraf 4.6 Numune bölücü (bölgeç)	44
Fotoğraf 6.1 Laboratuvara getirilen numunelerden görünüm	49
Fotoğraf 6.2 Laboratuvar tipi çeneli kırıcı	50
.....	

Fotoğraf 6.3 Darbe dayanım test aparatı (a) ve AIV test cihazı (b)	51
Fotoğraf 6.4 Los Angeles tamburu (a) ve deneylerde kullanılan örnek test numunesi (b)	52
Fotoğraf 6.5 Portatif karotiyer (a) ve karot kesme-düzeltilme cihazı (b)	53
Fotoğraf 6.6 Tek eksenli basınç dayanım cihazı	53
Fotoğraf 6.7 Deneylerde kullanılan bilyalı değirmen	54
Fotoğraf 6.8 Numune bölücü (a) elek serisi (b) elek sarsma cihazı (c) etüv (d) terazi (e)	55
Fotoğraf 7.1 Darbe dayanım test örnekleri	56
Fotoğraf 7.2 AIV test işlemlerinden görünüm	63

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
d ₅₀	: Ortalama tane boyutu
d ₈₀	: %70'inin geçtiği elek açıklığı
D	: Çap
De	: Eşdeğer çap
dev/dak	: Devir/dakika
g, gr	: Gram
g/cm ³	: Gram/santimetre küp
kg	: Kilogram
kg/cm ³	: Kilogram/santimetre küp
kg/cm ²	: Kilogram/santimetre kare
kg/m ³	: Kilogram/metre küp
kN	: Kilo-newton
mm	: Milimetre
meş	: Mesh (1 inç mesafedeki delik sayısı)
MPa	: Megapaskal
P	: Yenilme yükü

Kısaltmalar

ACV	: Aggregate Crushing Value (Agrega parçalanma değeri)
AIV	: Aggregate Index Value (Agrega indeks değeri)
BTS	: Brazilian dolaylı çekme dayanımı
CI	: Crushability Index (Parçalanma indeksi)
EA	: Elek Altı
EÜ	: Elek Üstü
ISI	: Impact Strength Index (Darbe dayanım indeksi)
KK	: Kireçtaşı
LA	: Los Angeles
LAA	: Los Angeles Aşınma
LED	: Işık Yayan Diyot
NTFU	: Norveç Teknoloji Enstitüsü
SINTIF (Norveç)	: Applied Research, Technology and Innovation Organisation
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı

BÖLÜM I

GİRİŞ

Karbonatlı kayaçlar, pek çok sanayi dalında kullanılan endüstriyel hammaddelerdir. Bu kayaçlardan biri olan kalsit (CaCO_3), kolay öğütülebilen bir mineral olduğu için yaygın olarak kâğıt, plastik, yapıştırıcılar, hazır sıva gibi birçok endüstri dalında mineral dolgu amaçlı kullanılmaktadır. Dolomitin (CaMgCO_3) ise fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak birçok kullanım alanı mevcuttur. Kimyasal özellikleri göz önüne alındığında dolomit MgO içermesinden dolayı gübre yapımında ve toprak ıslahında, çimento, tuğla, dolomitik sönmemiş kireç, soda sanayi ve cam endüstrisinde kullanım alanı bulmakta, dolgu maddesi olarak da özellikle boya ve kimya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Ancak en önemli kullanım alanı demir-çelik sanayidir ve cüruf yapıcı ve refrakter (ateşe dayanıklı) malzeme imalinde kullanılmaktadır.

Öte yandan, büyük bloklar halinde ocaktan üretilen kayaçların endüstride kullanılabilmesi için boyut küçültülme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu amaçla, kayaçların kırılma özelliklerinin ortaya konulması; doğru kırıcı seçimi ve tesis tasarımından enerji sarfiyatına ve mali hesaplamalara kadar etki edebilecek oldukça önemli bir parametre durumundadır (Çomaklı ve Çayırılı, 2017).

Bölgemizde önemli karbonatlı kayaç oluşumları bulunmakta, özellikle çeşitli endüstrilerde ve inşaat sektöründe agrega (kırmataş) olarak kullanım alanı bulmaktadır. Uygulamada özellikle dayanım, aşınma, sertlik, kırılabilirlik gibi bazı kayaç özelliklerinin standart değerlerde elde edilmesi öne çıkmaktadır. Örneğin; agrega olarak kullanılacak bu tür kayaçlarda Los Angeles aşınma değerinin en çok %30 olması istenmektedir. Bölgedeki bu tür oluşumların özelliklerinin oldukça ayrıntılı incelenmesi ile kullanım alanlarının ortaya konulacak olması son derece önemli olmaktadır.

Tezin amacı doğrultusunda, farklı özelliklere (mineralojik, kimyasal, yapısal) sahip karbonatlı kayaçların (kalsit, kireçtaşı ve kalker gibi) fiziko-mekanik özelliklerinin ortaya konulması ve uygulamada istenen standartları karşılayıp karşılamadığının bölgedeki çeşitli örnekler üzerinde yapılacak laboratuvar testleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ülkemizde özellikle inşaat (agrega) sektörü başta olmak üzere diğer farklı sektörlerde

(örneğin şeker fabrikaları gibi) kalsiyum karbonat kökenli kayalar belirli standartlarda kullanılmakta olup, ortaya konulan tez çalışması ile karbonatlı kayaların dayanım, parçalanabilirlik, sertlik ve aşınma vb. özellikleri ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur.



BÖLÜM II

KALSİYUM KARBONATLI KAYAÇLAR

2.1 Kalsiyum Karbonatlı Kayaç Nedir?

Karbonatlı kayaçlar arasında en yaygın olanı kireçtaşıdır. Kalker ise kireçtaşı dahil içinde CaCO_3 bulunduran tüm karbonatlı kayaçların genel adıdır. “Kalker” sözcüğü aslında Fransızca kökenli bir kelime (calcaire) olup, Türkçe karşılığı “kireçtaşı”dır. Mineralojide ismi geçen ve bileşimleri CaCO_3 (kalsiyum karbonat) olan kalsit ve aragonitin şekilsiz türlerine de “kalker” denir.

Kimyasal bileşiminde en az %90 kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren sedimanter kayaçlar “kalker” ya da “kireçtaşı” olarak isimlendirilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az %90 kalsit minerali içeren kayaçlara da kalker ismi verilmektedir.

Tabiatta bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı kayaç ve fosiller için ifade edilen genel bir deyim olup, yapısında genellikle kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) birlikte bulunur. Bunun yanı sıra, içinde farklı oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlamak mümkündür.

Dünyada çok çeşitli formasyon ve türlerde kireçtaşı bulunmaktadır. Bunlar;

- köken,
- jeolojik yapı,
- mineralojik özellikler,
- kristal yapı,
- kimyasal içerik,
- renk ve
- sertlik

özelliklerine göre gruplandırılır (Örneğin; Tebeşir, marn, traverten gibi).

İçindeki MgCO_3 miktarı %20-40 arasında ise “kireçtaşı”, rhombohedral yapıdaki “dolomit” $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ olarak isimlendirilir.

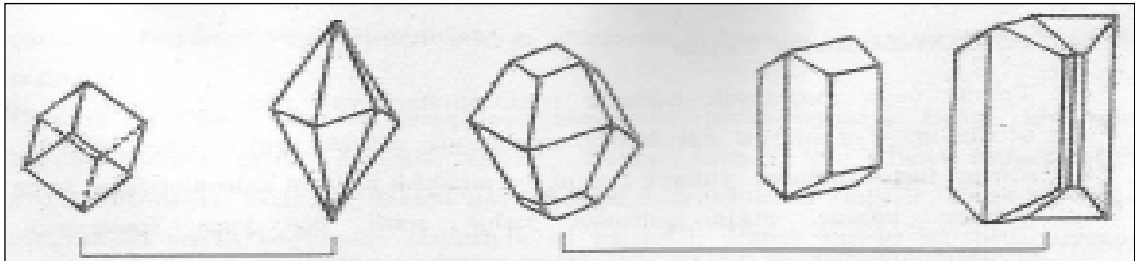


Fotoğraf 2.1. Kalsit (www.ortaanadolumadencilik.com.tr)

Kalsit, kendisine çok benzeyen aragonitten kristal sistemi ile ayrılır. Kalsit hegzagonal romboedrik sistemde kristalleşirken, aragonit (Fotoğraf 2.2) ortorombik sistemde kristalleşir (Şekil 2.2). Bu kristal sistemindeki farklılıktan dolayı da iki mineral arasında yoğunluk ve sertlik farklılığı ortaya çıkmaktadır.



Fotoğraf 2.2. Aragonit (sutopya.com)



Şekil 2.2. Kalsit ve aragonitin kristal şekilleri (Erguvanlı, 1955)

Dolomit (Fotoğraf 2.3) ise kireçtaşlarında bulunan CaO'in yerini kısmen veya tamamen MgO'in almasıyla oluşur.



Fotoğraf 2.3. Dolomit (<https://kou.globalpiyasa.com>)

2.2. Karbonatlı Kayaçların Özellikleri ve Sınıflaması

Karbonatlı kayaç minerallerine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Karbonatlı kayaçlara ait bazı özellikler (Harben,1992)

Mineral	Kimyasal formülü	%CaO	%CO ₂	%MgO	Sertlik	Yoğunluk (g/cm ³)	Renk
Kalsit	CaCO ₃	56,0	44,0	-	3,0	2,7	beyaz-gri
Aragonit	CaCO ₃	56,0	44,0	-	3,5-4,0	2,9	beyaz
Dolomit	CaMg(CO ₃)	30,4	47,7	21,9	3,5-4,0	2,8-2,9	beyaz-gri

Çizelge 2.3'de kireçtaşlarının saflık sınıflaması verilmektedir.

Çizelge 2.3. Kireçtaşlarının saflık sınıflaması (Industrial Minerals, 2011)

CaCO ₃ Sınıflaması	CaO (%)	CaCO ₃ (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
%100 kireçtaşı	56,0	100,0	-	-	-

Çok yüksek saflık	>55,2	>98,5	<0,8	<0,2	<0,05
(Devam)					
Yüksek saflık	54,3-55,2	97,0-98,5	<1,0	<0,6	<0,1
Orta düzey saflık	52,4-54,3	93,5-97,0	<3,0	<1,0	<1,0
Düşük saflık	47,6-52,4	85,0-93,5	>3,0	<2,0	>1,0
Kirli, karışık	<47,6	<85,0	-	>2,0	-



BÖLÜM III

AGREGA VE KIRMATAŞ MADENCİLİĞİ

3.1 Agreganın Tanımı

Agrega; doğal, yapay veya her iki tür mineralin genellikle 100 mm'ye kadar farklı tane iriliklerindeki kırılmış veya kırılmamış hali olarak ifade edilebilmektedir. Nehirlerde, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından üretilen kırılmış veya kırılmamış agregalara "doğal agrega" denir. Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi endüstri ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregalar ise "yapay agrega" olarak tanımlanmaktadır.

Tür, boyut ve kullanımına göre agregalar şu şekilde sınıflandırılabilirler (Yılmaz ve Arıoğlu, 2006):

- iri agrega (çakıl, kırmataş, yapay taş),
- ince agrega (kum, kırma kum ve yapay kum) ve
- taş unu (filler)

Agrega betonu oluşturan malzemelerin en önemlisidir. Beton hacminin yaklaşık olarak %75'ini agrega oluşturmaktadır. Kaba bir hespla yılda yaklaşık olarak 60 milyon ton agrega yalnızca hazır beton imalatında değerlendirilmektedir (Alp, 2004).

3.2 Agreganın Sınıflandırılması

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından, TS706, TS3529, TS3526 vb. standartlarına göre agregalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (Alp, 2004).

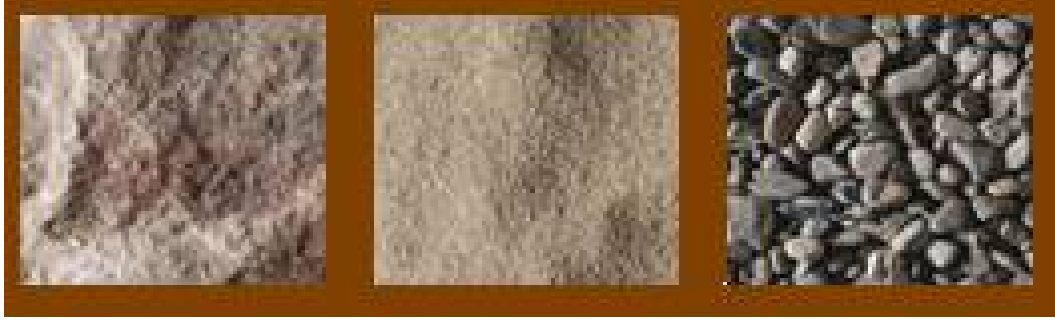
3.2.1 Elde edilmiş şekillerine göre sınıflandırma

Agregalar elde edilmiş şekillerine göre ikiye ayrılırlar;

- a) Doğal agrega (doğal taş agregası)
- b) Yapay agrega (sanayi ürünü agrega)

3.2.2 Tane boyutuna göre sınıflandırma

Agregalar tane boyutlarına göre; taş unu, ince ve iri şeklinde sınıflandırılmaktadır (Fotoğraf 3.1).



Fotoğraf 3.1. Taş unu, ince agrega ve iri agrega

- a) İnce Agregada (4 mm altı)
 - Kum
 - Kırma kum
 - Yapay kum
- b) İri agrega (4 mm üstü)
 - Çakıl
 - Kırma taş (mıcır)
 - Yapay taş
- c) Taş unu (filler) (0,25 mm altı)

Aşağıda agrega çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar verilmektedir (Çağlayan vd., 1999):

İnce Agregada; tane boyutu 4 mm altında olanlara ince agrega denir.

İri Agregada; 4 mm tane boyutu üzerinde açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadadır.

Çakıl; kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadadır.

Kırmataş; kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadadır.

Karışık Agregada: ince ve iri agrega karışımlarıdır (Çağlayan vd., 1999).

3.3 Kırmataş Hammaddeleri

Kırmataşları oluşturan kayalar, kökenlerine göre magmatik, metamorfik ve sedimanter olmak üzere üç temel grupta yer alırlar. Bunlar, bağlayıcı yardımı ile bağlandıklarında, beton, harç ve asfalt vb. sağlam kütleler oluştururlar. Bu kayaların sınıflaması Çizelge 3.1’de verilmiştir (Esenli, 1996).

Çizelge 3.1. Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Lefond, 1985; Esenli, 1996)

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk (kg/cm ³)
Mağmatik	Plütonik	Granit Siyenit Diyorit Gabro Peridotit	2,60 2,70 2,80 2,90 2,90
	Volkanik	Riyolit Trakit Andezit Bazalt Diyabaz	2,60 2,60 2,60 2,80 2,90
Sedimanter	Kimyasal (Karbonatlı)	Dolomit Kireçtaşı	2,70 2,60
	Kırıntılı (Silisli)	Konglomera Kumtaşı Kuvarsit Arkoz Kiltaşı Şeyl Arjilit Çört Grovak	2,60
Metamorfik	Foliasyonlu	Amfibolit Şist Gnays Sleyt	3,00 2,80 2,70
	Foliasyonsuz	Mermer Kuvarsit	2,70 2,80

3.3.1 Magmatik kayaçlar

Mağmanın katılaşması ile oluşmuşlardır. Mağmanın katılaşma derinliğine ve zamanına bağlı olarak

- derinlik-plütonik (intrüzif) ve
 - yüzey-vulkanik (ekstrüzif)
- olmak üzere ikiye ayrılırlar (Esenli, 1996).

3.3.2 Sedimanter kayaçlar

Kayaçların çeşitli etkilerle parçalanması/ayrışması ve göl ve denizlere taşınarak çökmesi sonrasında sıkışarak birbirlerine çimentolanmasıyla oluşmuş kayaçlardır. Genellikle tabakalı olup, çoğunlukla fosil içerirler. Sedimanter kayaçlar; konglomera, kumtaşı, kuvarsitler, arkoz, kiltası, şeyl, arjilit, silttaşı, karbonatlı kayaçlar ve çörtler olarak sıralanabilirler (Esenli, 1996).

3.3.3 Metamorfik kayaçlar

Magmatik, metamorfik veya sedimanter kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında veya kimyasal olarak aktif olan sıvılar etkisiyle değişimleri, başkalaşmaları sonucu oluşmuş kayaçlardır. Bu kayaçların foliasyon (yapraklanma) veya şiştözite adı verilen başlıca özellikleri, birbirine paralel düzlemler boyunca ve kolaylıkla yaprak veya dilimler halinde bölünmeleridir. Metamorfik kayaçlar; şişt, gnays, sleyt (arduvaz), fillit, mermer ve kuvarsit olarak sıralanabilir (Esenli, 1996).

3.4 Kırmataş Özellikleri

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre;

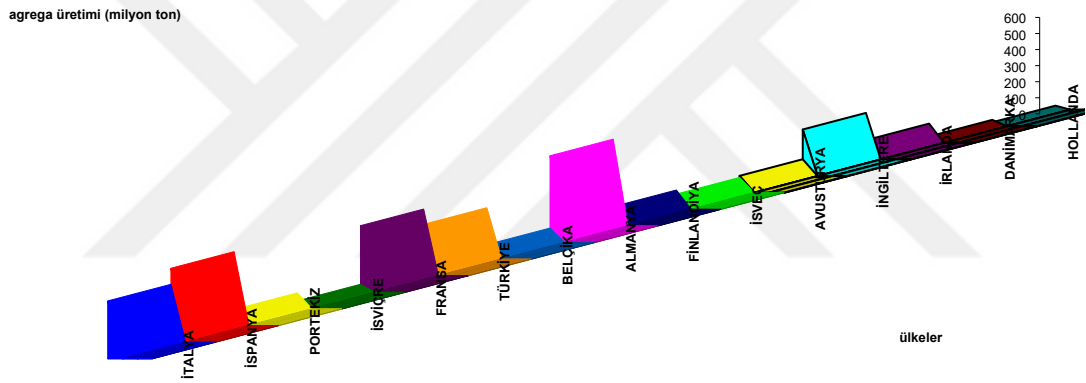
- granülometrik bileşim,
- tane şekli,
- tane dayanımı,
- aşınma direnci,
- dona dayanıklılığı ve
- zararlı maddeler

bakımından TS 706 standardını karşılamalıdır (Çağlayan vd., 1999).

3.5 Türkiye’de Agregat ve Kırmataş Madenciliği

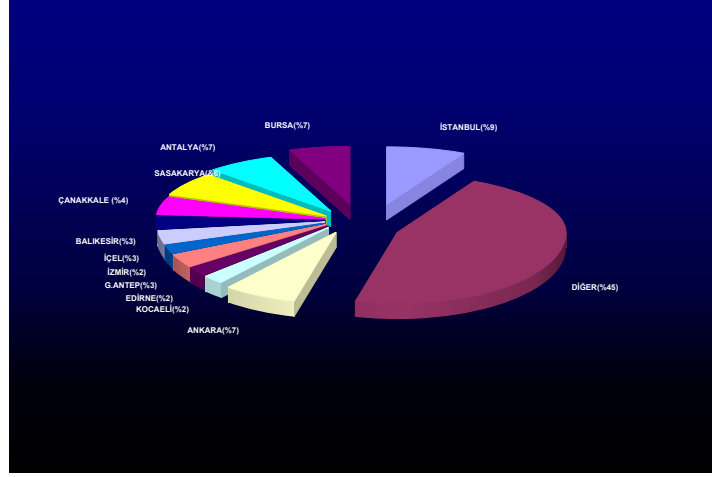
Ülkemizde agrega olabilecek maden rezervleri oldukça yaygın ve büyüktür. Ancak kullanım alanı nedeni ile birim maliyetlerin düşük tutulması değerlendirilebilecek rezervleri sınırlamaktadır. Ayrıca arazi kullanımındaki sınırlamalar ve çevre sorunları da mevcut rezervin kullanımını kısıtlı hale getirmektedir. Çeşitli Avrupa ülkelerinde ve ülkemizdeki agrega üretimleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Öztürk vd., 2007).

Agrega sektörü, ulusal inşaat faaliyetleri ile ilgili olması, istihdam potansiyeli dolayısı ile başta inşaat olmak üzere diğer sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Alp, 2004).



Şekil 3.1. Türkiye’nin yıllık agregat üretiminin Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırılması

Ülkemizdeki agrega üretimlerinin illere göre yüzde dağılımı Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere; agrega üretiminde en yüksek pay %9 ile İstanbul’a aittir. Türkiye genelinde ise üretimin %55’ine yakın kısmı batı bölgelerinde yapılmaktadır (Alp, 2004).



Şekil 3.2. İller bazında kırmataş yüzde dağılım miktarı (Alp, 2004).

3.6 Taş Ocaklarında Uygulanan Üretim Yöntemleri

Kum, çakıl, kırmataş üretimi genellikle açık işletme yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Taşocaklarından kırmataş üretiminde kazı ve yükleme öncesinde hammaddenin patlatma işlemleri ile gevşetilmesi gerekmektedir. Ayrıca, plaser kökenli kum ve çakıl üretilen ocaklarda delme-patlatma işlemine gerek kalmadan ekskavatör ile kazma ve yükleme işlemi gerçekleştirilmektedir (Alp, 2004).

3.6.1 Galeri patlatma yöntemi

Taşocakları üretiminde kullanılan galeri patlatması, teknolojik gelişmelere ve oluşan çevresel problemleri dolayısıyla yerini düzenli basamaklı delme-patlatma yöntemine bırakmıştır. Galeri patlatması sonucu nihai ürünün tane boyutunun büyük olması, düzgün basamakların oluşturulmaması ve oluşturulan şiddetli sarsıntıların çevresel etkileri sebebiyle yasaklanmıştır (Alp, 2004).

Galeri patlatma yöntemi çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve çalışma sahasında oluşturduğu güvensiz ortam ile artık yasal olarak izin verilmeyen bir yöntemdir. Galeri patlatma yöntemini gösteren temsili bir örnek Fotoğraf 3.2’de verilmiştir.



Fotoğraf 3.2. Galeri patlatma yönteminin örnek bir gösterimi (Sakarya-Geyve taş ocağı)

3.6.2 Basamaklı (Kademeli) Üretim Yöntemi

Basamaklı (kademeli) üretim yöntemi ile çalışılması planlanan sahada basamaklar oluşturularak üretim yapılır. Üretim basamakları genellikle üst kotlardan alt kotlara doğru sıralanmaktadır. Patlatılmış malzeme kırma-eleme tesislerine taşınarak kırmataş standartlarındaki boyutlara ayrılır. Fotoğraf 3.3'te basamaklı üretim yönteminin temsili bir görüntüsü verilmiştir (Alp, 2004).

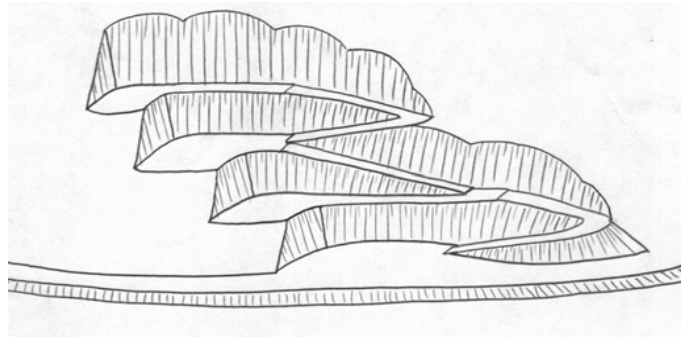


Fotoğraf 3.3. Basamaklı üretim yönteminin temsili bir görünümü (Kütahya-Simav taş ocağı)

3.6.2.1 Basamaklı (kademeli) üretim yöntemin uygulama ilkeleri

Arazinin topografyasına ve optimum kazı planına göre kademeler uygun bir şekilde oluşturulur. Topografyaya uygun olarak özellikle tepe ve yamaçlara oluşturulacak olan taş ocaklarında kademeler aşağıdan başlayarak yukarıya doğru oluşturularak üretim gerçekleştirilir. Taş ocağında kademeli işletme yöntemini oluştururken, öncelikle ocak sahasının en alt noktasında bir taban sahası oluşturularak çalışmalara başlanması, daha sonra ocağın üst noktalara doğru ilerlenmesi uygun olacaktır. Bu tarz bir üretim yönteminin sağlayacağı fayda; taş ocağında kademeli işletme yöntemi oluşturmak amacıyla ocağın üst noktasına ulaşılmaya çalışılırken, arazi yapısından kaynaklanan zorluklar nedeniyle bu işlemi en ekonomik ve en kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu uygulama sisteminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

Ocaktaki kademe oluşturma safhasındaki hazırlık çalışmaları, ocağın en alt katından en üst katına doğru yapılırken, üretim aşamasında ise ocağın en üst katından en alt katına doğru ilerlenmektedir. Arazideki zorluklar nedeniyle en alt kottan başlayarak en üst kote doğru kademe sahaları olan bir ocaktaki kademeli işletme sisteminin durumu Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Taş ocaklarında oluşturulmuş ideal bir kademeli işletme sistemi

3.7 Agerega Tesislerinde Kırma ve Eleme

Kırma, ufalama işleminin ilk aşaması olup, değerli mineralleri gang minerallerinden serbestleştirilmesi amaçlanmaktadır. Kırma, genel olarak kuru yapılan bir işlem olup genellikle iki veya üç aşamada yapılır. Cevher yatağından üretilen cevher parçalarının

büyüklüğü 150 cm'ye kadar olabilmektedir. Birincil (primer) kırma işleminde, büyük kırma makinaları (kırıcılar) kullanılarak 20-10 cm'ye küçültülebilir. Birincil kırıcılar genellikle zamanlarının %75'ini kırmada kullanabilirler.

İkincil (sekonder) kırma işlemi, birincil kırma işlemi sonucunda oluşan ürünün (kırılmış cevherin) boyutlarını 2-0,5 cm'ye küçültülmesinden ibarettir. Genellikle ikinci kırma işlemi birincil kırıcıdan gelen cevherin yeteri kadar ince tane boyuna indirilmesini sağlayabilir. Ancak cevher sert ve kırılmaya karşı dirençli ise, üçüncül (tersiyer) bir kırma işlemine gerek kalabilir.

3.7.1 Agrega üretiminde kullanılan kırıcılar ve özellikleri

3.7.1.1 Birincil kırıcılar

Birincil kırıcılar ağır iş makinaları olup, ocaktan gelen iri boyuttaki cevher parçalarını ikincil kırıcılara aktarabilecek uygun tane boyuna kadar kırmak üzere kullanılırlar.

1.Çeneli kırıcılar

Bu kırıcıların en temel özelliği, birbirine göre dar açı ile yerleştirilmiş biri sabit diğeri hareketli iki metal plakadan oluşmasıdır. Besleme yapılan iri cevher parçaları, çeneler tarafından sıkıştırılıp serbest bırakılarak, aşağı doğru akar ve çıkış ağzından kırıcıyı terk eder (Fotoğraf 3.4).



Fotoğraf 3.4. Çeneli kırıcı (www.sermaden.com)

a) Çift İstinat Kollu Kırıcılar

Çenenin hareketi, eksantrik kolunun dikey yönde aşağı ve yukarı doğru hareketi bir eksantrik tarafından sağlanmaktadır.

b) Tek İstinat Kollu Kırıcılar

Bu kırıcıda oynar çene eksantrik koluna bağlı durumda olup, üst kısımlarda hareketin şekli daireselken aşağı inildikçe elipsele döner. Bu hareket şekli kırılacak malzemenin çeneler arasında aşağı doğru akışını kolaylaştırır.

c) Dodge Çeneli Kırıcılar

Bu kırıcının hareketli çenesi çıkış tarafından mafsallanmış olup sabit bir çıkış açıklığına sahiptir. Bu kırıcı ile çıkış tane iriliği kontrol edilebilir. Bu özellik, eğer besleme miktarına dikkat edilmezse, kırıcının tıkanmasına yol açabilir.

2.Döner kırıcılar

Döner kırıcı çelikten yapılmış bir kırma kafası ve onu çevreleyen bir mantodan oluşmaktadır. Kafa üstten yataklanmış olup, alttan eksantriğe bağlanmıştır (Fotoğraf 3.5). Kırıcının dış kısmı (manto) döküm çeliğinden veya çelik levhaların kaynakla bir araya getirilmesinden oluşmuştur. Mantonun iç yüzeyi manganez çeliğinden yapılmış astarlarla kaplanmıştır. Kırma kafası dökme çelikten üretilmiş ve yüzeyi manganez çeliği ile kaplanmıştır. Eksantrik dökme demirden yapılmış olup, içi bronz astarlarla kaplanmıştır.



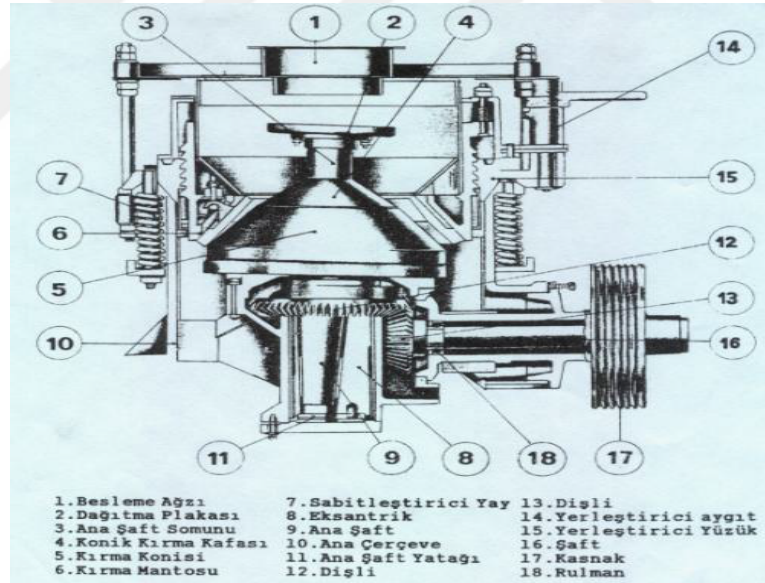
Fotoğraf 3.5. Döner kırıcı (<http://tr.eoindustry.com>)

3.7.1.2 İkincil kırıcılar

İkincil kırıcılar, birincil kırıcılara göre daha hafif makinalar olup, birincil kırma işleminden gelen (kırılmış) cevheri besleme olarak kabul ederler. Cevherin taşınması ve kırıcılara beslenmesi için gerekli donanım, birincil kırma işleminde olduğu gibi büyük ve hantal değildir.

a) Konik kırıcılar

Daha kısa olan ana mil, üstten asılma yerine kırıcı kafa altında bulunan alt gövdeyle bağlantılı küresel yatak tarafından taşınır. Mil salgı esnasında bu yatak üzerinde hareket eder (Şekil 3.4). Üst gövde gittikçe genişleyen bir kesik koni şeklindedir. Kırılan malzeme için daha geniş bir boşalma alanı sağlar. Bu, konik kırıcıya yüksek kapasite sağlar (Fotoğraf 3.6).



Şekil 3.4. Konik kırıcı elemanları (Bayraktar, 1974)



Fotoğraf 3.6. Konik kırıcı (www.youtube.com)

b) Darbeli kırıcılar

Bu kırıcılarda kırma işlemi basınçtan daha çok darbe zorlaması ile gerçekleşir. Serbestçe düşen cevher parçasına döner çekiçler vasıtasıyla uygulanan darbe kuvveti, cevher içinde gerilmelere ve parçalanmaya neden olmaktadır, bu ise parçaların kırıcı plakalara çarptırılmasıyla daha da arttırılmaktadır.

c) Çekiçli kırıcılar

Yumuşak malzemede (kireçtaşı) kum oranını arttırmak ve kübik şekilli malzeme üretmek için kullanılan sekonder ve tersiyer kırıcılardır (Fotoğraf 3.7). Yüksek manganlı çekiçleri ve kırma plakaları sayesinde aşınmalar azdır.



Fotoğraf 3.7. Çekiçli kırıcı (www.mertlermakina.com)

3.8. Agregada kırma-eleme tesislerinde kullanılan elek tipleri

Agregada kırma-eleme tesislerinde en çok kullanılan elekler; titreşimli elekler, döner elekler ve ızgaralı eleklerdir.

3.8.1 Titreşimli elekler

Titreşimli elekler, cevher hazırlama işlemlerinde, en yaygın olarak kullanılan eleme cihazlarıdır (Fotoğraf 3.8).



Fotoğraf 3.8. Titreşimli elek (www.cwp.com.tr)

Yüksek kapasiteleri ve toplam olarak daha az masraflı oluşları tercih edilmelerinin en önemli nedenleridir. Çeşitli üreticiler tarafından çok değişik tiplerde yapılmaktadırlar.

Titreşimli eleklerin ana yapı unsurları şu şekildedir:

- Elek şasesi veya kasası
- Titreşim düzeneği
- Taşıyıcı düzenek
- Elek yüzeyi ve bağlantı şekilleri
- Tahrik düzeneği
- Ürün toplama olukları

Titreşimli Eleklerin Çalışma Prensibi

Bu elekler tıpkı sallantılı elek gibi, boyu eninden daha uzun dikdörtgen şeklindeki kasa, yeterli kesitte profillerden veya yeterli kalınlıkta saclardan üretilir. Titreşimin yapım malzemesi üzerindeki etkileri dikkate alınarak, kasayı oluşturan parçalar da destekli bir yapı ve gerektiğinde kaynaklarla, gerilim alıcı ısıl işlemler gibi önlemler uygulanmalıdır. Ayrıca, civatalı yapılarda tam bir rijidite için boşluksuz ve az tolerans ile iyi bir işçilik gereklidir.

3.8.2 Döner elekler

Hafif bir eğime sahip, yaş ve kuru olarak kullanılabilen dönen silindirik elek olan bu aygıt eleme aygıtlarının en eskilerinden biridir (Fotoğraf 3.9).



Fotoğraf 3.9. Döner (Tromel) elek (www.rekmaksan.com)

3.8.3 Izgaralı elekler

Izgaralı elek (Fotoğraf 3.10), esas olarak iki amaçlı kullanılır:

- Tüvenan malzemeden primer kırıcıya giden malzeme ile by-pass edilen malzemeyi ayırmak için besleyici ile primer kırıcı arasına konulur.
- Primer kırıcıdan sonra ince malzemeyi by-pass ederek sekonder kırıcıya girmemesini sağlar.



Fotoğraf 3.10. Izgaralı elek (www.metesanmakina.com)

3.9 Agrega Tesislerinde Kırma-Eleme

Kırma-eleme tesislerinde verimliliğin en optimum şartlarda sağlanabilmesi için;

- kırma-eleme tesislerinin tasarımı,
- kırıcı, elek ve bant konveyör seçimi,
- kırılacak malzemenin jeolojik, tektonik, jeomekanik ve yapısal özellikleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

Kırmataş üretimi 4 ana aşamada gerçekleşir (Çizelge 3.2). Bu üretim aşamalarındaki maliyet oranlarının analizi, kırma ve eleme ne denli önemli olduğunu göstermektedir (Halili, 2003).

Çizelge 3.2. Kırmataş üretimi maliyet oranları (Halili, 2003)

Üretim Aşamaları	Maliyet Oranları
Delme Patlatma	% 18-21
Gevşetme- Ufalama- Yükleme	% 15-17
Taşıma	% 14-16
Kırma-Eleme	% 46-53

3.9.1 Kırma-eleme tesislerinin uygulama adımları

Kırma eleme tesislerinde yapılan işlemler sırası ile aşağıda belirtilecektir. Bunlar;

- Ocak sahasından kırma-eleme ünitesine getirilen malzeme ilk önce besleme bunkerine dökülür.
- Birincil kırıcıya (örneğin; çeneli kırıcı) gelen malzeme istenilen boyutta öğütüldükten sonra eleğe gönderilir. Bay-pas malzemesi ayrıldıktan sonra malzeme bant konveyör ile ikincil kırıcıya (örneğin; darbeli kırıcı) gönderilir.
- Darbeli kırıcıdan çıkan malzeme 3 katlı titreşimli eleğe gönderilir.
- Titreşimli elek malzemeyi boyutlarına göre ayırır. Sınıflandırılması yapılan malzeme bant konveyörler ile stok sahasına dökülürler.

3.9.2 Örnek bir agrega tesisi

Yol yapım çalışmalarında kullanılan agreganın üretimi Fotoğraf 3.11’de görülen konkasör tesisinde gerçekleşmektedir. Bu kırıcı, 110 cm çene açıklığına sahip olup saatte 150 ton taş kırmaktadır. Tesiste primer kırıcıdan başka 2 adet daha kırıcı mevcut olup, birisi ikincil kırıcı diğeri ise tersiyer toz makinesidir. İkincil kırıcıdan geçen malzeme 2000x5000 mm ebatlarındaki elek takımına dökülmekte ve burada boyuta göre sınıflandırılmaktadır. En üstteki eleğin üzerinde kalan malzeme tersiyere beslenmekte ve buradan çıkan kırılmış malzeme de 1600x5000 mm ebatlarındaki elek takımına dökülüp sınıflandırılmaktadır. Sonuçta, her bir elek takımından birbirinden farklı boyutlarda 3 çeşit malzeme elde edilmektedir. Elek takımına yerleştirilen elekler kare düzen ile örülmüş eleklerdir. 5 mm, 10 mm, 19 mm, 25 mm ve 38 mm açıklıklarındaki elekler kullanılarak yol yapım çalışmalarında kullanılacak malzemenin teknik şartname sınırları içerisinde istenilen gradasyondaki malzeme elde edilir (Yelken 2009).



Fotoğraf 3.11. Konkasör tesisinden görünüm (Yelken, 2009)

3.9.3 Agregat tesislerinde stoklama ve taşıma birimleri

Tüm cevher hazırlama tesislerinin herhangi bir aşamasında kuru (doğal nem içerikli) malzemenin depolanması ve tesisin farklı birimleri arasında taşınması veya bir proses aygıtına beslenmesi gerekir. Bu malzeme tesis girdisi tuvenan cevher, tesiste kırılmış cevher veya susuzlandırılmış konsantre cevher olabilir.

3.10 Agregaların Stoklanması

Birincil kırıcıdan geçmiş olan cevherlerin depolanması üstü açık veya kapalı stok sahalarında farklı geometrilere oluşturulabilecek yığınlar olarak yapılır. Bu stok yığınlarının amacı tesise düzgün cevher akışı sağlamak ve gereğinde harmanlama yaparak beslenen cevherin tenörünün belirli limitler arasında aynı kalmasını sağlamak olarak özetlenebilir. Örneğin, maden işletmesindeki üretim ve birincil kırıcının işletimi günde bir veya iki vardiya; orta ve ince kırma, öğütme ve zenginleştirme devrelerinin işletimi üç vardiya ise, bu uyumsuzluğun stoklama ile giderilmesi gerekir. Madendeki üretim herhangi bir nedenle durduğunda, cevher hazırlama tesisinin de durması için tesise 24 saat yetecek cevherin stoklanmış olması gerekir. Stokta daha uzun süre yetebilecek cevher bulundurulması cevherin stoklama esnasında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesi sorununun olup olmadığına bağlıdır. Özellikle de minerallerin yüzey oksitlenmelerinin flotasyon işlemlerini olumsuz yönde etkileyebileceği bilindiği için aşırı stoklama konusunda dikkatli olunmalı, gereğinde stok yığınlarının üstü örtülerek iklimsel etkenlerden korunmalıdır.

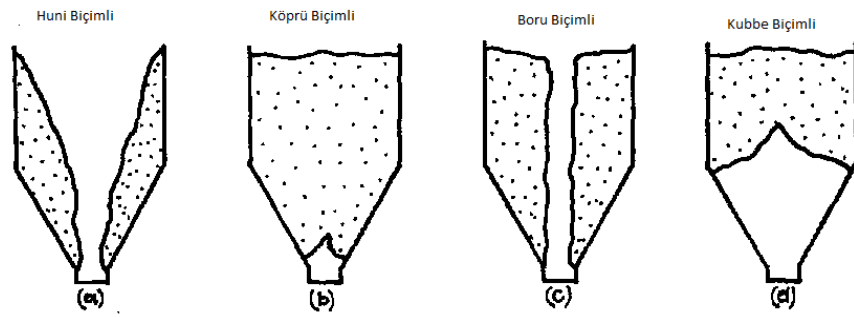
Öğütme devrelerini besleyen, kırma devresi ürünü ince cevher silolarının kapasitesinin öğütme devresinin 30 saatlik işletimine yeterli olacak şekilde tasarlanması önerilmektedir. Susuzlandırılmış cevher konsantreleri de silolarda depolanabilir.

3.10.1 Stok yığılıları

Stok sahaları sıkıştırılmış düz toprak veya betonla kaplanmış, su drenajı yapılmış düz yüzeylerdir. En yaygın yığın Şekilleri konik, uzunlamasına paralel ve radyal yığınlardır. Yığınlardan malzeme çekme üstten olabileceği gibi, konik ve uzunlamasına yığınların altındaki tünellerden bir veya daha fazla noktadan oluk veya besleyiciler ile bantlı konveyörlere malzeme çekme de oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bir yığındaki malzemenin bu Şekilde alttan alınması durumunda malzemenin sadece bir bölümü yer çekiminin etkisi ile malzeme çekme noktasına doğru akar. Yığın içerisinde çekme noktasına doğru akabilen malzeme miktarı canlı depolama kapasitesi olarak adlandırılır. Canlı kapasite (ağırlıkça) konik yığınlar için toplam yığın %20-25'i uzunlamasına yığınlar için %30-35'i kadardır.

3.10.2 Silolar

Silolar ağaç, beton veya metal malzemeden imal edilen ve bir sonraki işleme kontrollü bir besleme yapabilecek kapasiteye sahip depolama birimleridir (Şekil 3.5). Silolar esas olarak iki bölümden oluşurlar: silonun altında genellikle konik Şekilli bir huni ve onun üzerinde depolama hacmini sağlayan genellikle silindir biçiminde bir bölüm siloların tasarımındaki en önemli nokta malzemenin silo içinde segregasyona uğramadan kütle halinde akmasını sağlayacak huni açısının ve boşaltma ağız açıklığıının hesaplanmasıdır. Bu iki tasarım parametresi malzemenin tane boyu dağılımına, malzeme içindeki en iri parça boyuna, malzemenin nemine ve silo içindeki kalma zamanına bağlı olup, basit bağıntılarla hesaplanmaları mümkün olmadığından burada yer verilmeyecektir.



Şekil 3.5. Silo tipleri

3.10.3 Agreganın korunması ve depolanması

Stok ambarları, silindir veya kare prizma şeklinde olmalı, alt kısmı orta çıkışa doğru düzlemlerle en az 50° eğimde yapılmalıdır. Ayrışmaya engel olmak ve tanelerin kırılmasını önlemek için ambarlar mümkün olduğu kadar dolu tutulmalıdır (Fotoğraf 3.12) (www.ismakinalari.com).



Fotoğraf 3.12. Agregaların depolanması (Alsancak Beton)

Beton üretimi için uygun olan veya özellikleri iyileştirilmiş agreganın; ocaklarda, beton santrallerinde ve şantiyelerde yığınlar halinde depolanmasında iki konuya dikkat etmek gerekir:

- Agregalar grupları karışmamalı ve kirlenmemelidir.
- Agregalar, stoklar oluşturulurken ayrışmamalıdır.

Agregaların depolanması ve taşınması sırasında en fazla etkilenen iki özelliği agregaların tane dağılımı ve agregaların nem içeriğidir. Kullanılan agreganın tane dağılımı tanelerin yüzdesi açısından stabil olmalıdır. Stok ve taşıma işlemleri sırasında agregaların tanelerinin ayrışması ve ufalanması sonucu agregaların granülometrisi değişebilir.

Ocakta veya kırma-eleme tesisinde iletici bant altına düşen malzemenin iri ve küçük taneleri, gerek özgül ağırlıkları nedeniyle ve gerekse de rüzgâr etkisiyle sürekli bir ayrışma eğilimi taşırlar. Bu duruma engel olmak için, iletici bant altında malzemenin yüksekte düşerek birikmesine fırsat verilmemeli ve uygun bir iş makinası ile malzeme geniş bir alana yayılarak figüre edilmelidir. Bu şekilde figüre edilmiş, bir agreganın

stokundan yükleme yaparken de değişik bölgeler seçilmeli ve agregaların iş makinasının altında kırılıp ufalanması engellenmelidir.

3.11 Agregaların Taşınması

Agregaların ocaklarda yığınlar halinde depolanmasında iki konuya dikkat etmek gerekir;

- Agregalar grupları karışmamalı ve kirlenmemelidir
- Agregalar, stoklar oluşturulurken ayrışmamalıdır.

Agregaların taşınmasında ve kırıcılara beslenmesinde titreşimli besleyiciler, titreşimli ızgaralı besleyiciler, çelik paletli (apron) besleyiciler ve bantlı konveyörler kullanılır.

3.11.1 Titreşimli besleyiciler

Bir titreşim mekanizmasına bağlanmış tabla şeklinde besleyiciler olup (Fotoğraf 3.13) yüzeyleri aşınmaya dayanıklı çelik levhalar ile kaplıdır. 100 meş incelikte 30 cm parça büyüklüğüne kadar geniş bir tane aralığındaki malzemenin beslenmesinde kullanılabilir. Titreşimli besleyici boyutlarının seçimi beslenecek malzeme içindeki en iri tane boyuna, tane boyu dağılımına ve istenilen besleme kapasitesine göre yapılır. Besleyicinin uzunluğu ise besleyici çalışmaz durumda iken üzerinde yığın halinde kalan malzemenin akmasını engelleyecek uzunluktan 15-30 cm kadar daha uzun olmalıdır.



Fotoğraf 3.13. Titreşimli besleyiciler (www.seytasmakina.com)

3.11.2 Titreşimli ızgaralı besleyiciler

Çeneli kırıcılara beslenecek tuvenan cevher içerisinde, kırıcıdan beklenen en iri üründen daha ince malzemenin oranı fazla olduğu durumlarda bu malzemenin besleme hunisinin altına yerleştirilmiş titreşimli ızgaralı besleyicilerde elenmesi kırıcının verimli çalıştırılması açısından yeniden olur. Titreşimli ızgaralı besleyiciler aynı şasi üzerine yerleştirilmiş düz plakalı bölümü takiben veya iki ızgara bölümünde oluşurlar.

3.11.3 Çelik paletli (Apron) besleyiciler

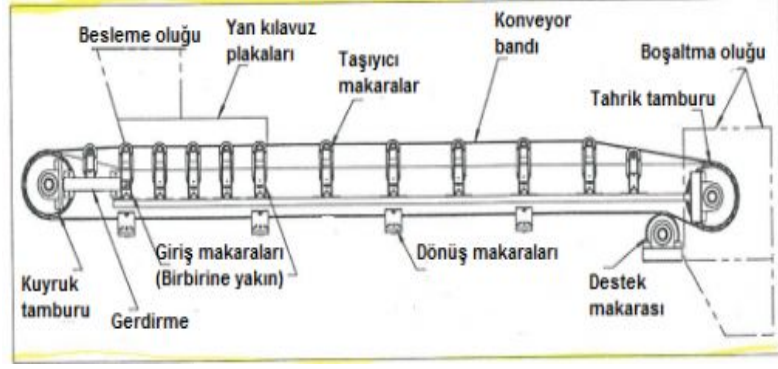
Çelik paletli besleyiciler, iri cevher parçalarının besleyiciye doğrudan darbe verdiği durumlarda ve özellikle çeneli kırıcıların beslenmesinde, ya da sinter ve pelet gibi sıcak malzemelerin taşınmasında yaygın olarak kullanılırlar. Yatay veya malzemenin yığın açısını geçmeyecek şekilde 30° eğime kadar çalıştırılabilirler. Paletli besleyicilerin kapasiteleri genişliklerine, palet hızına ve malzemenin yığın yoğunluğuna bağlıdır.

3.11.4 Bantlı konveyörler

Bantlı konveyörler esas itibariyle iki kasnak arasında gerilmiş ve rulolarla mesnetlenmiş uçsuz bir banttandır (Şekil 3.6 ve Fotoğraf 3.14).

Bir bantlı konveyörün ana elamanları genel olarak şunlardır:

- Malzemeyi nakleden bant
- Taşıyıcı ve dönüş makaraları
- Baş, kuyruk, gergi ve saptırma tamburları
- Tahrik düzeni
- Gergi düzeni
- Şasi
- Yükleme düzeni
- Boşaltma düzeni
- Bant temizleme düzeni
- Diğer teçhizat



Şekil 3.6. Bant konveyör elemanları (www.muhendislikbilgileri.com)



Fotoğraf 3.14. Agrega tesislerinde kullanılan örnek bant konveyör
(www.muhendislikbilgileri.com)

BÖLÜM IV

KALSİYUM KARBONATLI KAYAÇLARA UYGULANAN FİZİKO-MEKANİK TESTLER

4.1 Kırılabilirlik Deneyi (CI)

Kırılabilirlik deneyi; kırma ve eleme proseslerinin birleştirilmesiyle oluşan, çeneli kırıcı (Fotoğraf 4.1) vasıtası ile yapılan bir deneydir. Kırılabilirlik indeks deneyi, kayacın kırıcıda maruz kaldığı kuvvetler sonucu kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir yöntemdir (Toraman vd., 2010). Kullanılan çeneli kırıcının çene açıklığı ve boyutuna göre belirlenen numune (19 mm-9,52 mm) çeneli kırıcıya beslenir. Çeneli kırıcının ağız açıklığı 4-8 mm'dir. Kırılmış malzemeden alınan 500 gr'lık numune 9,52 mm'lik elekten geçirilir. Elek altı oranının incelenmesi ile numunenin kırılabilirliği "Parçalanma İndeksi" değerlendirilmiş olur.



Fotoğraf 4.1. Laboratuvar tipi çeneli kırıcı (www.nukleonlab.com.tr)

Çizelge 4.1'de çeşitli yörelere ait granodiyorit, mermer, bazalt ve granit gibi bazı kayaçların kırılabilirlik indeks (CI) değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Bazı kayaçların kırılabilirlik indeksi (CI) değerleri (Çomaklı ve Çayırılı, 2017)

Numune	Granodiorit (Aksaray)	Mermer (Afyon)	Bazalt (Niğde/Bor)	Granit (Kırşehir)	Bazalt (Ankara)
CI	42,90	36,58	29,53	65,01	74,42

4.2 Los Angeles (Darbeli Aşınma) Deneyi

Los Angeles Aşınma Direnci deneyinin amacı; agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığının tespit edilmesidir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanarak Los Angeles darbeli aşınma makinası (Fotoğraf 4.2) ile agreganın darbelenmeye ve aşındırma etkilerinin agrega gradasyonu üzerinde oluşturduğu bozulma ile tayin edilir. Cihaz içerisinde aşındırmayı sağlaması için çelik bilyalar kullanılmaktadır (TS EN 1097, 2000).



Fotoğraf 4.2. Los Angeles darbeli aşınma cihazı (<http://medya.nigde.edu.tr>)

Deneyde kullanılacak olan agreganın tane büyüklüğü +10 mm -14 mm aralığında olmalı ve en az 15 kg'lık numune ile yapılmalıdır. Agrega numunesi çelik bilyalar ile tambur içerisinde kendi eksenini etrafında 500 defa döndürülerek aşınmaya maruz bırakılır ve dönme işlemi bittikten sonra 1,6 mm açıklığa sahip elekten geçirilir ve elek üstünde kalan malzeme miktarı belirlir. Elekten geçen malzeme ne kadar az ise agrega aşınmaya bir o kadar dayanıklıdır, diğer bir deyişle aşınmaya karşı mukavemeti fazla olan agregaların basınç mukavemetleri de (Çizelge 4.2) büyük değerlere sahiptir.

Çizelge 4.2. Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategoriler

Los Angeles katsayısı	Kategori, LA
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
> 50	LA _{beyan}
Serbest	LA _{NR}

Alternatif dar tane büyüklüğü aralığı sınıflarını elde etmek için, deney elekleri yerine alternatif olarak Çizelge 4.3'te verilen dar tane büyüklüğü aralığı sınıfları kullanılabilir.

Çizelge 4.3. Los Angeles darbeleri aşınma deneyi alternatif dar aralık sınıfları

Aralık sınıfları (mm)	Bilyaların sayısı	Bilya yükü (g)
4-8	8	3410-3540
6,3-10	9	3840-3980
8-12	10	4260-4420
11,2-16	12	5120-5300

4.3 Agrega Darbe Dayanım İndeksi (Impact Strength Index, ISI)

“Agrega dayanımı”, “parçalanma direnci”, “darbe direnci” olarak da ifade edilen bu testte, çeneli kırıcı ile kırılıp -25 mm altına indirilen agregalardan -9,52 mm+3,15 mm aralığında 100 gr numune tartılıp darbe dayanım aletine aktarılır (Fotoğraf 4.3). Silindir hazne içine koyulan numunenin üzerine 30,48 cm yükseklikten düşürülen tokmak (ağırlık, 13,5-14 kg), 20 defa tekrarlanarak numune üzerine çarpma ile kuvvet uygular. Ezilen malzeme 3,15 mm’lik elekten elenerek elek üstü malzeme tartılır, tartılan malzeme

ağırlığının toplam malzeme ağırlığına oranlanması ile “agrega dayanım indeksi” değeri (ISI İndeks Değeri) elde edilmiş olur.



Fotoğraf 4.3. Agregada darbe dayanım (AIV) aparatı (www.eylullab.com)

Çizelge 4.4’te ISI test sınıflaması gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. ISI test sınıflaması (Teymen vd., 2011)

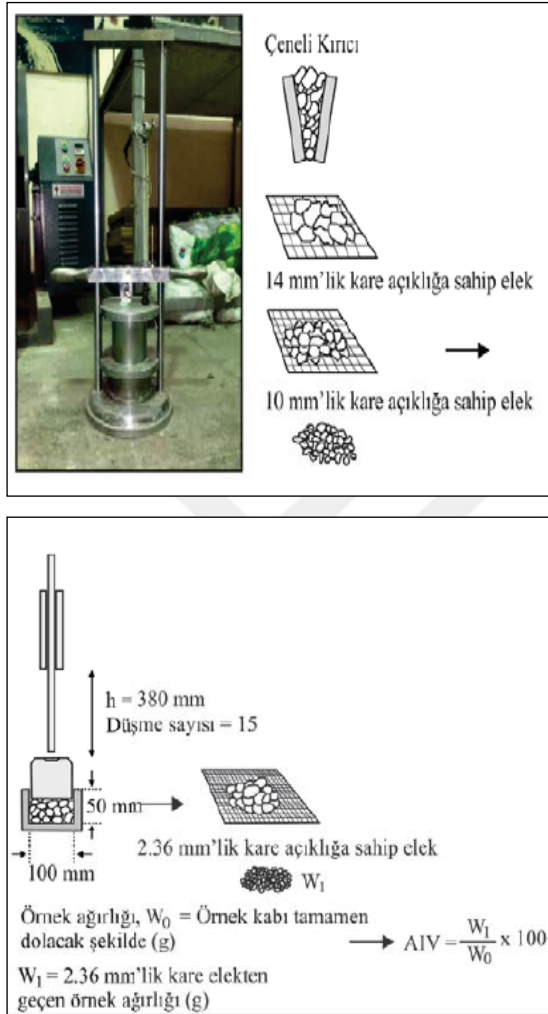
ISI Değeri	Parçalanabilirlik
>75	Çok Çok Sert
75-60	Çok Sert
60-40	Sert
<40	Yumuşak

4.4 Agregada Darbe Dayanım Değeri (Aggregate Impact Value, AIV)

Agregada darbe dayanımı deneyi (AIV), ani veya şok yüklemeler altında, agregada dayanımına ait göreceli bir değer verir ve bazı agregalarda dayanım, yavaş uygulanan basınç yüklerindeki dayanımdan biraz farklı değerler alabilir. Standart AIV testi, 10-14 mm boyut aralığındaki tanelere uygulanır fakat standart boyut mevcut değil ise veya ihtiyaç duyulması halinde daha küçük boyut aralığındaki tanelere de uygulanabilir. Ancak çıkan sonucun standart boyuta ait deneylerle aynı olması beklenmemelidir. Genellikle

küçük boyutlu taneler daha düşük dayanım verir ancak bu durum, değerler arasındaki bağıntılarla bir agregadan farklı boyuttaki agregalara geçilerek çözülebilir.

Şekil 4.1’de agrega darbe dayanım (AIV) testi prosedürü verilmiştir.



Şekil 4.1. Agregada darbe dayanım (AIV) testi (Dahl, 2003)

Bu deney yöntemi daha ziyade yol ve hava limanlarında kullanılan betonun çarpmaya karşı dayanımının tespiti amacı ile tatbik edilir ve temel olarak basınç deneyleriyle aynıdır. Belli bir boyut aralığındaki agregalar 25 darbe ile sıkıştırılarak çelik bir silindir içine yerleştirilir. Bu agregaların üzerine 380 mm mesafeden standart bir ağırlık (13,5 kg-14 kg) 15 sefer düşürülerek malzeme darbe etkisine maruz bırakılır. Deneyden sonra malzeme 2,36 mm'lik elekten elenerek elekten geçen malzemenin ağırlığı belirlenir. Bu malzemenin ağırlığının ilk malzemenin ağırlığına oranı, yüzde olarak agreganın darbe

dayanımı değerini verir. Elekten geçen miktar ne kadar fazla ise darbe etkisiyle agregada ufalanma o kadar fazla sayılır.

Çizelge 4.5’de kaya malzemesinin AIV değerlerine göre parçalanabilirlik sınıflamaları verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflaması (Dahl vd., 2012)

AIV (%)	Parçalanabilirlik
≥ 40	Oldukça Yüksek
40-35	ok Yüksek
35-28	Yüksek
28-22	Orta
22-18	Düşük
18-14	ok Düşük
≤ 14	Oldukça Düşük

Agrega darbe dayanım cihazı BS812:112 standardına uygun olarak, ani şok ve darbelere karşı bağlı direncin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Çizelge 4.6 ve 4.7’de kaya malzemesinin AIV değerlerine göre agregasınıflaması ve uygulama sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. AIV sınıflaması (BS812:112)

AIV Değeri	Agrega sınıfı
>35	çok zayıf agregas
10-35	Kabul edilebilir agregas
<10	Mukavemetli agregas

Çizelge 4.7. AIV sınır değerleri

Özellik	Sınır Değer	Referans
AIV (%)	Aşınmaya maruz beton <25	BS812-112
	Yüzey kaplama <30	
	Diğer betonlarda <50	

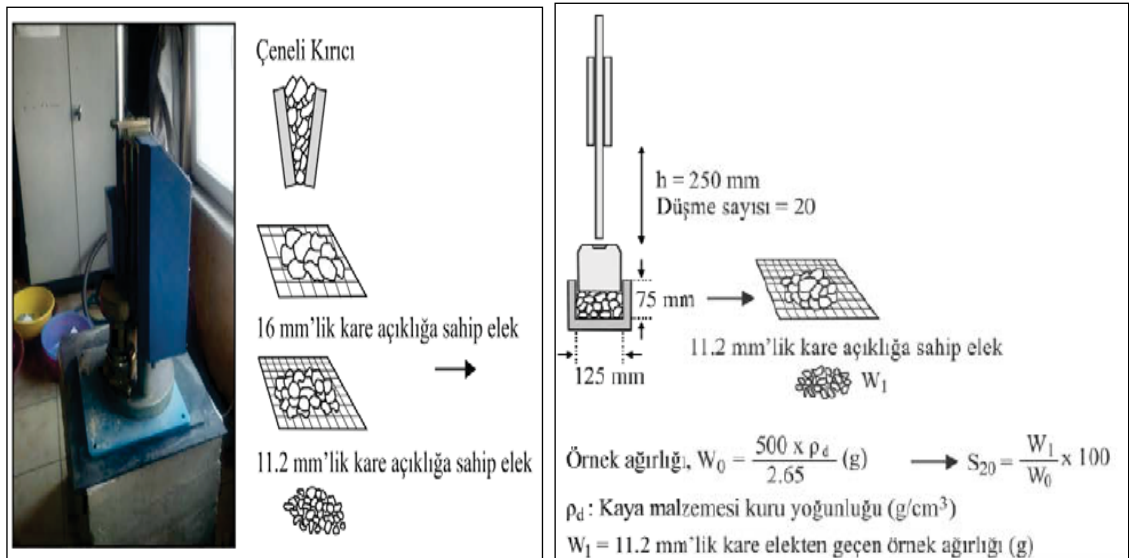
Agregaların darbe ve ani şok etkilerine karşı dayanımlarını göreceli olarak belirlemek için agrega darbe dayanım deneylerinden (AIV) elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır.

AIV değeri;

- Trafığın yoğun olduğu alanlarda kullanılacak beton döşemeleri için en çok %25,
- Kaldırımında veya asfalt aşınma tabakasında kullanılması durumunda en çok %30,
- Diğer beton türleri için ise en çok %50 olması gerekmektedir (BS812:112).

4.5 S₂₀ Kırılmalık Testi

S₂₀ kırılmalık deneyi, Norveç Teknoloji Enstitüsü (NTNU) ve SINTEF ortaklığı ile 1960 yılından beri uygulanan bir deney yöntemidir. Deney prosedürü Şekil 4.2’de özetlenmiştir.



Şekil 4.2. S₂₀ kırılmalık testi (Dahl, 2003)

S_{20} değerlerine göre kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflaması (S_{20}) izelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kaya malzemesi parçalanabilirlik sınıflaması (S_{20}) (Köken, 2017; Dahl vd., 2012)

S_{20} (%)	Parçalanabilirlik
≥ 66	Oldukça Yüksek
65,9-60	ok Yüksek
59,9-51	Yüksek
50,9-41	Orta
(Devam)	
4,9-35	Düşük
34,9-29,1	ok Düşük
≤ 29	Oldukça Düşük

4.6 Nokta Yük Dayanımı

Standart nokta yükleme aleti, yükleme gövdesi-yükleme pompası ve konik başlıklardan (yükü örneğe aktarmak için kullanılan ve sertleştirilmiş çelikten yapılan) oluşan “yükleme sistemi” ile yk göstergesinden (okuma nitesi) oluşmaktadır ve kayaç/cevher örneklerinin kırılması esasına dayanmaktadır (Fotoğraf 4.4). Test Bearman vd. (1997) tarafından kayaçların ufalanma davranışının tahmininde kullanılmaya başlanmıştır.



Fotoğraf 4.4. Nokta yükleme deney düzeneği (www.bazmakina.com.tr)

Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde, karot veya kesilmiş blok örnekler kullanılabilceği gibi düzensiz boyutlu malzemeler de kullanılabilir (Topal, 2000). Çok miktarda örneğin hazırlanmasına ihtiyaç duyulmadan tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesine olanak sağlaması, yöntemi çabuk ve tekrarlanabilir kılacaktır. Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılmasında bilinen bazı değerler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975)

Kaya Sınıfı	Nokta Yük indeksi (MPa)
Çok Düşük Dirençli	<1
Düşük Dirençli	1-2
Orta Dirençli	2-4
Yüksek Dirençli	4-8
Yüksek Dirençli	>8

Deneyler için numune iki konik uç arasına yerleştirilmekte ve sıkıştırma kuvveti uygulanmaktadır. Tane boyutlarından ve yenilme yükünden $I_s(50)$ olarak bilinen “indeks değeri” hesaplanmaktadır (Ulusay vd., 2001). 50 mm olarak belirlenmiş eşdeğer bir karot çapına ($D=50$ mm) göre düzeltme yapıldığı için indeks “ $I_s(50)$ ” olarak ifade edilmektedir (Eşitlik 4.1).

$$I_{s(50)} = [(D_e/50)^{0.45} * P/(4 * W * D / \pi)] \quad (4.1)$$

Burada;

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (MPa)

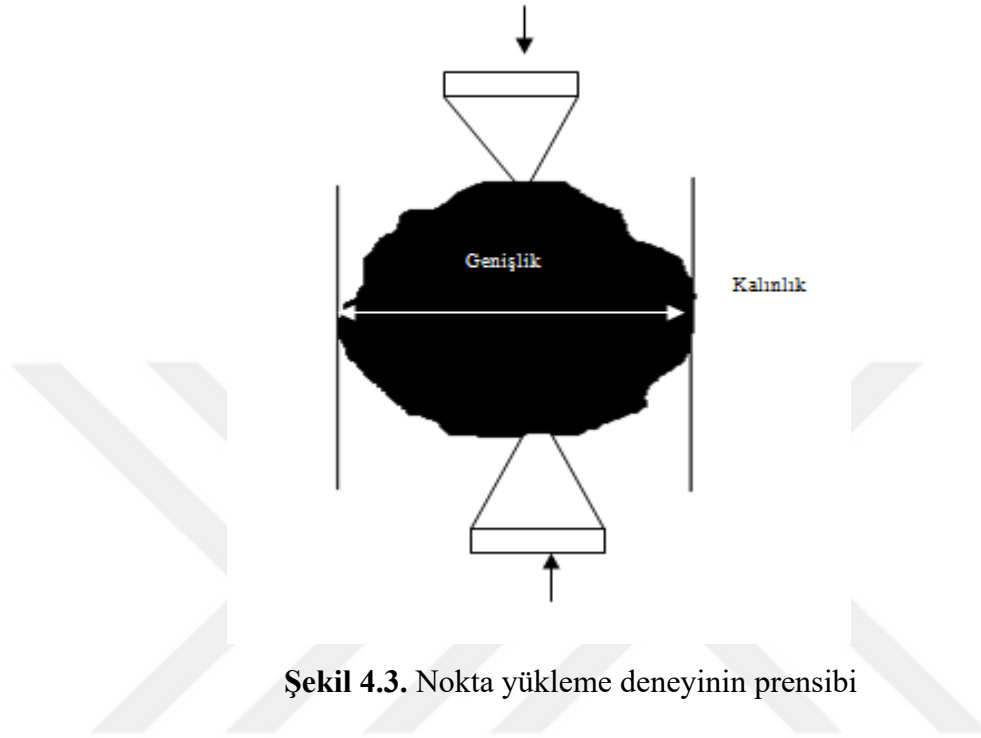
W : Genişlik (mm)

D : Kalınlık (mm)

D_e : Eşdeğer çap (mm)

P : Yenilme yükü (kN)

Genişlik ve kalınlık ölçümü ile deneyin temel prensibi Şekil 4.3'te şematik olarak gösterilmektedir. Cevher örneklerinin boyutlarını hassas bir şekilde (0,1 mm) ölçebilmek için kumpas kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Nokta yükleme deneyinin prensibi

Boyutları ölçülen ve iki konik başlık arasına yerleştirilen her bir cevher örneği konik uçlara uygulanan kuvvetten dolayı belirli bir süre içerisinde kırılmakta ve yenilme yükü (partikül tarafından tutulan maksimum kuvvet) yük göstergesinden okunmaktadır.

-31+25 mm boyut aralığındaki her gruptan 8'er örnek üzerinde ölçümler gerçekleştirilmekte ve her bir örnek grubunun ortalama değeri hesaplanmaktadır.

Öte yandan; Deniz vd. (1996), farklı kömür numuneleri üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada öğütülebilirlik ile nokta yük dayanım indeks değerleri arasında yakın bir ilişki olduğunu belirtmiş ($R^2=0,94$), nokta yük değerinin artmasıyla öğütülebilirliğin azaldığını ortaya koymuştur. Şengün vd. (2006) ise yaptıkları çalışmada kayaçların aşınma ve ufalanma mekanizmalarında kayaç mekanik özelliklerinden biri olan nokta yük dayanım indeksinin 0,85'lik bir korelasyon değeri ile en anlamlı ilişkiyi verdiğini tespit etmiştir. Bunun için aşağıdaki formül (Eşitlik 4.2) geliştirilmiştir:

$$G = - 0,0541 * I_{s(50)} + 4,5205 \quad (4.2)$$

Burada;

G : Öğütülebilirlik değeri (gr/dev)

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kg/cm²)

Söz konusu ilişkiden yola çıkarak cevhere ait tahmini öğütülebilirlik değerleri hesaplanmaktadır.

4.7 Agreganın Ezilme Dayanımı (Aggregate Crushing Value, ACV)

Agreganın ezilme dayanım deneyi (ACV), kademeli olarak uygulanan sıkıştırma yükleri altında agreganın kırılma dayanımına dair göreceli bir değer verir. Agreganın ezilme dayanım deneyi için -14 mm+10 mm aralığında iri agreganın kullanılır. Agregaların temiz ve kuru olması gereği temel şarttır. Bu hususta dikkat edilmesi gerekenler 110°C daha fazla bir sıcaklığa maruz bırakılmaması ve bu sürenin 4 saati aşmamasıdır.

Test yönteminin, standart silindirik deney kabının içine uygun miktarda agreganın 3 eşit tabaka halinde doldurulması ve her tabakanın üst yüzeyinden itibaren 50 mm yükseklikten 25 kez sıkıştırılması ile silindirik kap tamamen dolduktan sonra yüzeyin düzeltilerek 10 dakika boyunca 400 kN'luk basınca maruz bırakılması esasına dayanır.

Yüklemeye yapıldıktan sonra sıkıştırılmış malzeme bir tepsiye dökülüp 2,36 mm'lik elekten elenerek elekten geçen malzemenin ağırlığı belirlenir. Bu test metodu ile elde edilen veriler ne kadar küçük ise agreganın mekanik etkilere o derece dayanımlıdır sonucu çıkarılır.

4.8 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayalık malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütleli sınıflamalarında, ayrıca tasarımda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkıştırma dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deney sırasında eksenel deformasyon da ölçülerek, kayalık malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristikleri de değerlendirilebilir (Fotoğraf 4.5).



Tek eksenli basınç (serbest basınç) dayanım deneyi kayaçların dayanım, deformasyon ve yapısal karakteristiklerini belirlenmesinde oldukça geniş kullanım alanı bulunan bir test yöntemidir. Bu dayanım değeri, üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kaya numunelerinin, kırılmadan önce dayanma yeteneği olarak tanımlanır. Amaç, kırılmadan önceki silindir veya prizma şeklinde hazırlanan örneklerin, tek eksenli ve düşey olarak uygulanan yükler altında dayanım sınırının tespit edilmesidir (Atıcı, 2016). Çizelge 4.10’da tek eksenli basma dayanımına göre kayaların sınıflandırılması yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Tek eksenli basma dayanımına göre kayaların sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966)

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basma Dayanımı	
	(MPa)	(kg/cm ²)
Çok düşük dirençli	<25	255
Düşük dirençli	25-50	255-510
Orta dirençli	50-100	510-1020
Yüksek dirençli	100-200	1020-2040
Çok yüksek dirençli	>200	2040

4.9 Numune Azaltma Metotları

Numune azaltma yöntemleri üç şekilde yapılmaktadır.

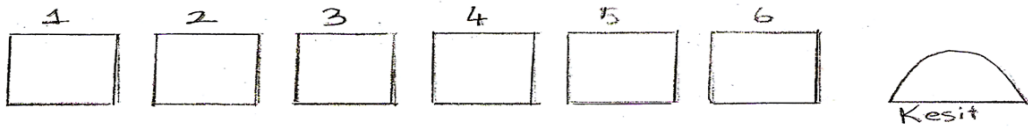
1. El ile örnek azaltma
2. Mekanik bölücülerle örnek azaltma
3. Numune bölücü ile örnek azaltma (Johns Splitter)

4.9.1 El ile örnek azaltma

Bu yöntemde numune üç şekilde azaltılmaktadır.

4.9.1.1 Dikdörtgen yöntem ile örnek azaltma

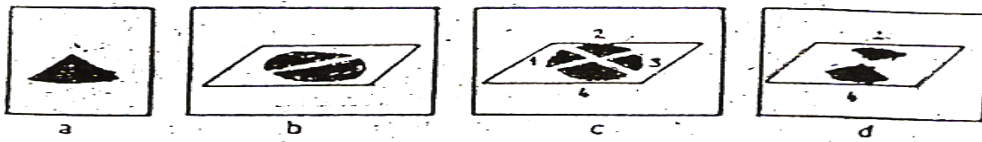
Bu yöntemde örnek, dikdörtgen şeklinde serilir ve belirli aralıklarla işaretlenir ve şerit sonuna kadar numaralandırılır. Daha sonra 1, 3, 5, 7 gibi parseller alınır ve geri kalan çift rakamlı parseller bir kenara bırakılır (Şekil 4.4). Bu işlem istenen numune miktarı elde edilinceye kadar devam edilir.



Şekil 4.4. Dikdörtgen metodu ile örnek azaltma

4.9.1.2 Konileme-dörtleme yöntemi ile örnek azaltma

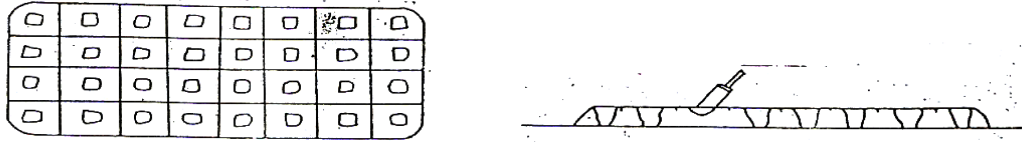
Bu yöntem, genellikle boyut bakımından homojen olan cevher örneklerine uygulanır. Koni biçiminde tepesi kürek kullanılarak etrafa yayılır ve tabanı tam bir daire biçimine getirildikten sonra eksenler çizilip dörde bölünür (Şekil 4.5). Önce 1 ve 3 alınır, 2 ve 4 kenara çekilir. Daha sonra 1 ve 3 birleştirilerek tekrar dörtleme yapılır ve bu defa 2 ve 4 alınır. Bu işlem alınacak örnek miktarına göre birkaç defa tekrarlanır.



Şekil 4.5. Dörtleme metodu ile örnek azaltma

4.9.1.3 Kareleme-kürekleme yöntemi ile örnek azaltma

Koni şeklinde yığılan örnek, kürek veya spatula yardımıyla üstü düzeltilerek dikdörtgen şekline getirilir. Belirli aralıklarla çizilerek karelere ayrılır (Şekil 4.6). Uygun bir aletle her kareden malzeme alınarak istenilen miktarda numune elde edilir.



Şekil 4.6. Kareleme-kürekleme yöntemi ile örnek azaltma

4.9.2 Mekanik bölücü ile örnek azaltma

Bu yöntem iki veya üç aşamalı olarak yapılarak, mekanik bölücüden yararlanılır.

Birinci aşamada ilk alınan numunenin tümü bir kırıcıdan geçirilir ve mekanik bölücü ile azaltılır. Bu numune, 3 mm elek açıklığına sahip elekten geçirilecek boyutta kırılmalıdır. İkinci aşamada azaltılan numune 0,2 mm tane büyüklüğüne öğütülür ve mekanik bölücü ile azaltılarak 60-150 gr numune alınır. Numune kapları birden başlayarak numaralandırma yapılır. Tek veya çift rakamlı numune kapları alınır ve analiz işlemleri yapılır. Bu işlemler esnasında alınan numune fazla rutubetli ise özellikle bölücüde tıkanıklıklar yaratır. Bu yüzden, numune 25°C sıcaklıktaki bir ortamda havada iyice kurutulmalıdır.

4.9.3 Numune bölücü ile örnek azaltma (Johns Splitter)

Bu yöntemde örnek, bir bölücü kullanılarak yaklaşık olarak aynı miktarda iki eşit kısma bölünür. Bu işlem esnasında ince cevher kaybının en alt düzeyde tutulabilmesi için her iki tarafa yerleştirilen örnek kaplarının olabildiği kadar bölücü aparata yakın tutulması gerekir. Oluk boyutlarının çok büyük veya çok küçük olması ve bölücü oluk sayılarının yetersiz olması nedeniyle önemli yanlışlar oluşabilir. Yanlışların ortadan kaldırılması cevhere ait oluk genişlikleri en iri tane iriliğinin 2,5 katı olmalıdır.

Özel Ayarlı Bölgeç (Fotoğraf 4.6), laboratuvara gelen agrega numune partilerinden, ilgili deneyler için gerekli miktarlarda temsili numunelerin elde edilmesinde kullanılır. 12.5 mm'den başlayan oluk açıklıkları 12.5 mm'lik artışlarla 100 mm ye kadar ayarlanabilir.



Fotoğraf 4.6. Numune bölücü (bölgeç) (www.utest.com.tr)

BÖLÜM V

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kayaçların kırılabilirliğinin tanımlanması ve yorumlanması farklı açılardan değerlendirilebilmektedir. Ancak kırılabilirlik bir malzeme davranışı olarak düşünüldüğünde, gevrek malzemelerin daha kırılabilir, sünek malzemelerin ise daha az kırılabilir olduğunu söylemek mümkündür (Köken vd., 2017). Meng vd. (2015) çalışmalarında kırılabilirliğin kestiriminde kullanılan dayanım indeks değişimlerinin fiziksel anlamda kırılabilirliği ifade etmediğini, aksine bu indekslerin mekanik değişimler olarak yorumlanması gerektiğini vurgulamıştır.

Köken vd. (2017) kaya malzemesinin parçalanabilirliğinin niceliksel olarak tanımlanmasını sağlayan bir sınıflama sistemi önermiş, bu sistemin kırma-eleme tesislerine uygun çeneli kırıcı seçiminde, agregaların aşınma ve parçalanma özelliklerinin kestiriminde kullanılabileceğini belirtmiştir. Yapılan bu çalışma ile, ülkemizin çeşitli bölgelerinden temin edilen 12 farklı kaya türü (Kireçtaşı, kumtaşı, marn, bazalt, andezit, tüf gibi) üzerinde çeşitli kaya mekaniği ve agrega deneyleri gerçekleştirilerek kayaçların kırılabilirlikleri farklı yaklaşımlarla değerlendirilmiş ve agrega darbe dayanım deneyi (AIV) ile S_{20} deneyi arasında anlamlı bir ilişki ($R^2=0,74$) ortaya koymuştur.

Kahraman ve Toraman (2008) belirli tane boyutundaki (19 mm-9,52 mm) 500 gr agrega malzemesini belirli bir ağız açıklığına sahip çeneli kırıcıya besleyerek bir seri parçalanma indeks deneyleri gerçekleştirmiştir. Agregalarda meydana gelen parçalanmayı Parçalanma İndeksi (CI) olarak tanımlamış (9,52 mm'lik elekten geçen agrega miktarının toplam agrega miktarına oranı) CI ve Los Angeles Aşınma Direnci (LAA) arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ifade etmiştir.

Kahraman ve Toraman (2016) ülkemizdeki farklı bölgelerden 24 farklı kayaç üzerinde (Bazalt, granit, mermer, dolomit, kireçtaşı, kumtaşı gibi) CI değerinden UCS ve BTS değerleri arasında anlamlı ilişkiler ($R^2=0,85$ ve $R^2=0,80$) ortaya koymuştur. Bu sayede basit bir yöntem olan CI değerinden özellikle delme işlemlerinde ve standart testler için yeterli numunenin olmadığı durumlarda yararlanılabileceğini belirtmiştir.

Toraman vd. (2010), ülkemizdeki farklı bölgelerden 24 farklı kayaç üzerinde (Bazalt, granit, mermer, dolomit, kireçtaşı, kumtaşı gibi) darbe dayanım indeksi ile CI değeri arasında iyi bir ilişki ($R^2=0,67$) olduğunu, özellikle kayaçların porozite ve yoğunluğunun güçlü bir etkisi olduğunu tespit etmiştir.

Özdemir vd. (2015) Horst ve Bassarear iş indeksi ile kaya parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemiş, çalışma kapsamında kireçtaşı, dolomit ve traverten örnekleri üzerinde Horst ve Bassarear iş indeksi (standart değirmen ve eleklerle kolayca yapılabilir) ile mekanik özellikler arasında ilişki kurulmuş, en yüksek ilişkinin Vp (ultrasonik ses geçirgenliği) ile ($R^2=0,92$) olmak üzere, en düşük ilişkinin Shore sertliği ile ($R^2=0,41$) ve nokta yükleme dayanımı ($R^2=0,42$) arasında olduğu tespit edilmiş, özellikle çimento hammaddelerinin öğütülebilirliğinin belirlenmesinde Horst ve Bassarear iş indeksi testinin pratik olacağı ifade edilmiştir.

Teymen vd. (2011) kalsiyum karbonatlı kayaçların standart özelliklerini inceledikleri çalışmada, 14 adet örneğin (kireçtaşı, mermer ve traverten) eğilme dayanımı, Shore sertlik, nokta yük dayanımı ve Böhme aşınma dayanımı arasında ilişkileri irdelenmiş, en düşük ilişkinin Shore sertlik ve Böhme aşınma dayanımı arasında ($R^2=0,74$), en kuvvetli ilişkinin ise $R^2=0,89$ ile eğilme dayanımı ile Shore sertliği arasında olduğunu tespit etmiştir.

Çomaklı ve Çayırılı (2017), kayaç içerisindeki mineral özelliklerinin kayaçların kırılabilirliklerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, ülkemizdeki çeşitli bölgelerden temin edilmiş beş farklı kayaç (granodiyorit, mermer, bazalt, granit gibi) numunesinin kırılabilirlik özellikleri belirlenmiş, istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kayaçların kırılabilirlik indeksi (CI) ve tane boyutu (d_{50} , d_{80}) ile doku katsayısı (TC) değerleri arasında kuvvetli bir korelasyon ($R^2=0,89$) elde edilmiştir. Ayrıca, kayaçların sertliklerinin belirlenmesi amacı ile Schmidt sertlik değerleri (SH) belirlenmiş ve doku katsayısı değerleri ile arasındaki ilişki ($R^2=0,64$) ortaya çıkarılmıştır.

Çomaklı'nın (2018) Niğde bölgesi kalsitlerinin kazısında kollu galeri açma makinası kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada iki farklı firmaya ait 5 farklı üretim sahasından alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin 32.8-61.9 MPa arasında olduğu, elde edilen kazı hızının kalsit kazısı için ekonomik olup olmayacağının ancak

işletmelerde hali hazırda kullanılan delme patlatma yönteminin maliyet analizinin yapılmasıyla mümkün olacağı ifade edilmiştir.

Kıyıldı'nın (2019) kireçtaşının karayolu inşaatına uygunluğunu araştırmak amacıyla yaptığı bir çalışmada Niğde-Başmakçı yöresindeki taş ocaklarından elde edilen kireçtaşı kayaçlarından alınan numunelerin mühendislik özellikleri incelenmiş, kayaçların başlıca mühendislik özellikleri olan mineralojik yapı, basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, yüzey sertliği, birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik sonuçlara göre bir değerlendirme yapılmıştır. Başmakçı Formasyonuna ait dolomitize kireçtaşlarının 83.6 MPa (852.5 kg/cm²) ile "orta dirençli kaya" sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu sınıflandırmada 83.6 MPa ile Başmakçı kireçtaşı sağlam veya çok sağlam kaya sınıfında yer almaktadır. Bu özellikleri ile "Tabi Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları" (TS 699) "Beton Agregaları" (TS 706) ve TCK Fenni Şartnamesinde (2013) aranan özelliklere uygun olduğundan çalışma kapsamı içerisindeki Başmakçı kireçtaşından elde edilen agregaların, alt temel malzemesi, asfalt mıcır, beton agregası ve yapı malzemesi olarak kullanılabilieceği sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM VI

MATERYAL VE METOT

6.1 Materyal

Laboratuvar testlerinde kullanılan kireçtaşı örnekleri (Çizelge 6.1)(6 adet) Niğde bölgesinde bulunan Niğtaş A.Ş. ve Orta Anadolu Madencilik A.Ş. firmalarından ve bölgedeki diğer sahalardan 20'şer kg temin edilerek Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiştir (Fotoğraf 6.1). Numuneler üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler ve kodları

Numune No	Numune Menşei	Menşei/Türü
KK-03	Orta Anadolu Madencilik A.Ş.	Niğde
KK-04	NİĞTAŞ A.Ş.	Bor Şeker Stok Numunesi
KK-05	NİĞTAŞ A.Ş.	Kalsit (68909)
KK-06	NİĞTAŞ A.Ş.	Kalker
KK-07	Niğde Bölgesi	Kayseri Siyah Kireçtaşı
KK-08	Niğde Bölgesi	Koyu Kalker

Çizelge 6.2. Numunelere ait kimyasal analiz sonuçları

İçerik	KK-03	KK-04	KK-05	KK-06	KK-07	KK-08
CaO	%59,277	%57,508	%57,953	%59,506	%57,265	%58,434
SiO ₂	%0,183	%0,592	%0,224	%0,08	%0,215	%0,134
Al ₂ O ₃	%0,043	%0,1	%0,033	%0,013	%0,077	%0,031
Fe ₂ O ₃	%0,036	%0,072	%0,037	%0,024	%0,095	%0,043
MgO	%0,42	%0,669	%0,705	%0,347	%0,267	%0,272
Na ₂ O	-	%0,015	%0,011	-	-	-
K ₂ O	-	%0,009	-	-	%0,015	%0,01
P ₂ O ₅	%0,008	%0,007	%0,009	%0,003	%0,002	%0,011
SO ₃	%0,005	%0,007	%0,006	%0,006	%0,019	%0,017
SrO	%0,029	%0,019	%0,023	%0,021	%0,024	%0,029
LOI	%39,885	%40,862	%40,681	%39,583	%41,448	%40,367

Numunelere ait kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde; %57-59 CaO, %0,08-0,59 SiO₂, %0,01-0,1 Al₂O₃, %0,02-%0,09 Fe₂O₃, %0,26-0,70 MgO ve %39,5-41,4 arasında kızdırma kaybı (LOI) içerdiği anlaşılmaktadır.



Fotoğraf 6.1. Laboratuvara getirilen numunelerden görünüm

6.2 Metot

6.2.1 Kırılabilirlik testi (CI)

Kırılabilirlik deneyi; kırma ve eleme proseslerinin birleştirilmesiyle oluşan, laboratuvar tipi çeneli kırıcı (Fotoğraf 6.2) vasıtası ile yapılan bir deneydir. Kullanılan çeneli kırıcının çene açıklığı (8-12 mm) ve boyutuna göre belirlenen numune (500 g)(-19+9,52 mm) kırıcıya beslenir. Kırıcıya beslemeden önce numune 110°C’de 48 saat kurutulur. Kırılmış malzemeden alınan 100 gr’lık numune 9,50 mm’lik elekten geçirilir. Elek altı oranının incelenmesi ile numunenin kırılabilirliği değerlendirilmiş olur (Eşitlik 6.1) (Kahraman vd., 2018).

$$CI (\%) = \frac{[-9,52 \text{ cm elek altı (EA) miktarı (gr) / Deneyde kullanılan numune miktarı (gr)]}{100} \times 100 \quad (6.1)$$

Deneylerde kullanılan laboratuvar tipi çeneli kırıcının teknik özellikleri şu şekildedir:
Retsch Modeli Yüksek Kapasiteli Yüksek Mukavemetli Mangan Alaşımli Döküm Çeneler

- Boksit, şamot, cevher, tas, kum, kuvars, kireç taşı, mermer, klinker, kok, kömür, uranyum cevheri, ferro alaşımlar, cüruf, silikat, çimento klinkeri ve benzeri sert, orta sertlikte ve çabuk kuruyan inorganik maddeleri kırmak suretiyle küçültür.
- 200*400 mm ebatlarında mangan çeneler
- 1 mm-130 mm arası numuneleri kırar.
- Çene ebadı 200x400 mm ve özel alaşımlı mangan çelikten yapılmıştır.
- Çene açıklığı ayarlanabilir
- Saatte kırma kapasitesi: 150-350 kg/saat
- Besleme haznesi 200 mmx200 mm ebatlarında olup 130 mm'ye kadar olan numuneleri test edebilir özelliğindedir.
- Makine gövdesi takviyeli çelik konstrüksiyondur.
- Çeneler sert ve aşınmaya mukavim Mn'lı çelik dökümdür.
- Redüksiyon: Motor, çift kayış hareket sistemlidir.
- Yataklar ağır hizmet tipi rulmanlıdır.
- Motor: 4 HP, 380 V, 50 Hz
- Ağırlık: 480 kg
- Rantek Marka



Fotoğraf 6.2. Laboratuvar tipi çeneli kırıcı

6.2.2 Darbe dayanım testi

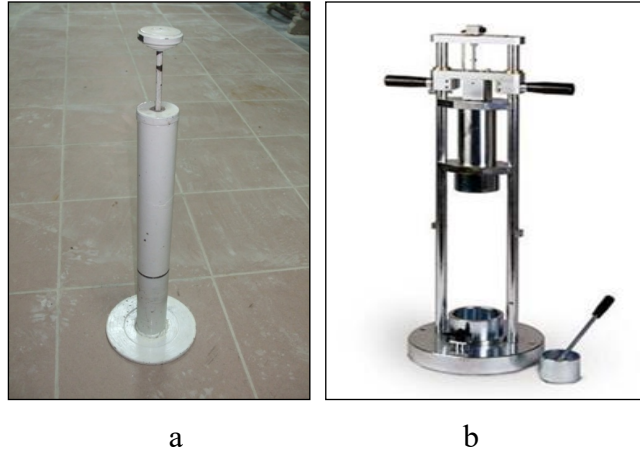
Darbe dayanım test aparatı (Fotoğraf 6.3a) 4,23 cm'lik çapa sahip içi boş bir dikey çelik silindirden (1,8 kg) oluşmakta ve test sırasında numuneler kırma işleminden geçirilerek

-9,50+3,15 mm aralığına getirilir ve 100 gram numune alınır. Test cihazının içine numune koyularak piston üst üste üzerine serbestçe 20 kez bırakılır. Test cihazından boşaltılan numune 3,15 mm'lik elekten geçirilir ve elek üstü (EÜ) oranları incelenerek numunenin darbe dayanımına karşı gösterdiği direnç ile ilgili yorum yapılır (Eşitlik 6.2). Test her bir numune için üç kez tekrarlanmıştır.

$$ISI (\%) = [+3,15 \text{ mm elek üstü (EÜ) miktarı (gr)} / \text{Deneyde kullanılan numune miktarı (gr)}] \times 100 \quad (6.2)$$

Çeneli kırıcı ile kırılıp -25 mm altına indirilen agregalardan 14-10 mm aralığında 100 gr numune tartılıp “agrega” darbe dayanım test aletine (Fotoğraf 6.3b) aktarılır. Agreganın darbeye karşı mukavemetini öğrenmek için, silindir hazne içine koyulan numunenin üzerine 30.48 cm yükseklikten düşürülen tokmak 20 defa tekrarlanarak numune üzerine çarpma ile kuvvet uygular. Ezilen malzeme 2,36 mm'lik elekten elenerek elek altı (EA) malzeme tartılır, tartılan malzeme ağırlığının toplam malzeme ağırlığına oranlanması ile agrega dayanım indeksi değeri elde edilmiş olur (Eşitlik 6.3). Test her bir numune için üç kez tekrarlanmıştır.

$$AIV (\%) = [-2,36 \text{ mm elek üstü (EA) miktarı (gr)} / \text{Deneyde kullanılan numune miktarı (gr)}] \times 100 \quad (6.3)$$

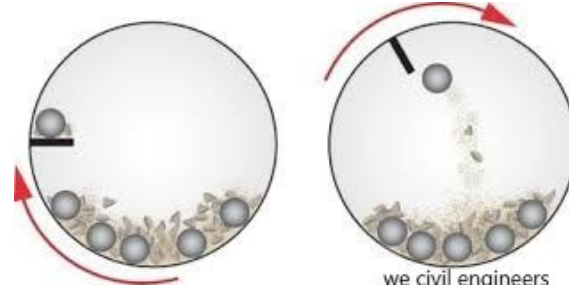


Fotoğraf 6.3. Darbe dayanım test (ISI) aparatı (a) ve AIV test cihazı (b)

6.2.3 Los Angeles darbe aşınma testi

Deney için gerekli numuneler, TS EN 1097-2 Temmuz 2010'da belirtilen esaslar dikkate alınarak toplam 5000 gr (-14+12,5 mm tane aralığında 2500 gr ve -12,5+10 mm tane aralığında 2500 gr) olarak hazırlanmıştır.

Los Angeles deneyi bilya hareketleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Los Angeles deneyi bilya hareketleri

Toplam 11 adet küresel çelik bilye (toplam ağırlığı 4800 gr) kullanılarak ve 500 devirde gerçekleştirilen testler sonucunda, elde edilen malzeme 1,6 mm kare gözlü elekten elenmiştir. Elek üstünde kalan miktar (m) aşağıda verilen eşitlikte yerine konularak Los Angeles Aşınma Kaybı değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 6.4).

$$LA (\%) = (5000 - m) / 50 \quad (6.4)$$

Fotoğraf 6.4’te Los Angeles tamburu ve deneylerde kullanılan örnek test numuneleri gösterilmiştir.



a



b

Fotoğraf 6.4. Los Angeles aşınma tamburu (a) ve deneylerde kullanılan test numunesi (b)

6.2.4 Tek eksenli basınç dayanımı

Portatif karotiyer (Fotoğraf 6.5a), 25-162 mm arasında standart delik çaplarında karot alma, Yumuşak kalkışlı, yüklemeyi gösteren LED ışık özelliği, mekanik emniyet dişlisi, üç devirli (600/1400/3000 d/d), 2500 Watt güç, 22-230 Volt ve Strok 630 mm'dir.

Karotiyer uçların pürüzsüz hale getirilmesine uygun Alman yapımı karot kesme-düzeltilme cihazı ise Fotoğraf 6.5b'de verilmiştir.

TS 699'da belirtilen prosedürlere göre gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanım testlerinin gerçekleştirildiği cihaz Fotoğraf 6.6'da verilmektedir.



a



b

Fotoğraf 6.5. Portatif karotiyer (a) ve karot kesme-düzeltilme cihazı (b)



Fotoğraf 6.6. Tek eksenli basınç dayanım cihazı

6.2.5 Öğütme testleri

Öğütme testleri laboratuvar ölçekli yatay bilyalı değirmen gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 6.7).



Fotoğraf 6.7. Deneyleerde kullanılan bilyalı değirmen

Öğütme deney şartları ise Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Öğütme deney şartları

D deney şartları	Değer
Numune miktarı (gr)	1500
Bilya miktarı (gr)	5000
Bilya boyutu (mm)	(42-35-28-19-17-14)
Bilya şarjı (%)	35
Değirmen dönüş hızı (dev/dak)	80
Öğütme süresi (dak)	15
Otomatik eleme süresi (dak)	5

6.2.6 Diğer yardımcı ekipmanlar

Fotoğraf 6.8’de deneysel çalışmalarda kullanılan yardımcı ekipmanlar gösterilmiştir.



a

b

c



d



e

Fotoğraf 6.8. Numune bölücü (a) elek serisi (b) elek sarsma cihazı (c) etüv (d) terazi (e)

BÖLÜM VII

BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1 Darbe Dayanım Testi (ISI) Sonuçları

Darbe direnci, darbelenme değeri, parçalanma direnci olarak da ifade edilen darbe dayanım testleri (ISI), 6 farklı numune için yapılan darbe dayanım testleri için hazırlanan örnekler (a) ve test sonrası elde edilen ürünler (b) Fotoğraf 7.1’de gösterilmektedir.



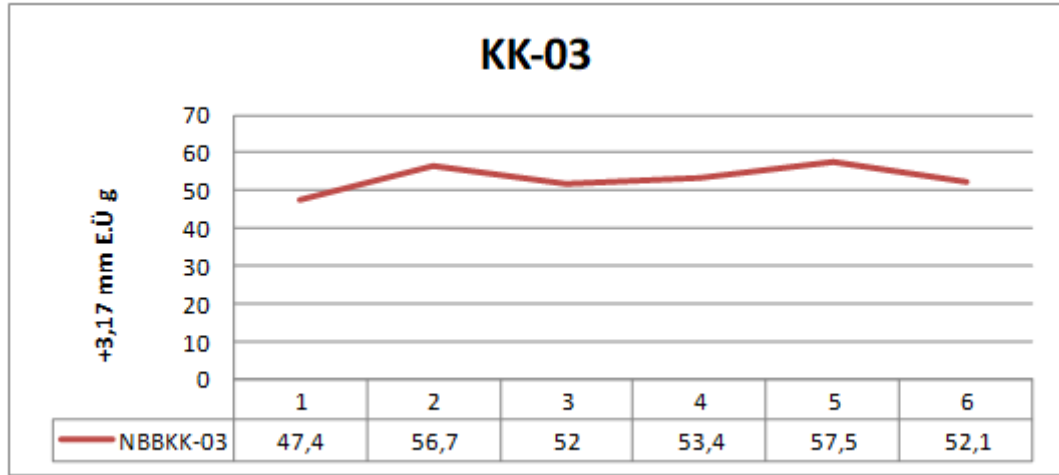
Fotoğraf 7.1. Darbe dayanım test örnekleri ve tartım işlemleri

Test sonrası 3,17 mm elek üstü miktarları tartılarak Eşitlik 6.2 yardımıyla ISI değerleri hesaplanmıştır. Her bir numune için 6 adet deneme yapılmış ve ortalamaları hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmalarda elde edilen KK-03 nolu örneğe ait dayanım değerleri Çizelge 7.1’de grafiği ise Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Daha önce belirtilen Çizelge 4.3’e göre ISI değeri 60-40 arasında olup “Sert” kayaç sınıfındadır. Bu numunenin standart sapması %3,66 ve ortalama ISI değeri ise $53,2 \pm 1.94$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1. KK-03 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları

Numune no		+3,17 mm EÜ (g)	+3,17 mm EÜ (%)	ISI Değeri (Ort)	Kayaç Sınıfı
KK-03	1	47,4	47,4	53,2	Sert
	2	56,7	56,7		
	3	52,0	52,0		
	4	53,4	53,4		
	5	57,5	57,5		
	6	52,1	52,1		
	Ort	53,2	53,2		



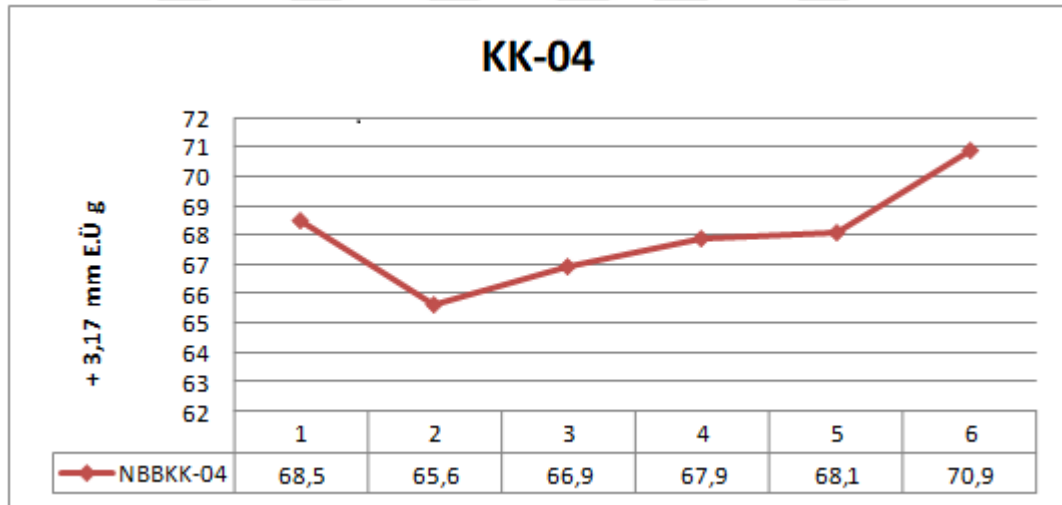
Şekil 7.1. KK-03 kayaç örneği darbe dayanım grafiği (ISI) sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen KK-04 nolu örneğe ait dayanım değerleri Çizelge 7.2’de grafiği ise Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Daha önce belirtilen Çizelge 4.3’e göre ISI

değeri 75-60 arasında olup “Çok Sert” kayaç sınıfındadır. Bu numunenin standart sapması %3,66 ve ortalama ISI değeri ise $67,9 \pm 2.48$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.2. KK-04 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları

Numune no		+3,17 mm EÜ (g)	+3,17 mm EÜ (%)	ISI Değeri (Ort)	Kayaç Sınıfı
KK-04	1	68,5	68,5	67,9	Çok Sert
	2	65,6	65,6		
	3	66,9	66,9		
	4	67,9	67,9		
	5	68,1	68,1		
	6	70,9	70,9		
	Ort	67,9	67,9		



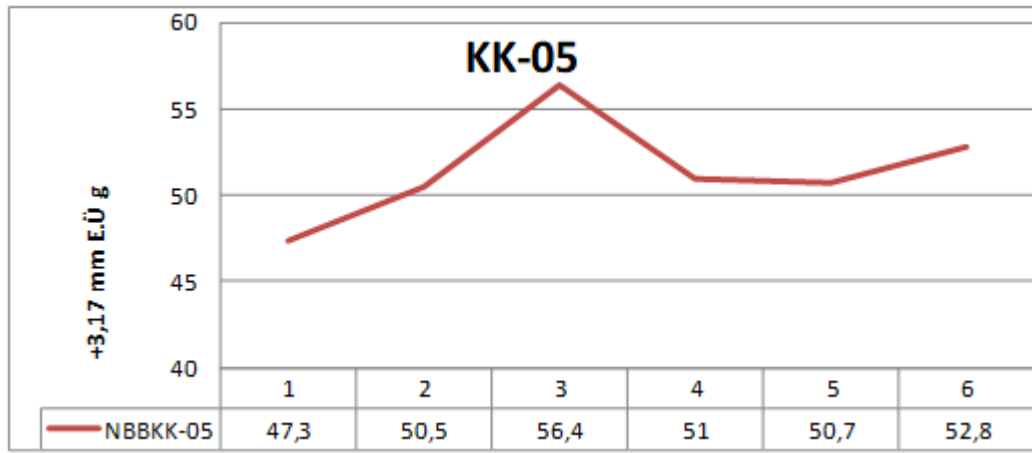
Şekil 7.2. KK-04 kayaç örneği darbe dayanım grafiği (ISI) sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen KK-05 nolu örneğe ait dayanım değerleri Çizelge 7.3’de grafiği ise Şekil 7.3’de gösterilmiştir. Daha önce belirtilen Çizelge 4.3’e göre ISI

değeri 60-40 arasında olup “Sert” kayaç sınıfındadır. Bu numunenin standart sapması %3,00 ve ortalama ISI değeri ise $51,4 \pm 1,54$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.3. KK-05 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları

Numune no		+3,17 mm EÜ (g)	+3,17 mm EÜ (%)	ISI Değeri (Ort)	Kayaç Sınıfı
KK-05	1	47,3	47,3	51,4	Sert
	2	50,5	50,5		
	3	56,4	56,4		
	4	51,0	51,0		
	5	50,7	50,7		
	6	52,8	52,8		
	Ort	51,4	51,4		



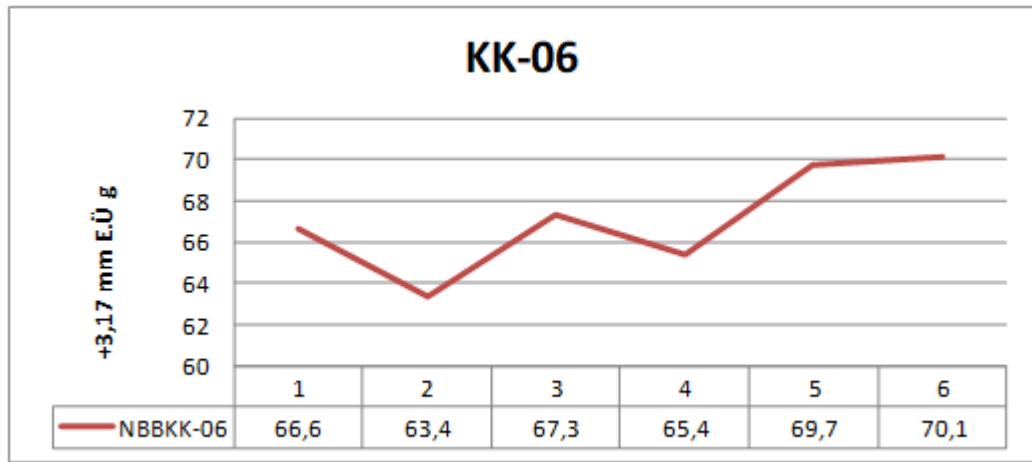
Şekil 7.3. KK-05 kayaç örneği darbe dayanım grafiği (ISI) sonuçları

DeneySEL çalışmalarda elde edilen KK-06 nolu örneğe ait dayanım değerleri Çizelge 7.4’de grafiği ise Şekil 7.4’de gösterilmiştir. Daha önce belirtilen Çizelge 4.3’e göre ISI

değeri 75-60 arasında olup “Çok Sert” kayaç sınıfındadır. Bu numunenin standart sapması %2,55 ve ortalama ISI değeri ise $67,1 \pm 1,71$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.4. KK-06 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları

Numune no		+3,17 mm EÜ (g)	+3,17 mm EÜ (%)	ISI Değeri (Ort)	Kayaç Sınıfı
KK-06	1	66,6	66,6	67,1	Çok Sert
	2	63,4	63,4		
	3	67,3	67,3		
	4	65,4	65,4		
	5	69,7	69,7		
	6	70,1	70,1		
	Ort	67,1	67,1		



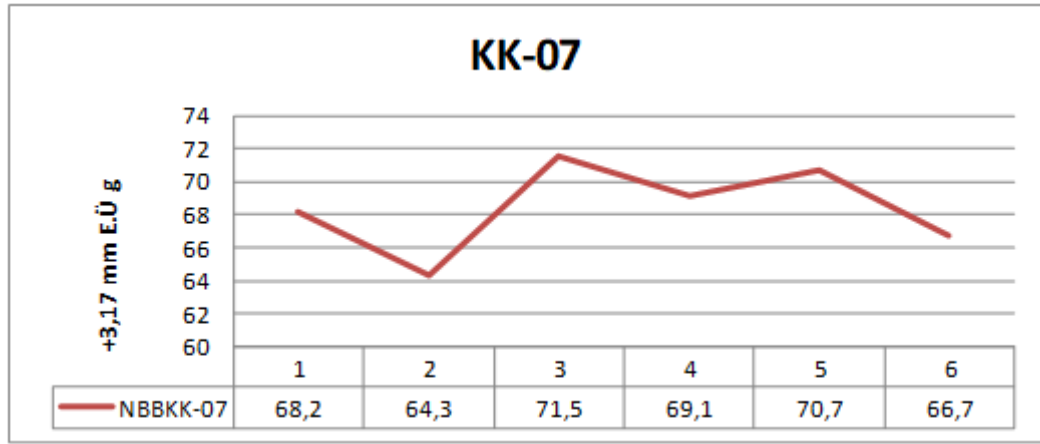
Şekil 7.4. KK-06 kayaç örneği darbe dayanım grafiği (ISI) sonuçları

DeneySEL çalışmalarda elde edilen KK-07 nolu örneğe ait dayanım değerleri Çizelge 7.5’de grafiği ise Şekil 7.5’de gösterilmiştir. Daha önce belirtilen Çizelge 4.3’e göre ISI

değeri 75-60 arasında olup “Çok Sert” kayaç sınıfındadır. Bu numunenin standart sapması %2,65 ve ortalama ISI değeri ise $68,4 \pm 1,81$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.5. KK-07 kayaç örneği darbe dayanım değeri (ISI) sonuçları

Numune no		+3,17 mm EÜ (g)	+3,17 mm EÜ (%)	ISI Değeri (Ort)	Kayaç Sınıfı
KK-07	1	68,2	68,2	68,4	Çok Sert
	2	64,3	64,3		
	3	71,5	71,5		
	4	69,1	69,1		
	5	70,7	70,7		
	6	66,7	66,7		
	Ort	68,4	68,4		



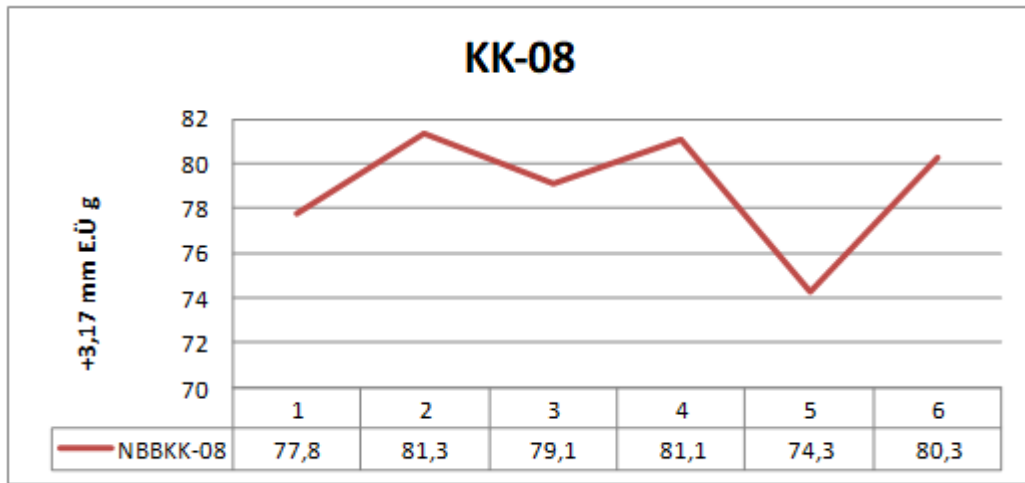
Şekil 7.5. KK-07 kayaç örneği darbe dayanım grafiği (ISI) sonuçları

DeneySEL çalışmalarda elde edilen KK-08 nolu örneğe ait dayanım değerleri Çizelge 7.6’de grafiği ise Şekil 7.6’de gösterilmiştir. Daha önce belirtilen Çizelge 4.3’e göre ISI

değeri >75 olup “Çok Çok Sert” kayaç sınıfındadır. Bu numunenin standart sapması %2,64 ve ortalama ISI değeri ise $78,9 \pm 2,08$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.6. KK-08 kayaç örneği darbe dayanım değerleri

Numune no		+3,17 mm EÜ (g)	+3,17 mm EÜ (%)	ISI Değeri (Ort)	Kayaç Sınıfı
KK-08	1	77,8	77,8	78,9	Çok Çok Sert
	2	81,3	81,3		
	3	79,1	79,1		
	4	81,1	81,1		
	5	74,3	74,3		
	6	80,3	80,3		
	Ort	78,9	78,9		



Şekil 7.6. KK-08 kayaç örneği darbe dayanım grafiği (ISI) sonuçları

7.2 Agrega Darbe Dayanım Testi (AIV) Sonuçları

Test sonrası 2,36 mm elek üstü ve elek altı miktarları tartılarak Eşitlik 6.3 yardımıyla AIV değerleri hesaplanmıştır. Her bir numune için 3 adet deneme yapılmış ve ortalamaları hesaplanmıştır.



Fotoğraf 7.2. AIV test işlemlerinden görünüm

Agrega darbe dayanım değerleri (AIV) Çizelge 7.7’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.7 ayrıntılı olarak incelendiğinde, daha evvel Çizelge 4.3’te belirtilen kaya malzemesi AIV parçalanabilirlik sınıflaması tablosuna göre; KK-03, KK-04, KK-05 ve KK-06 örneklerinin AIV parçalanabilirlikleri düşük (zor kırılabilir), KK-07 ve KK-08 nolu örneklerin ise AIV parçalanabilirlikleri oldukça düşük (çok zor kırılabilir) olduğu görülmektedir. Çizelge 4.6’ya göre BS812-112 sınıflamasına göre bütün örnekler aşınmaya maruz beton, yüzey kaplama ve diğer betonlar için kullanılabilir agregası sınıfında yer almaktadır. Çizelge 7.8’de AIV toplu sonuçları standart sapma değerleri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 7.7. Agrega darbe dayanım değerleri (AIV)

Numune no	Numune miktarı		+2,36 mm EÜ (g)	-2,36 mm EÜ (%)	-2,36 mm EA (%)	AIV Değeri	Parçalanabilirlik
KK-03	1	620 gr	483,1	77,92	32,08	32,08	Düşük
	2	620 gr	504,3	81,33	18,67	18,67	
	3	620 gr	490,7	79,14	20,86	20,86	
	Ort		492,7	79,46	20,54	20,54	
KK-04	1	625 gr	497,4	79,58	20,52	20,42	Düşük
	2	625 gr	492,6	78,81	21,19	21,19	
	3	625 gr	494,1	79,06	20,94	20,94	
	Ort		494,7	79,15	20,85	20,85	
KK-05	1	640 gr	494,5	77,26	22,74	22,74	Düşük
	2	640 gr	547,1	85,48	14,52	14,52	
	3	640 gr	520,6	81,34	18,66	18,66	
	Ort		520,7	81,36	18,64	18,64	
KK-06	1	650 gr	522,4	80,37	19,63	19,63	Düşük
	2	650 gr	525,3	80,81	19,19	19,19	
	3	650 gr	524,8	80,73	19,27	19,27	
	Ort		524,1	80,64	19,36	19,36	
KK-07	1	700 gr	632,0	90,28	9,72	9,72	Oldukça Düşük
	2	700 gr	637,5	91,07	8,93	8,93	
	3	700 gr	633,4	90,48	9,52	9,52	
	Ort		634,3	90,61	9,39	9,39	
KK-08	1	707 gr	634,0	89,67	10,33	10,33	Oldukça Düşük
	2	707 gr	632,3	88,11	11,89	11,89	
	3	707 gr	633,8	89,64	10,36	10,36	
	Ort		633,3	89,58	10,42	10,42	

Çizelge 7.8. AIV toplu sonuçları (standart sapma değerleri ile birlikte)

Numune no	AIV değeri	Standart Sapma (%)	Ortalama AIV Değerleri
KK-03	20,54	2,41	20,54 ± 3,04
KK-04	20,85	0,54	20,85 ± 0,70
KK-05	18,64	5,95	18,64 ± 6,19
KK-06	19,36	0,32	19,36 ± 0,33
KK-07	9,39	0,55	9,39 ± 0,35
KK-08	10,42	1,17	10,42 ± 0,09

Çizelge 7.9’da ise ISI ve AIV toplu sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.9. ISI ve AIV toplu sonuçları

Numune No	ISI Değeri	ISI Kayaç Sınıfı	AIV Değeri	Parçalanabilirlik
KK-03	53,2	Sert	20,54	Düşük (Zor Kırılır)
KK-04	67,9	Çok Sert	20,85	Düşük (Zor Kırılır)
KK-05	51,4	Sert	18,64	Düşük (Zor Kırılır)
KK-06	67,1	Çok Sert	19,36	Düşük (Zor Kırılır)
KK-07	68,4	Çok Sert	9,39	Oldukça Düşük (Çok Zor Kırılır)
KK-08	78,9	Çok Çok Sert	10,42	Oldukça Düşük (Çok Zor Kırılır)

Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde; ISI değerlerine göre, KK-03 ve KK-05’in “Sert”, KK-04, KK-06 ve KK-07’nin “Çok Sert” ve KK-08’in de “Çok Çok Sert” kayaç sınıfında olduğu, AIV değerlerine göre ise KK-03, KK-04, KK-05 ve KK-06’nın zor kırılır ve KK-07 ve KK-08’in ise çok zor kırılır kayaç türü olduğu anlaşılmaktadır.

7.3 Los Angeles Aşınma Testleri

Niğtaş A.Ş.'ye ait kalsit örneklerinin Eşitlik 6.4 yardımıyla hesaplanan Los Angeles aşınma kaybı miktarları Çizelge 7.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.10. Niğtaş A.Ş.'ye ait kalsit örneklerinin Los Angeles aşınma kaybı miktarları

Deney	Numune no		
	KK-04	KK-05	KK-06
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	44.6 ± 0,8	52.2	28.0
Kategorisi değeri (TS 706 EN 12620)	LA ₅₀	LA ₅₂	LA ₃₀

Çizelge 7.10 incelendiğinde ilk iki numuneye ait Los Angeles aşınma değerlerinin, belirtilen sınır değerlerden yüksek olduğu görülmektedir.

Bölgemizde önemli karbonatlı kayaç oluşumları bulunmakta, özellikle çeşitli endüstrilerde ve inşaat sektöründe agrega (kırmataş) olarak kullanım alanı bulmaktadır. Uygulamada özellikle dayanım, aşınma, sertlik, kırılabilirlik gibi bazı kayaç özelliklerinin standart değerlerde elde edilmesi öne çıkmaktadır. Örneğin; agrega olarak kullanılacak bu tür kayaçlarda Los Angeles aşınma değerinin en çok %30 olması istenmektedir.

Niğtaş A.Ş. kalsit kayaç örnekleri (KK-04 ver KK-05) iri boyutlu kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Söz konusu iri kalsit kristallerinin darbe etkilerine karşı direnci düşüktür. Yetkililer tarafından beyan edilen %25 Los Angeles aşınma değeri ancak mikritik (ince kristalli) yapıya sahip kireçtaşları ya da sertlik değeri yüksek minerallerden oluşan magmatik kökenli kayaçlardan elde edilebilir.

NİĞTAŞ A.Ş. kalker örneği (KK-06) makroskobik olarak incelendiğinde, mikritik yapıya sahip olduğu söylenebilir. Söz konusu yapı arz eden kireçtaşları darbe etkilerine karşı dirençli sınıfta yer alır. Ortalama %28 aşınma kaybına sahip olan söz konusu kalker örneğinin Los Angeles aşınma kaybı deneyi açısından kullanımında bir sakınca görülmemektedir.

7.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Testleri

Deney numunelerinin, TS 699’da belirtilen prosedürlere göre gerçekleştirilen testler sonucunda belirlenen tek eksenli basınç dayanım değerleri Çizelge 7.11’da verilmiştir. Niğtaş A.Ş. yetkilileri tarafından kayacın kullanıldığı yere bağlı olarak alt sınır değer 200 kg/cm² olarak belirtilmiştir.

Ortalama test sonuçlarına göre iki numunede (KK-04 ve KK-05) belirtilen sınır değerlerden daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı değerine sahiptir. Kalker numunesi (KK-06) ise firma tarafından belirtilen sınır değerlerden çok daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı değerine sahiptir.

Çizelge 7.11. Niğtaş A.Ş. kalsit örneklerinin tek eksenli basınç dayanım değerleri (kg/cm²)

Numune No	KK-04	KK-05	KK-06
1	283.3	381.1	545.1
2	291.2	284.0	681.7
3	293.6	260.5	605.4
4	259.1	275.3	637.9
Ortalama Değer	281,8 ± 15,7	300,2 ± 54,8	617.5 ± 57,5

Atıcı’nın (2016) Niğde-Gümüşler kalsitinin fiziko-mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla yapmış olduğu çalışmada bölgedeki örnekler üzerinde yapılan tek eksenli basma dayanımının 76,1 MPa olduğu (776 kg/cm²) (“orta dirençli”) ve bunun Niğtaş A.Ş. kalsit örneklerinin tek eksenli basınç dayanım değerleri ile kıyaslandığında KK-06 nolu örneğin ort. 617,5 kg/cm² ile bu değere yaklaştığı ancak diğer iki örneğin (KK-04 ve KK-05) ~300 kg/cm² ile düşük dayanım gösterdiği anlaşılmaktadır. Çizelge 4.10’a göre KK-04 ve KK-05 “düşük dirençli” ve K-06’nın ise “orta dirençli” kaya sınıfında yer aldığı görülmektedir. Böylelikle bu çalışmamızda elde edilen dayanım değerleri ile yaklaşık uyum içinde olduğu anlaşılmaktadır.

Çomaklı’nın (2018) Niğde bölgesi kalsitlerinin kazısında kollu galeri açma makinası kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada iki farklı firmaya ait 5 farklı üretim sahasından

alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin 32.8-61.9 MPa arasında olduğu ve Çizelge 4.10'a göre "düşük ve orta dirençli" kaya sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu sonuçların çalışmamızda elde edilen dayanım değerleri ile yaklaşık uyum içinde olduğu anlaşılmaktadır.

Bir malzemenin karayolu inşaatına uygunluğunu belirlemek için, malzemenin mühendislik özellikleri araştırılarak, malzeme üzerinde çeşitli kalite kontrol deneyleri yapılmalıdır. Söz konusu analizlerin uygulanması karayolunun yüksek standartlarda uzun yıllar hizmet verebilmesinin sağlanması bakımından son derece önemlidir. Kıyıldı'nın (2019) kireçtaşının karayolu inşaatına uygunluğunu araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada; Niğde/Başmakçı Formasyonuna ait dolomitize kireçtaşlarının 83.6 MPa (852.5 kg/cm²) ile "orta dirençli" kaya sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu sonuçların çalışmamızda elde edilen dayanım değerleri ile yaklaşık uyum içinde olduğu anlaşılmaktadır.

7.5 Kırma Testleri

Örneklerin kırılabilirlik deney sonuçları ve Eşitlik 6.1'e göre hesaplanan indeks değerleri (CI) Çizelge 7.12 ve Çizelge 13'de verilmiştir.

Çizelge 7.12. Örneklerin kırıcıdan geçtikten sonraki elek altı ve elek üstü sonuçları

Numune no	Kullanılan numune miktarı (gr)	+9,52 mm (gr)	-9,52 mm (gr)
KK-03	517,91	407,80	110,08
KK-04	500,36	455,84	44,40
KK-05	521,00	421,25	99,57
KK-06	500,25	447,60	52,58
KK-07	510,77	435,66	74,81
KK-08	511,82	385,62	125,39

Çizelge 7.13. Örneklerin kırılabilirlik indeks değerleri (CI)

Numune no	Kırılabilirlik değeri, <i>CI</i>
KK-03	21,25
KK-04	8,89
KK-05	19,11
KK-06	10,51
KK-07	14,64
KK-08	24,49

Çizelge 7.13 incelendiğinde; KK-04, K06 ve KK-07 en düşük CI değerine sahip olduğu dolayısıyla kolay kırılabilirdi ancak KK-03, KK-05 ve özellikle KK-08'in benzer CI değerlerine sahip olduğu ve nispeten daha zor kırılabilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. Daha önceki bölümlerde Çizelge 4.1'de bazı kayaların CI değerleri ile kıyaslandığında (bazalt ve granit gibi) (Çomaklı ve Çayırılı, 2017) buradaki kireçtaşı, kalsit ve kalker örneklerinin kırılabilirlik değerlerinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

7.6 Öğütme Testleri (Öğütülebilirlik)

Öğütme deneyleri sonrası ürün elek analiz sonuçları (toplu) Çizelge 7.14'te toplu olarak verilmiştir. Yaklaşık 1500-1700 gr numunelerle yapılan 15 dak'lık öğütme koşullarında elde edilen 6 ürüne ait kümülatif (birikimli) elek altı ve elek üstü değerleri hesaplanarak tabloya aktarılmıştır.

Çizelge 7.14. Öğütme deneyleri sonrası ürün elek analiz sonuçları (toplu)

Numune no	Elek Açıklığı (mm)	Ağırlık		Kümülatif EÜ / EA	
		gr	%	EÜ (%)	EA (%)
KK-03	+2,36	47,0	3,15	3,15	100,00
	-2,36+1,70	57,6	3,86	7,01	96,85
	-1,70+0,425	548,1	36,71	43,72	92,99
	-0,425+0,300	157,4	10,54	54,26	56,28
	-0,300+0,150	280,6	18,79	73,05	45,74
	-0,150	402,2	26,95	100,00	26,95
	Toplam	1492,9	100,00		

(Devam)					
KK-04	+2,36	130,3	8,71	8,71	100,00
	-2,36+1,70	83,9	14,32	14,32	91,29
	-1,70+0,425	470,5	45,78	45,78	85,68
	-0,425+0,300	139,2	55,09	55,09	54,22
	-0,300+0,150	402,8	26,93	82,02	44,91
	-0,150	268,9	17,98	100,00	17,98
	Toplam	1495,6	100,00		
KK-05	+2,36	34,1	2,28	2,28	100,00
	-2,36+1,70	45,8	3,06	5,34	97,72
	-1,70+0,425	890,8	59,42	64,76	94,66
	-0,425+0,300	162,8	10,87	75,63	35,24
	-0,300+0,150	303,3	20,25	95,88	24,37
	-0,150	61,2	4,12	100,00	4,12
	Toplam	1497,8	100,0		
KK-06	+2,36	143,6	9,58	9,58	100,00
	-2,36+1,70	88,9	5,93	15,51	90,42
	-1,70+0,425	468,7	31,26	46,77	84,49
	-0,425+0,300	134,1	8,94	55,71	53,23
	-0,300+0,150	393,7	26,26	81,97	44,29
	-0,150	270,3	18,03	100,00	18,03
	Toplam	1499,2	100,00		
KK-07	+2,36	143,8	8,48	8,48	100,00
	-2,36+1,70	141,3	8,34	16,82	91,52
	-1,70+0,425	641,0	37,80	54,62	83,18
	-0,425+0,300	89,9	5,30	59,92	45,38
	-0,300+0,150	306,7	18,09	78,01	40,08
	-0,150	372,9	21,99	100,00	21,99
	Toplam	1695,6	100,00		
KK-08	+2,36	265,6	17,83	17,83	100,00
	-2,36+1,70	214,8	14,42	32,25	82,17
	-1,70+0,425	758,4	50,91	83,16	67,75
	-0,425+0,300	109,4	7,34	90,50	16,84
	-0,300+0,150	135,7	9,11	99,61	9,5
	-0,150	5,8	0,39	100,00	0,39
	Toplam	1489,7	100,00		
Numune no	-0,425 mm (%)	d50 (Ort. tane iriliği)	d80		
KK-03	56,28	0,35 mm	1,24 mm		

(Devam)			
KK-04	54,22	0,36 mm	1,46 mm
KK-05	35,24	0,59 mm	1,38 mm
KK-06	53,23	0,38 mm	1,51 mm
KK-07	45,38	0,53 mm	1,59 mm
KK-08	16,84	1,25 mm	2,26 mm

Çizelge 7.14 toplu olarak incelendiğinde; özellikle KK-05 ve KK-07 nolu örneklerin benzer öğünme davranışı gösterdiği, özellikle KK-08 nolu örneğin çok zor öğündüğü, bunun yanı sıra KK-03, KK-04 ve KK-06 nolu kayaç örneklerinin öğünmelerinin çok daha kolay gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Çizelge 7.15'te ise tüm deney sonuçları toplu bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 7.15. Tüm deney sonuçları

Numune No	ISI Kayaç Sınıfı	AIV Parçalanabilirlik	Kırılabilirlik değeri, CI	Öğütülebilirlik	Los Angeles Aşınma	Basınç Dayanımı
KK-03	Sert	Düşük (Zor Kırılır)	Orta	Kolay	-	-
KK-04	Çok Sert	Düşük (Zor Kırılır)	Çok düşük	Kolay	Aşınması yüksek	Düşük dirençli
KK-05	Sert	Düşük (Zor Kırılır)	Orta	Zor	Aşınması yüksek	Düşük dirençli
KK-06	Çok Sert	Düşük (Zor Kırılır)	Düşük	Kolay	Aşınması düşük	Orta dirençli
KK-07	Çok Sert	Oldukça Düşük (Çok Zor Kırılır)	Düşük	Nispeten kolay	-	-
KK-08	Çok Çok Sert	Oldukça Düşük (Çok Zor Kırılır)	Orta	Çok zor	-	-

BÖLÜM VIII

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar toplu olarak aşağıda verilmiştir:

1. Numunelere ait kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde; %57-59 CaO, %0,08-0,59 SiO₂, %0,01-0,1 Al₂O₃, %0,02-%0,09 Fe₂O₃, %0,26-0,70 MgO ve %39,5-41,4 arasında kızdırma kaybı (LOI) içerdiği anlaşılmaktadır.

2. ISI darbe dayanım değerlerine göre, KK-03 ve KK-05'in "Sert", KK-04, KK-06 ve KK07'nin "Çok Sert" ve KK-08'in de "Çok Çok Sert" kayaç sınıfında olduğu, AIV değerlerine göre ise KK-03, KK-04, KK-05 ve KK-06'nın zor kırılır ve KK-07 ve KK-08'in ise çok zor kırılır kayaç türü olduğu tespit edilmiştir.

3. AIV agrega darbe dayanım değerlerine göre, AIV parçalanabilirlik sınıflaması tablosuna göre; KK-03, KK-04, KK-05 ve KK-06 örneklerinin AIV parçalanabilirlikleri düşük (zor kırılabilir), KK-07 ve KK-08 nolu örneklerin ise AIV parçalanabilirlikleri oldukça düşük (çok zor kırılabilir) olduğu görülmektedir. BS812-112 sınıflamasına göre bütün örnekler aşınmaya maruz beton, yüzey kaplama ve diğer betonlar için kullanılabilir agrega sınıfında yer almıştır.

4. NİĞTAŞ A.Ş. kalsit kayaç örnekleri (KK-04 ve KK-05) iri boyutlu kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Söz konusu iri kalsit kristallerinin darbe etkilerine karşı direnci düşüktür. Yetkililer tarafından beyan edilen %25 Los Angeles aşınma değeri ancak mikritik (ince kristalli) yapıya sahip kireçtaşları ya da sertlik değeri yüksek minerallerden oluşan magmatik kökenli kayaçlardan elde edilebilir. NİĞTAŞ A.Ş. kalker örneği (KK-06) makroskobik olarak incelendiğinde, mikritik yapıya sahip olduğu söylenebilir. Söz konusu yapı arz eden kireçtaşları darbe etkilerine karşı dirençli sınıfta yer alır. Ortalama %28 aşınma kaybına sahip olan söz konusu kalker örneğinin Los Angeles aşınma kaybı deneyi açısından kullanımında bir sakınca görülmemektedir.

5. Ortalama test sonuçlarına göre iki numunede (KK-04 ve KK-05) belirtilen sınır değerden (200 kg/cm²) daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı değerine sahiptir ve

“düşük dirençli” kaya sınıfındadır. Kalker numunesi (KK-06) ise sınır değerlerden çok daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı değerine sahiptir ve “orta dirençli” kaya sınıfındadır.

6. K04, K06 ve KK-07 en düşük CI değerine sahip olduğu dolayısıyla kolay kırılabilirdi ancak KK03, KK05 ve özellikle KK-08’in benzer CI değerlerine sahip olduğu ve nispeten daha zor kırılabilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

7. KK-05 ve KK-07 nolu örneklerin benzer öğünme davranışı gösterdiği, özellikle KK-08 nolu örneğin çok zor öğündüğü, bunun yanı sıra KK-03, KK-04 ve KK-06 nolu kayaç örneklerinin öğünmelerinin çok daha kolay gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak; kayaçların dayanım, aşınma, parçalanabilirlik, kırılabilirlik, öğütülebilirlik vb. özellikleri kullanıldığı yerler açısından önem kazanmakta, buna göre aşınma ve kırılma-öğünme özelliklerinde farklılıklar sergileyebilmektedir.

KAYNAKLAR

Alp, S., “Kum, kil ve taş ocakları sektör raporu”, *İstanbul Ticaret Odası Bülteni*, İstanbul, 2004, 26 sayfa.

Atıcı, Ü., “Gümüşler (Niğde) kalsitlerinin fiziko-mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi”, *Niğde İli Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 20 Nisan, s.50-57, 2016.

Bayraktar, T.C., “Cevher hazırlamada zenginleştirme öncesi işlemler”, *İ.T.Ü. Yayını*, No: 992, İstanbul, 1974.

Bearman, R.A., Briggs, C.A. and Kojovic, T., “The application of rock mechanics parameters to the prediction of comminution behaviour”, *Minerals Engineering*, 109 (3), 255-264, 1997.

Bieniawski, Z.T., “Point load test in geotechnical practise”, *Engineering Geology*, 9T-11, 1975.

BS 812-112: Testing aggregates. Method for determination of aggregate impact value (AIV), *British Standard*, 1990.

Çağlayan M., Haberveren S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ., “Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş: İston”, *2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99*, İstanbul, s.69-79, 1999.

Çomaklı, R. ve Çayırılı, R., “Kayaç dokularındaki minerallerin bazı şekil özellikleri ile kayaç kırılabilirliği arasındaki ilişkinin incelenmesi”, *NÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:6, Sayı:2, s.670-680, 2017.

Çomaklı, R., “Niğde bölgesi kalsitlerinin kazısında kollu galeri açma makinesi kullanılabilirliğinin araştırılması”, *NÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:7, Sayı:2, s.828-837, 2018.

Dahl, F., The Suggested DRI, BWI, CLI Standards, *NTNU*, Angleggsdrift, Trondheim, Norway, 2003.

Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B. and Grov, E., “Classification of properties influencing the drillability of rock, based on the NTNU/SINTEF test method”, *Tunn. Undergr. Sp. Tech.*, 28, 150-158, 2012.

Deniz, V., Balta, G., and Yamık, A., “The interrelationship between Bond grindability of coals impact strength index, point load index and friability index”, Proceedings of the *6th Int.Min.Proc.Symp.*, Kışadası, p.15-19, 1996.

Deere, D.U. and Miller, R.P., “Engineering classification and index properties for intact rocks”, *Tech. Report. Air Force Weapons Lab.*, New Mexico, No. AFNL-TR, 65-116, 1966.

Erguvanlı, K., “Türkiye mermerleri ve inşaat taşları”, *İ.T.Ü. yayını*, İstanbul, 1955.

Esenli, V., “Kırmataş hammaddeleri ve standartları”, *1.Ulusal Kırmataş Sempozyumu’96*, s.1-18, İstanbul, 1996.

Halili, A., “Agrega üretiminde kırma-eleme ve taşın fiziko-mekanik özelliklerinin önemi”, *3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 3-4 Aralık 2003, s.185-189, İstanbul, 2003.

Harben, P.W., The Industrial Minerals Handy Book, Special Edition, A Guide to Market, *Specifications and Prices*, Ontario, pp.36-43, 1992.

Industrial Minerals, High Purity Limestone Quest. December, p.48-52, 2011.

Kahraman, S. and Toraman, O.Y., “Predicting Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from crushability index”, *Bull. Mat.Sci.*, 31(2), 173-177, 2008.

Kahraman, S. and Toraman, O.Y., “Estimating the rock strength from a crushability index”, *Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future*, 29-31 August, Cappadocia-Turkey, p.143-146, 2016.

Lefond, E.L., *Industrial Minerals and Rocks: US Bureau of Mines*, 1985.

Toraman, O.Y., Kahraman, S. ve Çayırılı, S., “Predicting the crushability of rocks from the impact strength index”, *Minerals Engineering*, 23, 752-754, 2010.

Karayolu Teknik Şartnamesi, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (Yol altyapısı, sanat yapıları, köprü ve tüneller, üstyapı ve çeşitleri), 2013.

Köken, E., Aydın, H. ve Özarlan, A., “S₂₀ kırılgenlik indeksinin kayaçların parçalanabilirliği açısından incelenmesi”, *6th Int. Congres of Mining Machinery and Technologies*, p.122-132, 18-21 October, İzmir-Turkey, 2017.

Leighton, M.W. and Pendexter, C., “Carbonate rock types”, in W.E.HAM (Editor), *Classification of Carbonate Rocks, American Assoc. Petrol. Geologists*, Mem., 1:33-61, 1962.

Meng, F., Zhou, H., Zhang, C., Xu, R., and Lu, J., “Evaluation methodology of brittleness of rock based on post-peak stres-strain curves”, *Rock Mech. Rock Eng.*, 48, 1787-1805, 2015.

Özdemir, E., Sarıcı, D.E. ve Korkmaz, A.A., “Horst ve Bassarear iş indeksi ile kaya parametreleri arasındaki ilişkinin araştırılması”, *9.Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, s.315-325, 14-15 Mayıs, İzmir-Türkiye, 2015.

Öztürk, Ö., Çelikel, M. ve Erkan, M., “Türkiye agrega sektör raporu”, *Hazır Beton*, Sayı. 84, Kasım, s.52-56, 2007.

Skillen, A., “Limestone and Dolomite, Raw materials for the Glass and Ceramics Industries” (Second Edition), s: 44-49, 1993.

Şengün, N., Umucu, Y., Altındağ, R., Deniz, V., Çayırılı, S. ve Oğuz, B., “Kayaçların aşınma indeks değerinin fiziko-mekanik özelliklerle olan etkileşimlerinin değerlendirilmesi”, *VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s.315-320, 2006.

Teymen, A., Kılıç, A. ve Türkmenoğlu, Z.F., “Kalsiyum karbonatlı kayaçların standart özelliklerinin incelenmesi”, *IMCET*, s.259-269, 2011.

TS 3526-Agrega Birim Ağırlığı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.

TS 706 EN 12620+A1, Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.

TS 699, Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri. *Türk Standartları Enstitüsü*, TSE, Ankara, 2009.

TS EN 1097-2 (İngilizce Metin), Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar (Los Angeles Deney Metodu), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., “Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri”, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları*, Yayın No: 58, 161 s., Ankara, 2001.

Yelken, F., “Belen-Topboğazı (Hatay) arası yol yapım çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2009.

Yılmaz, A.O. ve Arıoğlu, E., “Taşocağında üretim maliyetlerinin matematiksel modelinin oluşturulması ve örnek uygulama”, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Ed: A.E. Yüce, C. Kuzu, A. Güney ve M. Erdoğan, İstanbul, 265-276, 2006.

Yüce, E.A., “Çeşitli kireçtaşı örneklerinin demir çelik amaçlı kireç üretimine uygunluğunun araştırılması”, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları Genel Müdürlüğü adına yapılan Teknolojik Araştırma Projesi, 2001.

<http://www.eylullab.com/userfiles/agrega%20darbe%20deger.jpg> (Erişim: 24.05.2017)

<http://www.cwp.com.tr> (Erişim: 24.05.2017)

<http://www.rekmaksan.com> (Erişim: 24.05.2017)

<http://www.metesanmakina.com> (Erişim: 24.05.2017)

<http://www.ismakinalari.com> (Erişim: 24.05.2017)

<http://www.seytsamakina.com> (Erişim: 24.05.2017)

<http://www.muhendislikbilgileri.com> (Erişim: 24.05.2017)

<http://sutopya.com/dogal-taslar/aragonit/> (Erişim: 08.08.2019)

www.ortaanadolumadencilik.com.tr(Erişim:08.08.2019)

<http://www.sermaden.com/urunlerimiz/ceneli-kiricilar> (Erişim: 08.08.2019)

<https://kou.globalpiyasa.com/tr/urun/dolomit-tas-yurtkulu-enerji-madencilik-ins-ve/38880> (Erişim: 08.08.2019)

<http://tr.eoindustry.com/crusher/gyratory-crusher/px-gyratory-crusher.html> (Erişim: 08.08.2019)

<https://www.youtube.com/watch?v=wbStToV0Eyc> (Erişim: 08.08.2019)

<http://www.mertlermakina.com/urun/17/dk-300-cekicli-kirici> (Erişim: 08.08.2019)

<https://www.nukleonlab.com.tr/ceneli-kirici-2-urun431.html> (Erişim: 08.08.2019)

<http://medya.nigde.edu.tr/uniweb/media/portallar/jeolojimuhandisligi//sayfalar/1867/m5z4zgo0.pdf> (Erişim: 08.08.2019)

<http://www.utest.com.tr/tr/20374/Ozel-Ayarli-Bolgec> (Erişim: 08.08.2019)

<http://www.bazmakina.com.tr/> (Erişim: 08.08.2019)

<http://www.jeolabzemin.com/index.php/kaya-mekanigi-deneyleri/> (Erişim: 08.08.2019)



ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Neslihan Tuğçe TURGUT
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Telefon : 505 252 38 25
e-mail : nslhntgce@gmail.com

Eğitim

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Bor Şehit Nuri Pamir Anadolu Lisesi (İngilizce)	2008
Üniversite	: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı	

İş Deneyimleri

Kurum	Görevi
Ciner Group Park Teknik (Yeraltı Kömür İşletmesi)	Üniversite Stajı
Gümüştaş Madencilik (Altın Cevher Zenginleştirme)	Üniversite Stajı
Cemal GÖNEN Madencilik	Üniversite Stajı
Orta Anadolu Madencilik Ltd.Şti.	Maden Mühendisi- Daimi Nezaretçi

Mesleki Sertifika Ve Eğitimler

Bilgisayar Sertifikası (MEB)
C++ Programlama Dili
Temel İlk Yardım Eğitimi
AutoCad

YABANCI DİLLER

İngilizce (Orta Seviye)