

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAYAÇLARDA FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİNİ
BETONDA ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seramik Müh. Selçuk BAL

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALOGİK ÖZELLİKLERİNİN
BETONDA ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİ**

Seramik Müh. Selçuk BAL

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (MADEN MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 15.06.2011**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalında

Selçuk BAL tarafından hazırlanan

**KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİNİN
BETONDA ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 31 / 05 / 2011 gün ve 1407 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

.....

Üye : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bayram ERÇIKDI

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada Giresun ve Gümüşhane il sınırları içerisinde kalan toplam dört adet taş ocağından elde edilen agregaların fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerinin betonda alkali-silika reaksiyonuna etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmam ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen ve göstermiş olduğu katkılardan dolayı başta danışman hocam Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'e teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmalarım boyunca her aşamada yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Ferdi CİHANGİR'e ve deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı Araş. Gör. Kadir KARAMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Alp TURAN, Ünal BAL, Alptekin KARADENİZ ve Ferdi TÜRKOĞLU'na teşekkür ediyorum. Ayrıca tez çalışmalarımda sağladıkları laboratuvar ortamı ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca göstermiş oldukları anlayış ve katkılarından dolayı KOLSAN İNŞAAT A.Ş. Tirebolu Hazırbeton Tesisi çalışanlarından öncelikle Tesis Müdürü Sayın Osman ORHAN'a ve Laboratuvar Şefi Mehmet BAYTAK'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım ve tüm hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, aileme ve arkadaşlarıma sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Selçuk BAL
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kayaçlarda Fiziko-Mekanik ve Mineralojik Özelliklerin Betonda Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayhan KESİMAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/ 06 /2011

Selçuk BAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Agregalar.....	1
1.2. Agregaların Özellikleri.....	2
1.3. Agregaların Sınıflandırılması	3
1.3.1. Kaynağına Göre.....	4
1.3.1.1. Doğal Agregalar.....	4
1.3.1.2. Yapay Agregalar.....	5
1.3.2. Yoğunluğuna Göre	5
1.3.2.1. Hafif Agregalar.....	5
1.3.2.2. Normal Ağırlıklı Agregalar.....	5
1.3.2.3. Ağır Agregalar.....	5
1.3.3. Tane Boyutuna ve Tane Şekline Göre.....	6
1.3.4. Yüzey Dokusuna Göre	6
1.3.5. Jeolojik Orjinine Göre.....	7
1.3.5.1. Magmatik Kayaçlar.....	7
1.3.5.2. Metamorfik Kayaçlar	8
1.3.5.3. Tortul Kayaçlar.....	8
1.3.6. Minerolojik Yapısına Göre Kayaçlar.....	9
1.3.7. Reaktivlik ve Üretimine Göre Kayaçlar.....	9
1.4. Agregaların Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Uygulanan Deney Metotları.....	13
1.4.1. Agregaların Elek Analizi ve Granülometrisi	15

1.4.2.	Agregaların Özgür Ağırlık ve Su emme Tayini	19
1.4.2.1.	İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini.....	20
1.4.2.2.	İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini.....	22
1.4.3.	Agregaların Birim Ağırlık ve Yassılık İndeksi Tayini.....	23
1.4.3.1.	Sıkışmış Birim Ağırlık Tayini.....	24
1.4.3.2.	Gevşek Birim Ağırlık Tayini.....	25
1.4.3.3.	Agregalarda Yassılık İndeksi Tayini	26
1.4.4.	Agregaların Dona Dayanıklılık Tayini	27
1.4.5.	Agrega Aşınma Dayanımı Tayini (Los Angeles).....	29
1.4.6.	Agregaların Darbe Dayanımı Tayini	30
1.4.7.	Agregaların Basınç Dayanımı Tayini.....	31
1.4.8.	Agregaların Nokta Yükleme Dayanımı.....	32
1.5.	Alkali Silika Reaksiyonu (ASR).....	35
1.5.1.	ASR' nin Oluşumu.....	37
1.5.2.	Alkali Silika Reaksiyonunun Oluşumunu Azaltıcı Önlemler.....	38
1.5.3.	Alkali Silika Reaksiyonunun Belirlenmesi.....	39
1.5.3.1.	Harç Çubuğu Metodu (ASTM-C227).....	39
1.5.3.2.	Kimyasal Metot (ASTM-C 289).....	40
1.5.3.3.	Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu.....	40
1.5.3.4.	Beton Prizma Metodu	41
1.6.	Çimento ve Beton.....	46
1.6.1.	Çimento.....	46
1.6.2.	Çimento Hammaddesi.....	43
1.6.3.	Çimentonun Ana Bileşenleri.....	44
1.6.4.	Çimentonun Hidratasyonu.....	45
1.6.5.	Puzolanlar.....	46
1.6.6.	Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Curufu ve Alkalilerle Aktifleştirilmesi	47
1.6.7.	Aktifleştirilmiş YFC' nin Alkali-Silika Reaksiyonu.....	49
1.6.8.	Beton.....	51
1.6.9.	Betonun Su/Çimento Oranı.....	52
1.6.10.	Betonun Dayanımı ve Dayanıklılığı.....	55
1.6.11.	Beton Karışım Dizaynı.....	60
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	66

2.1.	Malzeme.....	66
2.2.	Kullanılan Malzemelere İlişkin Özellikler	66
2.3.	Bölgenin Jeolojik Yapısı.....	69
2.4.	Numunelerin Hazırlanması.....	72
2.5.	Agrega Elek Analizleri ve Gradasyonları.....	73
2.6.	Agregaların Özgül Ağırlıkları ve Absorbsiyon Yüzdeleri.....	76
2.7.	Agregaların Sıkışmış ve Gevşek Birim Ağırlıkları.....	77
2.8.	Agregaların Yassılık İndeksi Değeri.....	78
2.9.	Agregaların (Los Angeles) Aşınması ve Darbe Dayanımları	79
2.10.	Agregaların Dona Dayanıklılık Deneyleri.....	80
2.11.	Agregaların Nokta Yükleme Deneyleri.....	80
2.12.	Agregaların Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyimi.....	82
2.13.	Agregaların İnce Kesit Analizleri	83
2.14.	Beton Deneyleri.....	84
2.15.	Alkali Silika Reaksiyonu Harç Çubuğu Deneyleri.....	87
3.	İRDELEME VE DEĞERLENDİRME	92
3.1.	Agrega Deneyleri	92
3.2.	Beton ve Harç Çubuğu Deneyleri.....	95
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	100
5.	KAYNAKLAR	103
6.	EKLER	108
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

KAYAÇLARDA FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİN BETONDA
ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİ

Selçuk Bal

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL
2010, 107 Sayfa, 8 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Giresun ve Gümüşhane ili sınırları içerisindeki Domaçlı, Çavuşlu ve Doğankent Taş Ocakları (GİRESUN) ve Mağara Taş Ocağı'ndan (GÜMÜŞHANE) elde edilen beton agregalarının fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerinin betonda alkali-silika reaksiyonuna (ASR) etkileri incelenmiştir. Malzemeler konkasör tesisinde ve laboratuvar ortamında 0-5 mm, 5-10 mm, 10-25 mm boyut aralığında boyutlandırılmıştır. Agregalara TSE ve ASTM standartlarından yararlanarak Los Angeles, darbe dayanımı, dona dayanıklılık, özgül ve birim ağırlık, elek analizi ve granülometri, su emme, yassılık, nokta yükleme ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılarak agregaların deney standartlarına uyduğu görülmüştür. ASR için ASTM-C 1260 test metodu izlenmiştir. Beton ve harç çubuğu karışımları, CEM I 42.5 R ÜNYE çimentosu ve alkali ile aktifleştirilmiş yüksek fırın curufu (AAS) bağlayıcılı (KARDEMİR A.Ş.) olarak hazırlanmıştır. Aktifleştirici olarak sıvı sodyum silikat ve sodyum hidroksit solüsyonu kullanılmış ve Na₂O oranı curufun ağırlıkça % 6'sı kadar olacak şekilde kullanılmıştır. Çavuşlu agregası ile ayrıca, %8 ve %10 Na₂O'lu karışımlar dayanım ve ASR genleşme kontrolü takibi için yapılmıştır. Beton deneyleri 300 dozlu olarak ve su/bağlayıcı oranları 0.62-0.65 (çimento bağlayıcılı) ve 0.57-0.62 (AAS bağlayıcılı) olacak şekilde hazırlanmıştır. Basınç dayanımı sonuçlarının 155-461 kgf/cm² arasında dayanım değerleri aldıkları tespit edilmiştir. ASR genleşme deneylerine göre çimento bağlayıcılı numunelerde Domaçlı ve Doğankent agregaları, AAS bağlayıcılı numunelerde ise Mağara agregası haricindeki diğer agregaların standardın üzerinde genleşme göstererek ASR yönünden sakıncalı oldukları ve ayrıca aktifleştirilmiş curuf bağlayıcılı numunelerde Na₂O oranı arttıkça basınç dayanımı ve ASR genleşmelerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Agregası, Alkali-Silika reaksiyonu, Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu, Beton Harç çubuğu, Granülometri

Master Thesis

SUMMARY

THE RESEARCH OF THE INFLUENCE TO ALKALI-SILICA REACTION IN CONCRETE THAT PHYSICO-MECHANICAL AND MINERALOGICAL PROPERTIES OF ROCKS

Selçuk BAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL
2010, 107 Pages, 8 Pages Appendix

In this research the tendencies of ASR of the materials from Domaçlı, Çavuşlu, Doğankent and Mağara quarries (located in Giresun and in Gümüşhane) have been searched as the concrete aggregate. The materials have been shaped in to three different size fraction as 0-5 mm, 5-10 mm, 10-25 mm in the crushed-screening plant. By benefiting from the standarts of TSE and ASTM, Los Angeles, impact value, frost resistant, spesific gravity and water absorption, unit weight (tight and loose), aggregate granulometry, flakiness index, point load index and uniaxial compressive strenght standart test methods were carried out the aggregates. It has been seen that the aggregates harmonize with the standart of the experiment. The mixture of concrete and mortar bars have been prepared as the Ünye CEM I 42.5 R cement binder and alkali activated slag binder. Liquid sodium silicate, sodium hydroxide solutions used as alkali activators and Na₂O ratios used as %6 percentage mass of slag. Both Çavuşlu aggregates, %8-%10 Na₂O mixtures have been made to follow the control of ASR expansion and compressive strenght. The concrete experiments were prepared as ratios of their water /binder were 0.62-0.65 cement binder and 0.57-0.62 AAS binder. It has been seen that the models are developed in 155-461 kgf/cm² compressive strenghts. According to experiment of ASR expansion, It has been seen that both Doğankent and Domaçlı aggregetes in the models of cement binder and the other aggregates except the Mağara aggregates in the models of AAS binder have shown a high expansion above the standart. It has been understood that this expansion has drawback for ASR and when alkali ratio incerased in the models of AAS binder, the expansion increases also.

Key Words: Aggregate, Alkali-Silica reaction, Alkali activated furnace slag, Concrete, Aggregate Granulometry, Morthar-bar

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Agrega sınır granülometri eğrileri ($D_{max}=31.5mm$).....	17
Şekil 1.2. Los Angeles makinesinin iç ve dış görünüşü	30
Şekil 1.3. Agrega darbe dayanımı test cihazının görünümü.....	31
Şekil 1.4. Nokta yükleme deney aleti.....	32
Şekil 1.5. Nokta yükleme deneyi numune şekilleri.....	33
Şekil 1.6. Alkali silika reaksiyonunun betonda neden olduğu harita çatlakları	35
Şekil 1.7. Silis çözünürlük sınırları	36
Şekil 1.8. Farklı reaktif agregalardaki jel oluşumları	38
Şekil 1.9. Klinker üretimi akım şeması blok diyagramı	42
Şekil 1.10. Çimento ana bileşenleri ve diğer bileşenlerin çimento içerisindeki dağılımı ...	44
Şekil 1.11. Hidratasyon ürünlerinin SEM görüntüleri	45
Şekil 1.12. Çimento hidratasyon evrelerinin şematik görünümü.....	46
Şekil 1.13. Farklı karışımların genleşme yüzdeleri	50
Şekil 1.14. Su/çimento oranı-basınç dayanımı ilişkisi	55
Şekil 1.15. Betonun avantaj ve dezavantajlarının şematik görünümü	56
Şekil 1.16. Beton basınç dayanımına etkiyen faktörlerin şematik etkileşim diyagramı.....	58
Şekil 2.1. Malzemelerin kırıldığı konkasör tesisi.....	68
Şekil 2.2. Çalışma alanlarının jeolojik ve yer bulduru haritası.....	70
Şekil 2.3. Taş ocaklarının genel görünümü	71
Şekil 2.4. Kayaçlardan karot alımı ve agrega numunesi alınan yığınların görüntüsü	73
Şekil 2.5. Çavuşlu ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi	74
Şekil 2.6. Domaçlı ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi.....	74
Şekil 2.7. Doğankent ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi	75
Şekil 2.8. Mağara ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi	75
Şekil 2.9. Birim ağırlık kabı ve agregaların görünümü	77
Şekil 2.10. Nokta yükleme deney aleti ve numunelerin görünümü	80
Şekil 2.11. Blok kayaçlar ve deneye tabii tutulan karot numunesinin görünüşü.....	82

Şekil 2.12. Beton numune alma kalıpları ve betoniyein görüntüsü	86
Şekil 2.13. Prestre kırılmış beton numunelerinin görüntüsü	86
Şekil 2.14. Yaş betonların slump ölçüm hunisi ve bileşenlerin hassas terazi ile tartılması	87
Şekil 2.15. Harç çubuklarının kalıp sökümünden sonraki görünümü	88
Şekil 2.16. Harç çubuklarının kalıplara dökülmesinin görüntüsü.....	89
Şekil 2.17. Harç çubuklarının deneylerden sonraki görüntüsü	90
Şekil 2.18. Aynı agregaya ait harç çubuklarının deney öncesi ve deneye maruz kalmış görüntüleri.....	90
Şekil 2.19. Harç çubuklarının hassas boy ölçümleri	91
Şekil 3.1. Alkali silika reaksiyonu deneyi harç çubuklarının zamana göre boyca genleşme miktarlarının grafiksel görünümü	96
Şekil 3.2. Beton deneylerinin mukavemet grafikleri	97

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Agregaların sınıflandırılması	3
Tablo 1.2. Yüzey özelliklerine göre agregaların sınıflandırılması	7
Tablo 1.3. Farklı agregalar oluşturabilecekleri problemler ve dikkat edilecek hususlar	9
Tablo 1.4. Tane çapına göre numune miktarı	15
Tablo 1.5. Elek boyutlarına göre yüzde geçen malzeme miktarları.....	16
Tablo 1.6. Özgül ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları	20
Tablo 1.7. Birim ağırlık deneylerinde kullanılacak ölçü kabı boyutları	24
Tablo 1.8. Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	25
Tablo 1.9. Yassılık indeksi için elek açıklıkları	26
Tablo 1.10. Don dayanımı testi, elek açıklıkları ve numune miktarları	28
Tablo 1.11. Deney tiplerine göre standart numune miktarları ve elek açıklıkları	29
Tablo 1.12. Alkali-silika reaksiyonu oluşturabilecek reaktif silika mineralleri ve bunların bulunduğu kayaçlar	38
Tablo 1.13. Çimento ana bileşenlerinin kompozisyonları ve % miktarları	44
Tablo 1.14. Normal betonun tipik mühendislik özellikleri	57
Tablo 1.15. TSE' ye göre setleşmiş beton basınç dayanım sınıfları	59
Tablo 1.16. ACI 318-95 ^{14,80} standartlarına göre farklı slump ve maksimum agrega boyutu içerikli betonların yaklaşık karışım suyu ve hava içerikleri.....	62
Tablo 2.1. Deneylerde kullanılan çimento ve curufun kimyasal analizleri	72
Tablo 2.2. İnce agregaların özgül ağırlık ve absorpsiyonları	76
Tablo 2.3. Kaba agregaların özgül ağırlık ve absorpsiyonları	76
Tablo 2.4. Agregaların birim ağırlığı deney sonuçları.....	77
Tablo 2.5. Agregaların yassılık indeksi deney sonuçları	78
Tablo 2.6. Agregaların darbe deney sonuçları.....	79
Tablo 2.7. Agregaların Los Angeles aşınması deney sonuçları	79
Tablo 2.8. Agregaların don dayanımı aşınması deney sonuçları	80
Tablo 2.9. Agregaların nokta yükleme deney sonuçları	81
Tablo 2.10. Agregaların tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları	82

Tablo 2.11. İncelenen agregaların incekesit analizleri.....	83
Tablo 2.12. Çimento bağlayıcı deneylerin 1m ³ 'lük karışımları	85
Tablo 2.13. Aktifleştirilmiş curuf bağlayıcı deneylerin 1m ³ ' lük karışımları.....	85
Tablo 2.14. Elek aralıklarına göre numune miktarları (ASTM-C 160).....	88
Tablo 2.15. Çimento bağlayıcılı harç çubuklarının karışımları ve genleşme miktarları	88
Tablo 2.16. AYFC bağlayıcılı harç çubuklarının karışımı ve genleşme miktarları	89
Tablo 3.1. Tüm agregaların doygun yüzey özgül ağırlık değerleri	92
Tablo 3.2. Hesaplanan agregada deney sonuçları ve standartlarla karşılaştırılması	93
Tablo 3.3. Nokta yükü dayanım sınıflandırılması.....	94
Tablo 3.4. Beton deneyleri dayanım sonuçları	96

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Agregalar

Agrega, doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin genellikle maksimum 100 mm' ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış ve/veya kırılmamış tanelerin bir yığını olarak tarif edilir. İnşaat sektöründe ve alt yapıda kullanılması zorunlu olan ve ikame edilemez temel girdi durumundadırlar (Yılmaz ve Çavuşoğlu, 2003).

Agregalar genellikle içinde bulunduğu beton hacminin %60 - %80' ini oluştururlar ayrıca agregalar karayolları ve mühendislik yapılarının ana malzemeleridir (Baradan, 2004) .

Agrega, doğal, yapay ve geri kazanılmış şeklinde sınıflandırılabilir. Doğal agregalar mineral kaynaklardan elde edilir. Kırmataşlar, çakıl, nehir kumu bu kısma girerler. Beton kullanımındaki hızlı artış sonucu çakıl ve nehir kumu kaynakları yetersiz kalmıştır. Taş ocaklarında kırmataş üretimine başlanılmış ve bu üretim biçimi yaygınlaşmıştır. Maliyetin uygun olması istenilen tane boyutlarında üretilmesi çimento hamurunun yapışma yüzeyinin artması gibi avantajlarına karşın kırılma sırasında mikroçatlaklara sahip olması, daha fazla su emmesi, pürüzlü yüzey ve sivri köşeleri nedeniyle oluşan yerleştirme ve sıkıştırma problemleri gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Endüstrideki gelişmeye bağlı olarak atık miktar ve çeşidi artmıştır. Yüksek fırın cürufu gibi granüler yapıdaki endüstriyel atıklar yapay agregalar olarak beton üretiminde değerlendirilebilmektedirler. Ayrıca binaların çeşitli nedenlerle yıkılıp tekrar yapılması sırasında ortaya çıkan atık betonlar, camlar tuğlalar ve kiremitler kırılarak betonda geri kazanılmış agregalar olarak kullanılabilir (Topçu vd., 2006).

Beton yapımında kullanılan agregalar, çimento, su ve gerektiğinde katkı malzemeler içerisinde agrega maliyeti düşük olan bileşenlerdendir. Bu nedenle, istenilen betonu elde edebilmek koşuluyla beton içerisinde mümkün olabildiği kadar çok agregalar kullanılması betonun daha ekonomik olmasını sağlamaktadır. Beton üretiminde agregalar kullanımının ekonomik olması yanı sıra betonun teknik özelliklerine de önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Agregaların betona sağladığı başlıca teknik özellik; çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer almasını önemli ölçüde engellemesidir. Bu nedenle sadece çimento hamurundan oluşmuş bir malzemeye oranla betonun göstereceği hacim değişikliği ve buna bağlı olarak yer alacak mikro çatlaklar ve çatlaklar daha az olmaktadır. Ayrıca beton yapımında kullanılacak agregaların

sertliği yüksek ve dayanımı oldukça fazladır. Agregada dayanımını yüksek olması beton dayanımının da yüksek olmasını sağlamaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar betonun dayanıklılığını ve dış etkilere karşıda dayanıklılığını artırmaktadır. Özgöl ağırlığı 2.4 ile 2.8 arasında değişen agregalar normal agregada olarak adlandırılmaktadır. Bu tür agregalardan üretilen betonlara da normal beton denmektedir. Agregaların şekli yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun olabilmektedir. Yuvarlak agregaların taneleri küreye yakın şekilli iken köşeli agregada taneleri, üzerinde keskin çıkıntılar bulunduran tanelerdir. Kırmataş agregaların tane şekli köşelidir. Yassı ve uzun taneler ise en büyük boyutu ile en küçük boyutu arasında büyük fark bulunan agregalar olup kusurlu taneler olarak da adlandırılırlar. Türk standartlarına göre bu agregaların en büyük boyutu en küçük boyutundan üç kat daha fazla olan tanelerdir. Beton içerisinde bu agregaların miktarının %50'den fazla olması istenmez. Agregada tanelerinin şekli taze betonun işlenebilme özelliğini, betonun su ihtiyacını ve buna bağlı olarak betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Agregada şekli yanı sıra içerik ve görünüm olarak da yüzeyi temiz olmalı, kil, silt v.b. gibi ince maddeler ve organik maddeler gibi betonun özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek maddeler içermemelidir (Topçu vd., 2006).

1.2. Agregaların Özellikleri

- Sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı.
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli.
- Tanelerin biçimi ve dokusu iyi olmalı (bünyesinde yassı ve uzun taneleri belirtilen değerler dışında bulundurmamalı).
- Tane boyut dağılımı standartlara ve hedef dizayna uymalı.
- Agregada içerisinde zararlı maddeler (kil, silt, toprak, organik madde ve zararı bilinen kimyasal maddeler) bulunmamalı.
- Beton bünyesinde kullanılan diğer bileşenlerle (kimyasal katkı, mineral katkı, çimento, ikinci bir agregada cinsi v.b.) uyumlu olmalı.

Beton yapımında kullanılacak agreganın değişik özellikleri araştırılmaktadır. Araştırılan özellikler şu şekilde sıralanabilmektedir: gradasyon, maksimum tane büyüklüğü, tane şekli, yüzey dokusu, su emme kapasitesi, birim ağırlık, özgül ağırlık, agregadaki zararlı maddelerin türü ve miktarı, aşınmaya dayanıklılık, dona dayanıklılık, dayanım, elastiklik modülü ve ısısal özellikler.

Yukarıdaki özelliklerin tümü, üretilecek betonun özelliklerini etkilemektedir. Bunlardan bazıları, beton karışımının içerisinde yer alacak malzeme oranlarının hesaplanabilmesi için kullanılır. Beton malzemelerinin karışım oranlarının hesaplanabilmesi için yapılan hesaplarda bilinmesi gereken agrega özellikleri aşağıdaki gibidir (Erdoğan, 2007).

- Gradasyon
- Maksimum agrega tane boyutu
- Agregadaki mevcut su durumu ve agreganın su emme kapasitesi
- Birim ağırlık
- Özgül ağırlık

Agrega özellikleri betonun özelliklerini etkilediği gibi, beton karışımında yer alacak malzeme miktarlarını, o nedenle betonun ekonomikliğini de etkilemektedir. Betonun ekonomikliğini etkileyen bir başka faktör ise, agreganın ne kadar uzak mesafeden temin edilebileceği, maliyet, bulunabilirliğindeki kolaylıktır.

1.3. Agregaların Sınıflandırılması

Tablo 1.1. Agregaların sınıflandırılması

Sınıflandırma Şekli	Alt Birimi	Açıklamalar
Kaynağına göre	Doğal	Akarsu yatağı, deniz, buzul, nehir, delta, çöl ve teras agregaları
	Yapay	Yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil ve perlit agregası, geri kazanım agregaları (genellikle sanayiden yan ürün olarak ayrılmış agregalar ve işlem görmüş agregalar)
Yoğunluğuna göre	Hafif	Özgül ağırlıkları ≤ 2.4 , mohs sertliği 6 civarındadır, pomza süngertaşı, şist v.b.
	Normal	Özgül ağırlıkları 2.4-2.8 arasında, nehir yatağı kum ve çakılları
	Ağır	Özgül ağırlıklar ≥ 2.8 , hematit, manyetit, barit
Tane boyutuna göre	İnce	4 mm açıklıklı eleğin altına geçen agregalardır
	İri	4-63 mm elekler arasında kalan agregalardır
	Tüvenan	Boyutsal olarak sınıflandırılmamış agregalardır
Tane şekline göre	Yuvarlak	Nehir veya deniz kıyısı çakılı, genellikle nehir agregaları

Tablo 1.1' in devamı

Tane Şekline Göre	Şekilsiz	Diğer çakıllar, kum veya çakmak taşları
	Köşeli	Kırılmış çakılların tümü, cüruf, yamaç molozu
	Yassı	Lamine olmuş kayaçlar
	Uzun	Lamine olmuş kayaçlar
	Yassı ve uzun	Lamine olmuş kayaçlar
Yüzey dokusuna göre	...	Camsı, düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve peteksi dokulu agregalar
Jeolojik orjinine göre	Magmatik	Plütonik (granit, siyenit, diyorit, gabro), volkanik (riyolit, trakit, andezit, bazalt, diyabaz)
	Metamorfik	Foliasyonlu (amfibol, şist, gnays, sleyt), foliasyonsuz (mermer, kuvarsit)
	Tortul	Kimyasal karbonatlı (dolomit, kireçtaşı), kırıntılı (konglomera, kumtaşı, şeyl, kil taşı, çört)
Minerolojik yapısına göre	...	Silis ve karbonat mineralli, mikalı
Reaktif yapısına göre	...	Reaktif agregalar ve reaktif olmayan agregalar
Üretimine göre	Doğal	Kum, çakıl, kırmataş v.b
	Yan ürün	Cüruf, perlit, geri kazanılmış agregalar

Agregaları birçok şekilde sınıflandırabilmek mümkündür. Sınıflandırma işlemi agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları, beton imalatında daha uygun tarzda kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır. Agregalar genel olarak elde edilmiş şekillerine, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekillerine, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilirler (Şimşek, 2004).

1.3.1. Kaynağına Göre

1.3.1.1. Doğal Agregalar

Akarsu yatağı, deniz, buzul, çöl ve teras agregaları olarak gruplandırılırlar. Bu grup içinde en yaygın olarak kullanılan akarsu yatağından elde edilen agregalardır. Bu agregalar diğer agregalara göre ekonomiktir, taneleri genellikle yuvarlaktır, sürüklenme ile meydana gelen aşınma neticesinde ufalanan tanelerden geriye sadece sert, sağlam ve dayanıklı taneler kalmıştır, kompasiteleri yüksek olduğundan beton dayanımını olumlu yönde etkilerler ve ayrıca istenilen granülometrik dağılımı tam olarak sağlarlar. Karadeniz bölgesindeki akarsulardan elde edilen agregaların deltaya doğru yaklaştıkça bu özelliği sağladığını görürüz. Bu grupta yer alan diğer agregalardan, deniz agregaları düşük

dayanımlı taneler içermekle (deniz kabuğu vb.) beraber tuzludurlar ve boyut dağılımları granülometride yayılım göstermez ve arındırma işlemleri ekonomik olarak bir çıktı oluştururlar. Çöl agregalarının dayanımı da düşüktür, teras agregalarında uygun granülometriyi sağlamak zordur, aşırı elemle işlemi gerektirirler, buzul agregaları ise çok fazla üniformluk gösterirler ve beton agregası olarak kullanılmaya elverişli değildirler (Şimşek, 2004).

1.3.1.2. Yapay Agregalar

Genel olarak üretim esnasında işlem görmüş veya bir sanayinin atık maddesi olarak elde edilen agregalardır. İkinci bir işlem sonucu beton yapımında kullanılabilir hale getirilebilirler. Genel olarak yapay agregalar gözenekli bir yapıya sahip olduklarından ses, ısı ve hacimleri bölme amacıyla üretilen betonlarda kullanılır. Yüksek fırın cürufu, izabe cürufu, genişleştirilmiş perlit, kırılmış kiremit veya tuğla, rende taşları bu gruba girer (Çavuşoğlu, 2005).

1.3.2. Yoğunluğuna Göre

1.3.2.1. Hafif Agregalar

Özgül ağırlıkları 2.4 den küçük olan agregalar bu gruba girer. Genleştirilmiş kil, genişleştirilmiş perlit, bims gibi agregalar hafif agregalardır. Bu tür agregalarla “hafif beton” üretilmektedir. Hafif agrega betonu, normal agrega betonundan daha pahalıya mal olmaktadır. Çünkü beton karışımının hazırlanmasında daha fazla çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır. Beton ağırlığının sorun olduğu binalarda ve sanat yapılarında kullanılırlar.

1.3.2.2. Normal Ağırlıklı Agregalar

Özgül ağırlıkları 2.4-2.8 arasında olan agregalardır. Bildiğimiz konvansiyonel betonların üretiminde kullanılır. İfade ediliş biçimine göre normal agrega değil, agrega diye adlandırılırlar. Aynı şekilde bunlarla üretilen betonlar da normal ağırlıklı beton değil, “beton” olarak adlandırılır.

1.3.2.3. Ağır Agregalar

Bu tür agregalar ağır beton elde edilmek için kullanılır. Özgül ağırlıkları 2.8 den büyüktür, kırılarak taneli duruma getirilmiş, hematit, magnetit, barit gibi demir cevherleri

ağır agregalardır. Ağır betonlar nükleer santrallerde ve radyasyon geçişini önlemek amacıyla diğer alanlarda kullanılır.

1.3.3. Tane Boyutuna ve Tane Şekline Göre

Tane boyutlarına göre agregalar ince, iri ve tüvenan olarak üçe ayrılır. İnce agregalar, genellikle 4 mm göz açıklıklı kare delikli eleklerden geçen agregaya denir. Ayrıca Türk standartlarına göre ince agrega için kullanılacak eleğin bir de alt boyutu bulunmaktadır. Beton agregası olarak kullanılabilecek ince agrega için en küçük elek boyutu 0.063 mm dir. İri agregalar, (numaralandırılmış mıcır çeşitleri) 4-63 mm arasındadır. Nadiren bu üst sınır barajlarda kullanılan kütle beton ve silindirle sıkıştırılmış beton (RCC) üretiminde 150 mm'ye kadar çıkar. Tüvenan agrega, agrega ocağından veya konkasörden elde edilerek belirli bir boy sınıfına ayrılmamış agregalardır. Bu tür agregalar nitelikli beton üretiminde kullanılmaz, genel olarak basit beton uygulamalarında örneğin; maksimum 200 kg/m³ dozajlı grobeton uygulamalarında kullanılır.

Tane şekillerine göre ise agregalar yuvarlak, şekilsiz, köşeli, yassı ve uzun olarak sınıflandırılır. Doğal agrega ocağından çıkarılan malzeme genel olarak yuvarlak ve yuvarlağa yakın şekillidir, içlerinde az bir kısım da olsa yassı ve uzun taneler içerebilir. Konkasörden elde edilmiş agregalar genellikle köşelidir, yassı ve uzun taneleri de %30 civarında yapılarında bulundurabilir, bu değerin standartlara göre %50 den fazla olması istenmemektedir. Aksi durumda betonun yerleştirilmesi ve kompasitesinde sorun ortaya çıkabilir. Agrega tanesinin üç boyutu arasında 1/3 oranından daha büyük boyut farkı varsa bu agregalara ise yassı agregalar denir (Şimşek, 2004).

1.3.4. Yüzey Dokusuna Göre

Agregalar yüzey dokusuna göre camsı, pürüzsüz, taneli, pürüzlü, kristalli, peteksi olarak sınıflandırılır. Agregaların yüzey dokusu Tablo 1.2'de yüzey karakterlerine göre agregaların sınıflandırılması oluşum şekli açıklamaları ve görüldüğü kayaç örnekleriyle birlikte görülmektedir.

Tablo 1.2. Yüzey Özelliklerine Göre Agregaların Sınıflandırılması (Arioğlu vd., 1999)

Yüzey Karakteri	Açıklamalar	Örnek
Camsı	Konkoidal (midye kabuğu) kırılması sonucu yüzeyler camsı.	Siyah çakmak taşı, obsidyen camı, cüruf.
Pürüzsüz (Düzgün)	Tanesel veya laminalı kayaların pürüzsüz kırılması ya da su içerisinde sürtünme nedeniyle ortaya çıkar.	Çakıl, çört, sleyt, mermer ve bazı riolitler.
Taneli	Kırılma neticesinde yüzeydeki keskinliklerin üniform şekilde yuvarlaşması sonucu oluşmuş yüzeylerdir.	Kum taşı, oolit.
Pürüzlü	Yapısında zorlukla görülebilen, orta ve ince taneseli kayaların kırılması sonucu ortaya çıkan yüzeyleridir.	Bazalt, felsit, porfir, kireçtaşı.
Kristalli	Yapısında kolayca görülebilen kristal parçacıkları vardır.	Granit, gabro, gnays.
Peteksi	Yüzeyinde görülebilen boşluklar ve oyuklar vardır.	Tuğla, sünger taşı, köpük, cüruf, klinker, genleştirilmiş kil.

Beton üretiminde kullanılan agregaların yüzeyi ile çimento hamuru arasında, betona mekanik ve kimyasal dayanımını kazandıran bağlanmalar oluşur. Agreganın yüzey dokusunun bu bağlanmanın oluşumuna doğrudan etkisi vardır. Yüzeyi pürüzlü olan agregalar çimento hamuru ile daha kuvvetli bağlanmalar yaparlar. Bunun sebebi agreganın yüzeyinin pürüzlü olmasından dolayı agreganın yüzey alanı artar ve aynı hacimdeki başka bir agregaya göre çimento hamuru ile daha fazla bağlanma yapar ve basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi beton özellikleri de artmış olur. Pürüzsüz yüzeyli agregalarda yüzey alanı azaldığından çimento hamuru ile olan temas daha azdır.

1.3.5. Jeolojik Orjinlerine Göre

Doğal olarak elde edilen agregalar, fiziksel ve kimyasal olarak oluştukları kayanın kökeninin özelliklerini yansıtır. Her doğal agreganın kayanın olarak incelendiğinde magmatik, metamorfik ve tortul kayalar kökenli olduğunu görürüz.

1.3.5.1. Magmatik Kayalar

Magmatik kayalar plütonik ve volkanik kayalar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Oluşum biçimleri magmanın soğuma ve kristallenmesi esasına dayanır. Volkanik kayalar magmanın yer yüzeyinde veya yüzeye çok yakın bölgelerde çok hızlı soğumasıyla

meydana gelmişlerdir. Hızlı soğuma nedeniyle yarı camı veya camı bir hamur içerisinde dağılmış halde kristaller olarak bulunurlar. Bazalt, andezit, riyolit, trakit ve diyabaz bu gruba örnek olarak verilebilir.

Volkanik kayaçların oluşumundan farklı bir şekilde magmanın yer kabuğunun daha derin kısımlarında daha yavaş bir şekilde soğuması sonucu plütonik kayaçlar oluşur. Bu şekilde magmanın yavaş soğuması nedeniyle iri ve tam kristalli kayaçlar oluşur. Taze ve ayrışmamış oldukları zaman kırılmaya ve basınca karşı dayanıklıdırlar. Örnek olarak granit, gabro, siyenit ve peridotit verilebilir (Çavuşoğlu, 2005).

1.3.5.2. Metamorfik Kayaçlar

Bu kayaç türleri ilkel fiziksel ve kimyasal oluşumlardan sonra değişikliğe uğramış kayaçlardır yani magmatik ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında kalarak yeni karakterli kayaçlar oluşur bu kayaçlara metamorfik kayaçlar denir. Örnek olarak mermer, kuvarsit, fillit, sleyt, şist, gnays ve amfibol verilebilir.

1.3.5.3. Tortul Kayaçlar

Bu kayaç türleri metamorfik ve magmatik kayaçların tektonik (yer kabuğu hareketleri) ve atmosferik olaylar sonucu parçalanarak tabakalar halinde tortullaşmasıyla meydana gelmiş heterojen boşluklu ve fosil yapılı kayaçlardır diğer bir deyişle daha önce oluşmuş kayaçların parça ve kırıntılarından tortul kayaçlar oluşur (İnan ve Tanyolu, 1982).

Tortul kayaçların hemen hepsi tabakalı yapıya sahiptir. Tabakalar birbirinden tabakalaşma kalınlığı, renk, görünüm ve tane boyutu farkıyla ayrılır. Bu tür kayaçlar içerisindeki iri ve ince boyuttaki malzemeler, doğada silis, karbonat ve demir oksit gibi maddelerle çimentolanarak birbirine sıkıca kenetlenmiştir. Genelde çimento malzemesi olarak silisin yoğun olduğu tortul kayaçların mukavemeti diğer tortul kayaçlara göre daha yüksektir. Tortul kayaçlara örnek olarak konglomera, kumtaşı, kuvarsit, arkoz, kıltaşı, şeyl, arjilit, çört ve grovak örnek olarak gösterilebilir (İnan ve Tanyolu, 1982).

Beton agregası olarak her çeşit tortul kayaç kullanılamaz. Sert ve yoğun olan kumtaşları ve kalkerler beton agregası üretimi için uygundur, fakat bazen bu kayaçlar (kumtaşı ve kalker) zayıf ve su emici özelliği olan kil'ler de içerebilir. Böylece kayaçlar kalkerli veya kumlu şeyller sınıfına girer. Bunun sonucu olarak da bu yapılar yumuşak, zayıf ve su emme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle agrega malzemesi olarak

kullanımı sakıncalıdır. Benzer şekilde konglomeralar da aşınmaya karşı dirençsiz ve parçalanmaya elverişli olduklarından dolayı beton agregası olarak kullanılmaz.

1.3.6. Minerolojik Yapısına Göre

Mineraller doğada olan homojen, katı, içsel özellikleri çok az değişim gösteren inorganik maddelerdir. Agregalar ise, bu minerallerin toplanarak bir araya gelerek oluşturduğu kayaçlardan ve diğer yapısal maddelerden oluşur. Agregalar minerolojik yapılarına göre;

- Silis mineralli agregalar
- Karbonat mineralli agregalar
- Mikalı vb. gibi agregalar

olmak üzere üç grupta toplanır. Agreganın minerolojik yapısını bilmek, göstereceği özellikler hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar.

1.3.7. Reaktiflik ve Üretimine Göre

Reaktif özelliklerine göre agregalar, reaktif ve reaktif olmayan agregalar olarak gruplandırılabilir. Agregaların reaktifliği çimento içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek genleşme özelliği olan alkali-silika jeli oluşturmaya bağlıdır. Ayrıca silikat ve karbonat içermesi de agreganın zararlı bileşikler oluşturabileceğine işaret eder.

Agregalar üretimlerine göre doğal (kum, numaralandırılmış mıcır) ve yan üründen (cüruf, genleştirilmiş perlit vs. gibi) elde edilmiş agregalar olarak sınıflandırılır.

Farklı kayaç kökenli agregaların beton bünyesinde kullanılmasıyla meydana gelebilecek problemler ve dikkat edilecek hususlar Tablo 1.3’de görülmektedir.

Tablo1.3. Farklı agregalar, oluşturabilecekleri problemler ve dikkat edilecek hususlar (Tuğrul ve Yılmaz, 2006)

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
Sedimanter Kayaçlar	Tabakalanma- arıdanma (yönelim, kalınlık farklı tabakalardaki bileşim değişimleri)	Karmaşık heterojen tabakalar, kalite değişimi, yassı ve uzun taneler
	Çimentolanma derecesi ve çimento cinsi	Direnç değişimi
	Kireçtaşları	Erime
	Çamurtaşı, grovak	Betonda büzülme

Tablo 1.3.' ün devamı

Sedimanter Kayaçlar	Şeyl, çört, bazı kumtaşları	Alkali-silis reaksiyonu
	Kuvarsit	Konkoidal kırılma, köşeli taneler, üretim maliyeti artışı (ekipman aşınması, ekipman bakım süresi), pompalama güçlüğü
	Dolomit içeriği	Alkali-karbonat reaksiyonu
	Mika, jips vb. içeriği (kumtaşlarında)	Aderans düşüklüğü, betonda su ihtiyacı artışı, dayanım ve durabilitede azalma
	Opal, kriptostalin ve mikrostalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu, çimento malzemesi)	Alkali-silis reaksiyonu
	Vermikülit, klorit, mika vb. içeriği (grovak, çamurtaşı vb.)	Alkali-silikat reaksiyonu
	Volkanik kırıntı içeriği (tuf, aglomera, lapilli vb.)	Düşük direnç
	Zayıf düzeyler (kıltaşı, marn, kil çimentolu kayaç vb.)	Düşük direnç, ince madde ve yassı tane oranında artış
	Kükürtlü bileşenler, klorür ve sülfat içeriği, fosfat mineralleri, flor sodyum ve silisli bileşikler Fe, Pb, Cu, Zn, Cd, U, Mn, As, Sb, Hg içeriği	Aderans düşüklüğü, demir donatıya etki, insan sağlığı açısından tehlikeli
	Çatlak yüzeylerindeki pirit, kalkopirit	Sülfatların oluşumu
	Fosil ve kavkı içeriği	Düşük direnç
	Organik madde içeriği	Çimento ve hidrasyon hızı, betonun
		piriz alma süresinde uzama
Volkanik Kayaçlar (bazalt, andezit, piroklast)	Heterojen yapı, yönlenmeye bağlı bileşim ve doku değişikliği (farklı fasiyesler)	Kalite değişimi
	Kristobalit, tridimit ve volkanik cam içeriği	Alkali-silis reaksiyonu
	Asidik-ortaç kayaçlar (andezit, riolit, tuf, dasit, andezitik bazalt vb.)	Alkali-silis reaksiyonu
	İnce taneli ve camsı volkanikler	Konkoidal kırılma, keskin köşeli yassı taneler, pürüzsüz yüzeyler

Tablo 1.3.'ün devamı

Volkanik Kayaçlar (bazalt, andezit, piroklast)	Hamur malzemesinin türü ve miktarı	Direnç değişimi
	Bazalt, dolerit vb.	Köşeli taneler, betonda büzülme, ekipman aşınması
	Zayıf düzeyler (bazı tüfler, volkanosedimanter kayaçlar)	Direnç azalması, ince madde ve yassı tane oranı artışı
	Opal, kriptokristalin ve mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu)	Alkali-silis reaksiyonu
	Bazik olanların (bazalt vb.) Cr, Ni, Co, Cu, Fe, Pb, Zn, Cd, Ag içerikleri. Asidik olanların (andezit vb.) Si, Ag, Cu, Pb, W, Sn, Cd, Mo, U, Th, F As, Sb, Hg içeriği	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	Zeolit oluşumu	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	Çatlak yüzeylerindeki pirit, kalkopirit	Sülfatların oluşumu
	Gaz boşlukları (bazalt)	Kalite değişimi
Plütonik Kayaçlar (granit, diyorit, siyenit)	Kayaç değişimleri	Direnç değişimi, tane şekli
	Kristallenme ve kenetlenme derecesi, kristal boyutu	Direnç değişimi
	Mika içeriği (granitlerde)	Aderans düşüklüğü, betonda su ihtiyacı artışı, dayanım ve durabilitede azalma
	Anklav içeriği	Düşük direnç, kusurlu taneler
	Opal, kriptokristalin ve mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu)	Alkali-silis reaksiyonu
	Si, Ag, Cu, Pb, Zn, W, Sn, Cd, Mo, U, Th, F, As, Sb, Hg içeriği	İnsan sağlığı açısından zararlı
	Çatlak yüzeylerindeki pirit, kalkopirit	Sülfatların oluşumu
	Genellikle karmaşık ve heterojen yapı	Direnç ve durabilitede değişim, zararlı reaksiyonlar
Metamorfik Kayaçlar (granit, mermer, şist vb.)	Foliasyon, şistozite, klivaj	Zayıflık zonları, ocak stabilitesinde bozulma
	Kuvarsit	Alkali-silis reaksiyonu, konkoidal kırılma köşeli taneler, üretim maliyeti artışı (ekipman aşınması, ekipman bakım süresi, pompalama gücü)

Tablo 1.3.'ün devamı

Metamorfik Kayaçlar (granit, mermer, şist vb.)	Gnays	Alkali-silis reaksiyonu
	Zayıf düzeyler (yoğun şistoziteli, ince taneli, yoğun deformasyona uğramış, kırıklı)	İnce madde ve yassı tane oranında artış, Aderans düşüklüğü, düşük direnç, ayrışma ve dondan etkilenme stok seğreşince yeniden ufalanma
	Metamorfik kuvars içeriği	Alkali-silis reaksiyonu
	Vermikülit, klorit, mika vb. içeriği (fillitlerde)	Alkali-silikat reaksiyonu
	Yersel bileşim değişimleri (mika bandları vb.)	İnce madde oranında artış, düşük direnç, aderans düşüklüğü, beton ve çimento oranında artış, işlenebilirlikte azalma
	Opal, kriptokristalin, mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu)	Alkali-silis reaksiyonu
	Kaynak kayaçla ilgili ortalama Fe, Cu, Pb, Cr, Cd, Ni, Co, As, Sb ve Hg içerikleri	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	Pirit, kalkopirit içeriği	Sülfatların oluşumu
	Kristalizasyon, metamorfizma derecesi ve ürünleri	Alkali-silis reaksiyonu
Deniz Çökelleri, Kıyı Çökelleri	Farklı kökenli taneler	Alkali-agrega reaksiyonu, direnç değişimi
	Biçimsiz ve ince tane yoğunluğu	Beton su ihtiyacında artış
	Kavkı içeriği	Düşük direnç
	Klorür ve sülfat içeriği	Aderans düşüklüğü, demir donatıda korozyon etkisi, betonda şişmeye bağlı hasar oluşumu
Alüvyal Çökeller (dere yatağı, alüvyal taraça, alüvyal koni)	Çok farklı kökenli taneler	Alkali-agrega reaksiyonu
	Çoğunlukla pürüzsüz yüzeyli yuvarlak taneler (dere yatağı, alüvyal taraça)	Aderans düşüklüğü
	Tanelerin silisle kaplanması (alüvyal taraça)	Alkali-silis reaksiyonu
Gölsel Çökeller	Bileşim değişimi	Kalite değişimi
	Kavkı içeriği	Düşük direnç
	Organik madde içeriği	Çimento hidratasyon hızı, betonun piriz süresinde uzama

Tablo 1.3.' ün devamı

Görsel Çökeller	Kil içeriği	Aderans düşüklüğü, beton su ihtiyacında artma, dayanım ve durabilitede azalma
Karasal Kum ve Çakıllar (rüzgar çökelleri, buzul çökelleri, alüvyal çökeller)	Çok değişken tane boyu dağılımı	İnce madde oranında artış
	Çok değişken kalınlık ve yayılım	Düşük agrega potansiyeli
	Çok farklı kökenli taneler (buzul çökelleri), genellikle aynı kökenli taneler yamaç molozu çökelleri	Alkali-agrega reaksiyonu
	Fiziksel parçalanma (buzul çökelleri)	Agrega olarak sınırlı kullanım
	Kil, mika vb. içeriği	Aderans düşüklüğü, beton su ihtiyacında artma, dayanım ve durabilitede azalma

1.4. Agregaların Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Uygulanan Deney Metotları

Agregaların özelliklerinin ve kalitelerinin tayin edilebilmesi için bir yığındaki agreganın tamamını temsil eden bir örnek üzerinde çeşitli deneyler yapılır. Burada önemli olan nokta aldığımız örnek numunenin tüm yığın agregayı temsil etmesidir. Bunun için de değişik numune alma işlemleri mevcuttur.

Beton agregalarında numune alma yöntemi TS 707'de belirtilmektedir (TS 707,1980). Büyük miktardaki agregaları azaltarak deney yapabilecek miktara getirmek için Konileme-dörtleme yöntemi veya bölgeç aygıtı kullanılır. Bu yöntemlerdeki mantık, agreganın homojen bir şekilde istenilen ağırlığa azaltılmasıdır. Konileme-dörtleme yönteminde mevcut numune sert bir zemin üzerinde koni oluşturacak bir şekilde yığılır. Daha sonra yığın, koninin tepe noktasından bastırılarak dairesel bir şekilde zemine yayılır ve palanda veya kürek ile dörde bölünür. Bölünen parçalardan karşılıklı ikisi alınarak işlem yapılır fakat elde edilen bu miktar hedef agrega miktarından daha büyükse alınan karşılıklı parçalar tekrar koni oluşturacak şekilde yığılarak işlem istenilen agrega miktarını elde edene kadar tekrarlanır. Bölgeç aygıtı ise numuneyi eşit olarak ikiye böler.

ASTM standartları ince agrega için en az 10 kg, iri agrega içinse en az 10-15 kg arasında değişen miktarlarda numune gerektiğini bildirmektedir (ASTM C 136, 1983).

İri agrega miktarı, maksimum tane boyutunun (mm cinsinden) iki ile çarpılması suretiyle hesaplanır. Örneğin; maksimum tane boyutu 22 mm olan bir agrega için gerekli numune miktarı;

$$\text{Kg} \geq 2 \times \text{Dmax.} \rightarrow 22 \times 2 = 44 \text{ kg.}$$

Görüldüğü gibi Dmax. = 22 mm olan bir agregâ için 44 kg numune alındıktan sonra belirtilen örnek azaltma işlemlerine maruz bırakılarak deney numunesi olarak kullanılabilir (Dmax., maksimum agregâ tane boyutu).

Maksimum agregâ tane boyutu, agregâ tanelerinin tümünün geçebildiği en küçük standart elek boyutuna eşittir (TS 706 - EN 12620, 2003).

Ayrıca agregâ kırma-eleme tesislerinde yığından numune almanın yanı sıra bant konveyörlerden de numune alınabilir. Alacağımız numune cinsinin yığının besleyen bant konveyör durdurulur ve bant konveyör üzerindeki o anda bulunan agreganın, bant konveyörün uzunluğuna göre belirli bir miktarı (genellikle konveyör uzunluğuna göre 1/3 lük kısmı) alınmak suretiyle de numune alınmış olur. Bu işlemin agregâ yığınının numune almaya göre birçok avantajı vardır. Bant konveyörlerden yığınlara beslenen agregaların iri taneleri, yığının eteklerine doğru yuvarlanma hareketiyle yığılma yapar. Bundan dolayı o şekilde yığından numune alındığında deney sonuçlarında sapmalar olur ve agregâ hakkında yanlış kararlar vermemize neden olabilir.

Agregalara çeşitli standartlara göre (TSE, ASTM, AASHTO, ISO) deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler agregaların fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleriyle ilgili deneylerdir. Agregaların bu özelliklerini belirlemek için yapılan deneyleri şu şekilde özetleyebiliriz;

Agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler:

- Elek analizi deneyleri (TS 3530 EN 933-1),
- Özgöl ağırlık ve su emme tayini (TS 3526),
- Birim hacim ağırlık (TS 3529),
- Yassılık indeksi (TS 9582) .

Agregaların mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler:

- Agregâ sağlamlık deneyi (Dona dayanıklılık, TS EN 1367-2),
- Aşınma dayanımı (ASTM-C 131),
- Agregâ darbe dayanımı (TS EN 1097-2).

Agregaların kimyasal özellikleri ve içerdikleri zararlı maddelerin tayini için yapılan deneyler:

- İnce madde oranı (TS 3527),
- Hafif madde oranı (TS 3528),

- Alkali-agrega reaksiyonu (ASTM-C 1260),
- Organik madde tayini (TS EN 1744-1).

1.4.1. Agregaların Elek Analizi ve Granülometrisi

Agregalara elek analizi yapabilmek için değişik göz açıklıklarına sahip kare delikli eleklerle ihtiyaç vardır. Türk standartlarına göre elek analizi için kullanılması gereken kare delikli eleklerin göz açıklıkları; 125 mm-90 mm-63 mm-31.5 mm-16 mm-8 mm-4 mm-2 mm-1 mm-0.5 mm ve 0.125 mm dir. ASTM standartlarına göre ise, boyutlar şu şekilde belirtilmektedir; 100 mm-95 mm-75 mm-63 mm-50 mm-25 mm-19 mm-12.5 mm- 9.5 mm-4.75 mm-2.36 mm-1.18 mm-0.60- mm-0.30 mm ve 0.15 mm dir. İri ve ince agregayı birbirinden ayıran sınır değerler incelendiğinde, Türk standartlarında belirtilen kare gözlü elek açıklığı 4 mm elek iken, ASTM standartlarında bu sınır değer 4.75 mm elek olarak kabul edilmiştir (Erdoğan, 2007).

Elek analizi deneyleri için gerekli agrega miktarları maksimum agrega tane çapına göre Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.4. Tane çapına göre numune miktarları

En Büyük Tane Çapı (mm)	En Az Numune Miktarı (gr)
4	500
8	2000
11.2	4000
16	8000
22.4	12000
31.5	16000
45	20000

Elek analizi deneyi yapılırken deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru (tane çapı büyük olan elekten küçük olan eleğe doğru) üst üste yerleştirilir. Kurutulmuş tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konulur ve eleme hareketine başlanır. Eleme işlemi her elek için elle veya elek sarsma cihazlarıyla yapılabilir. Elek üzerlerinde kalan numune miktarlarının tartılması için 0.1 gram hassasiyetli teraziler kullanılır. Elek analizi deneyi sonunda her elek üzerinde kalan malzeme oranı, bütün deney numunesi ağırlığının yüzdesi olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$S_n (\%) = (W_n / W_o) \times 100 \quad (1)$$

S_n = Herhangi bir (n) göz açıklığındaki elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

W_n = Göz açıklığı (n) olan elek üzerinde kalan malzemenin miktarı (gr)

W_o = Deney numunesinin toplam ağırlığı (gr)

Bu şekilde elekler üzerinde kalan malzeme miktarları hesaplandıktan sonra, her bir elekten geçen malzeme miktarı da; söz konusu elekten büyük elekler üzerinde kalan malzemelerin toplamının numunenin toplam ağırlığından çıkarılması sureti ile hesaplanır.

Elek analizi deneyinde ince ve karışık agrega numuneleri için incelik modülü de hesaplanarak kaydedilir. İncelik modülü, elek takımında ardışık eleklerde kalan agreganın ağırlık yüzdelerinin yığışımli toplamalarının yüze bölünmesi ile elde edilir. Bu işlemde agreganın %100 yüz üzerinde kaldığı elek dikkate alınmaz.

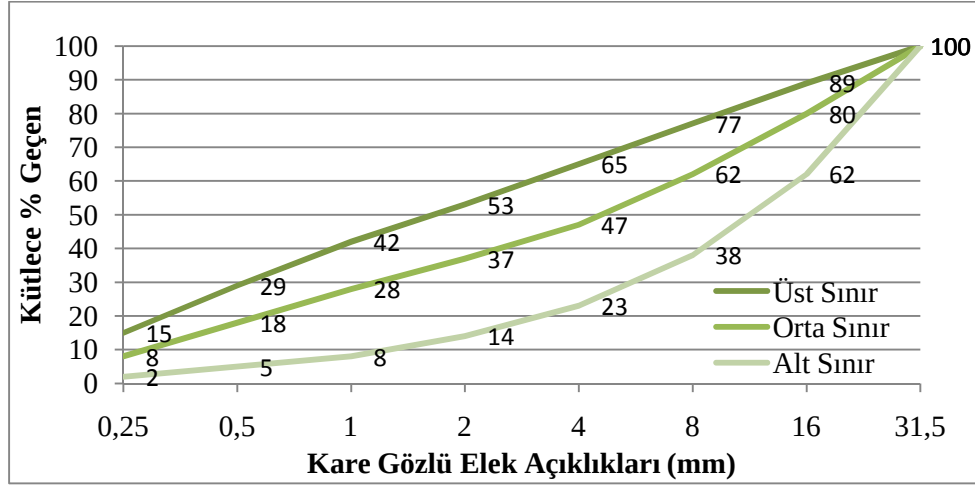
Agregalar kendi içinde numaralanmış şekilde olursa eleme işlemi kolaylaşır. Çoğu kez agregalar numaralandırılmış mıcırklar olarak karşımıza çıkar, örneğin; 0-5mm kum, 5-10 mm mıcır, 10-25 mm mıcır gibi. Bu şekilde numaralanmış mıcırklar boyutlarına göre elek serileri oluşturularak eleme işlemi yapılır. Örneğin boyutları 25 ve 4.75 mm arasında olan bir agreganın ASTM standartlarına göre % geçen değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.5. Elek boyutlarına göre yüzde geçen malzeme miktarları

Elek boyutu (mm)	% Geçen
37.5	100
25	95-100
12.5	25-60
4.75	0-10
2.36	0-5

Tabloda görüldüğü gibi genellikle agregalar maksimum tane boyutunun bir üst eleği ve en küçük tane boyutunun bir alt eleğinden eleniyor, yine aynı şekilde her elek için % geçen malzeme miktarlarının sınır değerleri görülmektedir. Bu değerler TSE'ye göre daha farklıdır. Agregaların bu şekilde elendiği her elekte belirli % geçen değerinin hesaplanmasıyla agrega granülometrisi (gradasyonu) oluşturulur ve agreganın boyut dağılımı hakkında bu parabol yardımıyla daha iyi ve net bilgi edinilir. Her agrega sınıfının (numaralandırılmış mıcırklar) ayrı elek analizi ve gradasyon eğrileri belirlendikten sonra bu

grupları belirli oranlarda karıştırmak suretiyle yeni bir gradasyon oluşur. Bu yeni gradasyon oluşturulurken numaralandırılmış agregaların % olarak ne kadar kullanılacakları dikkate alınır. Agreganın betonun iskeletini oluşturur bunun için betonda kullanılacak agreganın granülometrisi çok önemlidir. Agreganın granülometrisinin düzenlenmesi sonucu betonda, maksimum kompakte sağlamak, ayrışmayı önlemek ve işlenebilirliği artırmak gibi olanaklar sağlanabilir. TS 706'da genel agreganın granülometrisinin maksimum tane boyutuna göre referans bölgeleri, temel elek serileri, temel elek serilerine ilave elek serileri, dolgu malzemelerinin ve ince kumların elek serileri, tane boyu aralıklarına göre orta elekler tarif edilmektedir.



Şekil 1.1. Agreganın sınır granülometri eğrileri (Dmax. 31.5 mm)

Yukarıdaki şekilde maksimum tane boyutu 31.5 mm olan bir agreganın referans granülometri eğrileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde üst ve orta sınır arasında kalan bölgeler beton üretimi için en ideal bölgeler olarak kabul edilmektedir. Orta ve alt sınır arası bölgeler kullanılabilir bölgeler olarak ifade edilirken, üst ve alt sınır bölgeleri dışında kalan alanlardaki granülometrinin beton imalatında kullanılması sakıncalıdır (Özkul vd., 1999).

İnce madde (yıkanebilir madde) tayini: Yıkanebilir maddeler agregalar içinde ince halde dağılmış veya topaklar halinde ya da agreganın tanelerine yapışık olarak bulunur. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unlarından oluşurlar ve beton için zararlı maddeler olarak kabul edilirler. TS 3527'ye (1980) göre, 0.063 (200 no'lu elek) mm elek üstünde yıkama metoduyla yapılan test sonucuna göre bulunur.

İnce agregalarda 200 no'lu elekten geçen malzeme miktarının %3'ten fazla olması istenmez (Şimşek, 2004).

$$M_y = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100 \quad (2)$$

Bu formülde:

M_y = Yıkanabilen ince madde oranı (0.063 mm elekten geçen) (%)

W_1 = Numunenin deney öncesi (yıkanmadan önce) etüvde kurutulmuş ağırlığı (gr)

W_2 = Numunenin deney sonrası (yıkandıktan sonra) etüv kurusu ağırlığı (gr)

Karışım oranları ve granülometrinin belirlenmesi: Agregada gradasyonu betonun kompasitesini dolayısıyla dayanımını, işlenebilirliğini ve daha bir çok özelliğini etkilemektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde en yüksek kompasiteyi, parabolik denklem olan Fuller eşitliğinin verdiği saptanmıştır (Şimşek, 2004).

$$\text{Fuller parabolü, } y = 100 \times \sqrt{(d / D_{\max.})} \quad (3)$$

Bu formülde;

y = Çapı d den küçük olan tanelerin karışımdaki yüzdesi

d = Tane çapı (mm)

$D_{\max.}$ = Malzemedeki en büyük tane çapı (mm).

Bu formül yardımıyla $D_{\max.}$ seçilerek herhangi bir agreganın % geçen değerini hesaplayarak bir gradasyon eğrisi çizebiliriz ve analizini yaptığımız agreganın çizdiğimiz eğriye göre kontrolünü yapabiliriz.

Benzer şekilde iki veya daha çok agreganın gradasyon eğrisini oluştururken her agreganın % geçen değerini beton içerisindeki kullanım oranıyla çarparak buluruz. Agregada karışım oranlarını seçerken deneme-yanılma metodu, denklem çözme metodu ve grafik metodu gibi metotlar kullanılabilir. Bu yöntemlerden pratikte en çok kullanılan deneme yanılma metodudur, bu metotta ön kabuller yapılarak agregada oranları seçilir ve referans granülometri eğrileri içinde olup olmadıkları kontrol edilir ve aksi bir durumda tekrar karışım hazırlamak suretiyle granülometri tekrar düzenlenir. Bu şekilde gruplandırılmış agregalar, belirlenen oranlarda karıştırılmak suretiyle *granülometrik bileşim*'i oluştururlar. Granülometrik bileşim, agregada numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan

tanelerin agrega içerisinde ne miktarda bulunduğunu ve sınır değerlerdeki yerini ortaya koyar. Agreganın granülometrik bileşimi betonun özelliklerini doğrudan etkiler.

Agrega karışım hesapları yapılırken, birbiri içine karıştırılacak agrega gurupları birbirinin boşluklarını kapatacak düzeyde olmalıdır. Örneğin ince kum, çakılların boşluklarını kapatacak nitelikte olmalıdır, iyi bir granülometriye sahip olan agreganın kompasitesi iyi olur. Herhangi bir agrega karışımına uygulanan elek analizi ve granülometri hesaplamalarından sonra, karışım dizaynı hakkındaki son karar karışımı beton içerisinde kullanmak suretiyle verilmelidir.

1.4.2. Agregaların Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini

Herhangi bir maddenin özgül ağırlığı, maddenin yoğunluğunun aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranıyla temsil edilir. Metrik sistemde agregaların yoğunluğu g/cm^3 birimiyle ifade edildiğinden suyun yoğunluğu da 1 g/cm^3 olduğundan özgül ağırlık, birimsiz olarak ifade edilir. Agregta tanelerinin üzerinde veya gözeneklerinin içinde bulunabilecek su, agrega tanelerinin ağırlığını etkilemektedir. Agregta tanelerindeki boşlukların miktarı da agrega hacmini etkilemektedir. O bakımdan, agreganın özgül ağırlığı hesaplanırken agrega tanelerindeki mevcut su ve boşluk durumu göz önünde tutulmakta ve bulunan değer bu durumu tanımlayarak belirtilmektedir. Su ve boşluk durumundaki bu farklılıklardan dolayı değişik özgül ağırlık değerleri ortaya çıkar (TS 3526, 1980).

Agregta tanelerinin etüvde kurutulmuş ($105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) durumundan oda sıcaklığına soğutulduğunda rutubetsiz ortamdaki ağırlığı, agreganın havadaki ağırlığıdır, laboratuvar şartlarında deneye maruz bırakılan bu agregaları normal ortamlarda ve gerçek uygulamalarda elde etmek çok zordur. Bunun için agregaların farklı nem-absorbsiyon durumlarındaki halleri özgül ağırlık belirlemede önemlidir (Şimşek, 2004).

Tamamen kuru hal: Agregta taneleri dışarı açık veya kapalı gözeneklerinde hiçbir şekilde su bulundurmamaktadır. Aşırı kurak bölgelerde bu çeşit agregalara rastlanabilir.

Kuru yüzey hali: Tanelerin yüzeylerinin kuru olmasına karşın içsel boşluklarının bir kısmı su muhteva eder. Uzun süre suya maruz kalmış agregalar (akarsu yatağından çıkarılan kum, çakıl gibi) bu durumdadır.

Doygun kuru yüzeyli hal: Tanelerin boşluklarının tamamı su ile doludur fakat yüzeyleri kurudur.

Tamamen ıslak hal: Agregatanelerinin boşlukları ve yüzeyleri tamamen su ile kaplıdır. Elle temasta ıslaklık hissedilir.

Bu haller göz önünde bulundurularak agregada kuru özgül ağırlık, doymuş yüzey kuru özgül ağırlık ve görünen özgül ağırlık hesaplamaları aşağıdaki işlemler takip edilerek yapılabilir. Agregaların özgül ağırlıkları ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle tayin edilir.

1.4.2.1. İnce Agregaların Özgül Ağırlığı ve Su Emme Tayini

TS 707'ye (1980) uygun olarak ve yaklaşık Tablo 1.6'da gösterilen miktarda oluşturulmuş deney numunesi ve su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra, ince taneleri kaybolmayacak şekilde muhafaza edilir.

Tablo 1.6. Özgül ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları

En büyük Tane Boyutu (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	90
Numune miktarı (kg)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.5	2	3	5	5

Deney agregası yüzeyi suya doymuş hale gelinceye kadar karıştırılarak kurutulur. Numunenin fazla kuruyarak su kaybetmemesine dikkat edilir. Doymuş kuru yüzey hali, ince agreganın koyu (ıslak) renkten açık (kuru) renge değişmeye başladığı anın hemen sonrasındır. Deney numunesinin suya doymuş hale erişip erişmediği göz ile muayene ederek karar verilemiyor ise aşağıda açıklanan kesik koni veya kesme yöntemlerinde biri uygulanır.

Doymuş kuru yüzey halin kesik koni yöntemi ile belirlenmesi: Doymuş kuru yüzey haline yaklaştığı sanılan numune geniş yüzü alta gelecek şekilde yerleştirilen üst iç çapı 38 mm, alt çapı 89 mm ve yüksekliği 73 mm olan koni biçimli metal kalıba gevşek olarak yerleştirilir. Ucu yuvarlatılmış, 25 mm çapında ve 350 gr ağırlığındaki pirinç çubuk ile 25 kez hafifçe sıkıştırılmak suretiyle kalıp alınır ve numunenin konikliğinin bozulması halinde doymuş kuru yüzeye erişildiğine karar verilir.

Doymuş kuru yüzey halin kesme yöntemi ile belirlenmesi: Doymuş kuru yüzey haline geldiği sanılan numune ile yaklaşık yarım küre biçiminde bir yığın yapılır. Yığın mala ile

düşey olarak ikiye bölündüğünde ortaya çıkan yüzey düzlemliliğini koruyamadığı durumda numunenin doymuş yüzeye eriştiği anlaşılır.

Doymuş yüzey haline getirilmiş olan numune tartılır ve doymuş kuru yüzey ağırlığı kaydedilir. Numune etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılarak kuru ağırlığı tespit edilir. Cam ölçü kabı (balon joje) tamamen yaklaşık 20 °C su ile doldurulur ve tartılarak ağırlığı kaydedilir. Kuru ağırlığı tespit edilen numune cam ölçü kabına doldurulur ve üzeri suyla kaplanacak şekilde kaba 20 °C sıcaklığında su ilave edilir. Vakum pompası ile numune içerisine hapsolmuş hava kabarcıkları çıkarılır. Bir saat bekledikten sonra, ölçü kabı yaklaşık 20 °C su ile doldurulur ve tartılarak ağırlığı tespit edilir. Özgül ağırlık deneylerinde doymuş yüzey halini iyi bir şekilde belirlenmesi, deneylerin doğruluğu açısından son derece önemlidir.

İnce agreganın kuru özgül ağırlığı, doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.

- İnce agreganın kuru özgül ağırlığı

$$\beta_k = \frac{W_1}{(W_2 + W_4) - W_3} \quad (4)$$

- İnce agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı

$$\beta_d = \frac{W_2}{(W_2 + W_4) - W_3} \quad (5)$$

- İnce agreganın görünen özgül ağırlığı

$$\beta_g = \frac{W_1}{(W_1 + W_4) - W_3} \quad (6)$$

- İnce agreganın su emme oranı

$$M_f = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (7)$$

Burada:

β_k = İnce agreganın kuru özgül ağırlığı

β_d = İnce agreganın doymun yüzey kuru özgül ağırlığı

β_g = İnce agreganın görünen özgül ağırlığı

M_f = İnce agreganın su emme oranı

W_1 = Numunenin etüv kuru ağırlığı (gr)

W_2 = Numunenin doymun kuru yüzey ağırlığı (gr)

W_3 = Ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı (gr)

W_4 = Su ile dolu ölçü kabının ağırlığı (gr)

1.4.2.2. İri Agregaların Özgül Ağırlığı ve Su Emme Tayini

TS 707'ye uygun olarak ve yaklaşık Tablo 1.6'da gösterilen miktarda oluşturulmuş deney numunesini su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra suya doymun hale getirilmiş olur. Dere yataklarından ve nehirlerden elde edilen agregaları doymun yüzeye getirmek için suda bekletmeye gerek yoktur çünkü bu agregalar konumu itibarı ile zaten doymun haldedirler. İri agregalarda da deneylerde yanılma payını minimuma indirmek için doymun yüzey halinin ve agreganın sudaki ağırlığının çok iyi belirlenmesi gerekir. İri agreganın kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen (zahiri) özgül ağırlık ve su emme oranı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

- İri agreganın kuru özgül ağırlığı

$$\theta_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (8)$$

- İri agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı

$$\theta_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (9)$$

- İri agreganın görünen özgül ağırlığı

$$\theta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (10)$$

- İri agreganın su emme oranı

$$M_c = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (11)$$

Burada;

θ_k = İri agreganın kuru özgül ağırlığı

θ_d = İri agreganın doymuş yüzey kuru özgül ağırlığı

θ_g = İri agreganın görünen özgül ağırlığı

M_c = İri agreganın su emme oranı (%)

W_1 = Numunenin etüv kuru ağırlığı (gr)

W_2 = Numunenin doymuş kuru yüzey ağırlığı (gr)

W_3 = Numunenin sudaki ağırlığı (gr)

Yukarıdaki hesaplanan özgül ağırlıklarda, kuru özgül ağırlık hesaplanırken, agreganın tamamen kuru ağırlığı dikkate alınır. Hacim olarak katı maddenin hacminin yanı sıra su geçirgen ve geçirmeyen boşlukların hacmi de hesaba katılmış olur. Görünen özgül ağırlık hesabında ise yine kuru ağırlık hesaba katılır fakat su geçirgen boşlukların hacmi hesaba katılmaz. Doymuş yüzey hesabında ise ağırlık olarak katı madde ağırlığı ve doymuş durumdaki agrega içerisindeki su ağırlığı hesaba katılır. Hacim olarak da, katı madde hacminin yanı sıra tüm boşlukların hacmi de dikkate alınır.

Agrega özgül ağırlık hesaplarında en çok kuru ve doymuş yüzey kuru özgül ağırlıklar dikkate alınır. Yapılan bu tez çalışması kapsamında da özgül ağırlık değeri olarak doymuş yüzey kuru özgül ağırlıklar esas alınmıştır.

1.4.3. Agregaların Birim Ağırlık ve Yassılık İndeksi Tayini

Belirli bir hacmi dolduran bir miktar agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Birim ağırlık faktörü, sıkışmış birim ağırlık ve gevşek birim ağırlık olarak iki kısımda tayin edilir. Her iki durumda da agrega, etüv kurusundan sabit kütleye gelinceye kadar oda sıcaklığına

soğutulmuş şekildedir. Sıkışmış birim ağırlıkta agregalar, birim ağırlık kabına kademeli olarak sıkıştırma işlemleri (şişleme, tokmaklama) yapılarak konur, gevşek birim ağırlıkta ise agregaya kaba normal bir şekilde konulur, ancak kendi ağırlığı ve dökme esnasında oluşturduğu basınç kadar sıkışmaya maruz kalır.

Birim ağırlık tayininin yapılması agregalar hakkında uygunluk değerlendirmesi yapmamızı sağlar. Birim ağırlık tayiniyle beraber agreganın içerisindeki boşluk hacmi hesaplanabildiğinden boşluğun artması veya azalmasına göre birim ağırlık değeri değişir. Agregada içerisinde hafif maddelerin varlığı birim ağırlık değerini düşürürken agregaya dayanımını da düşürür, beton içinde kullanımını olumsuz etkiler. Agregaların özgül ağırlıklarının artması da birim ağırlığı artırır. Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı ve taşıma gücü de yüksek olur. Beton agregalarının birim ağırlığı, 1.3-1.85 kg/dm³ arasında değişir (Şimşek, 2004).

1.4.3.1. Sıkışmış Birim Ağırlık Tayini

Birim ağırlığına bakılacak agreganın tane büyüklüğüne uygun olarak Tablo 1.7'de verilen değerlere uygun kap seçilir.

Tablo 1.7. Birim ağırlık deneylerinde kullanılacak ölçü kabı boyutları

En Büyük Tane Çapı (mm)	İç Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)	Yaklaşık Hacim (dm ³)
16	155	155	3.5	3
31.5	250	280	3.5	14
125	350	290	3.5	28

TS 707'ye (1980) uygun olarak ve yaklaşık Tablo 1.8'de gösterilen miktar kadar numune hazırlanarak hava kurusu durumuna getirilir. Birim ağırlık kabı üç kademede, her defasında şişlenerek (25 kez) ve tokmaklanarak deney agregası ile doldurulur ve hesaplamalar yapılır.

Tablo 1.8. Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları

Maksimum tane boyu (mm)	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	5	5	5	5	5	5	5	25	25	30	50

Agregaların sıkışmış birim ağırlıkları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (12)$$

Burada;

B_s = Sıkışmış birim ağırlık (gr/cm³)

W_2 = Sıkışmış agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

W_1 = Ölçü kabının boş ağırlığı (gr)

V = Ölçü kabının iç hacmi (cm³)

1.4.3.2. Gevşek Birim Ağırlık Tayini

Deney için gerekli numune miktarı Tablo 1.8 yardımıyla belirlenir ve hava kurusu durumuna getirilir. Hava kurusu durumuna getirilen numune, boş ağırlığı tartılarak belirlenmiş olan birim ağırlık kabına kürek ile taşarcasına doldurulur. Agregalar, birim ağırlık kabına çok yüksekte boşaltılmamalı bu şekilde agregaların sıkışabileceği göz önünde tutulmalıdır. Birim ağırlık kabı tamamen doldurulduktan sonra, üst yüzeydeki fazla agregaya elle sıyrılarak düzlenir sıyırma düzleminden taşan iri agregaya varsa çıkarılarak yerine ince agregaya ilave edilir. Deney esnasında birim ağırlık kabının üst seviyesiyle, numunenin üst seviyesi birbirine eşit olmalıdır.

$$B_g = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (\text{g /cm}^3) \quad (13)$$

Burada:

B_g = Gevşek birim ağırlık

W_2 = Gevşek agregâ ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

W_1 = Birim ağırlık kabının boş ağırlığı (gr)

V = Birim ağırlık kabının iç hacmi (cm³)

1.4.3.3. Agregalarda Yassılık İndeksi Tayini

Agregalarda yassılık indeksi tayininin amacı agregâ yığını içerisindeki, paketlenmeyi olumsuz etkileyen ve agregâ yığınının birim ağırlığını ve kompasitesini düşüren yassı ve uzun tanelerin miktarını tespit ederek agreganın uygunluğunu araştırmaktır. Yassılık indeksi tayini 4-80 mm arasındaki agregalara uygulanır (TS 9582 EN 933-3, 1999). Yassılık indeksi tayininde kare gözü açıklıklı elek aralıklarında kalan malzeme belirtilen açıklıklı silindirik çubuklu eleklerden de elenerek oranlanır. Numuneler, Tablo 1.9'da belirtilen elek boyutlarına göre hangi aralıktaysa ona göre silindirik çubuklu elek seçilir.

Tablo 1.9. Yassılık indeksi için elek açıklıkları

Kare Gözlü Elek Aralıkları (mm)	Silindirik Çubuklu Eleklerin Açıklığı (mm)
63-80	40
50-63	31.5
40-50	25
31.5-40	20
25-31.5	16
20-25	12.5
16-20	10
12.5-16	8
10-12.5	6.3
8-10	5
6.3-8	4
5-6.3	3.15
4-5	2.5

4 mm lik elekten geçen ve 80 mm lik elekte kalan taneler işlem dışı bırakılır. Aynı şekilde eğer deney numaralandırılmış mıcirlara yapılıyorsa, mıcırların belirlenmiş alt ve üst sınır eleklerinden elenen numunelerin miktarları işlem dışı bırakılır. Her elek açıklığı (kare gözlü elekler) arasında kalan miktar bir de silindirik çubuklu eleklerden elenerek oranlanır. Örneğin; 31.5-25 mm aralığında kalan agregâ miktarı kaydedilerek, 16 mm boyutundaki silindirik çubuklu elekten elenir ve bu miktar da kaydedilir. Silindirik çubuklu

elekten geçen miktarların kütlesi başlangıç kütlesine bölünerek yüzde alınır. Yassılık indeksi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$F_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100 \quad (14)$$

Şayet, R_i kütlelerinin toplamı ile işlem dışı bırakılan tane büyüklüğü fraksiyonlarının kütleleri toplamı, deney numunesinin başlangıç kütlesinden %1'den fazla farklı ise diğer deney kısmı kullanılarak deney tekrarlanır.

Burada:

m_i = silindirik çubuklu elekten geçen malzeme kütlesi (gr)

R_i = kare gözlü elekler arasında kalan (d_i/D_i) malzeme kütlesi (gr)

F_i = yassılık indeksi

Benzer şekilde toplam yassılık indeksi hesaplanırken:

$$F_T = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (15)$$

Burada:

M_2 = her tane büyüklüğü fraksiyonunun çubuklu eleklerden geçen toplam kütlesi (gr)

M_1 = her tane büyüklüğü fraksiyonundaki kütlelerin toplam kütlesi (gr)

Agrega içerisinde yassı tanelerin oranı %50 den az olmalıdır. Eğer bu kusurlu tane oranları yükselirse bu agregalarla üretilen betonun su kusması fazla olur ve kompasitesi azalır. Pratikte agrega yığnında %10'u geçen yassı tane içeriği olması istenmez.

1.4.4. Agregaların Dona Dayanıklılık Tayini

Agregaların dona dayanıklılığını tespit etmek için iki yöntem kullanılır. Fiziksel ve kimyasal yöntem olarak ayrılan bu yöntemlerin temel mantığı dondan dolayı oluşan kaybın miktarının hesaplanmasıdır. Fiziksel yöntemde, belirli bir boyut aralığına indirgenmiş (örneğin 4-8 mm boyut aralıklı mıcır) agrega soğutularak dondurulmakta ve tekrar oda sıcaklığına getirilerek donma-çözülme reaksiyonuna maruz bırakılarak ve dolayısıyla oluşan kayıplar (reaksiyon sonucu ufalanarak 4mm'lik eleğin altına geçen miktar) hesaplanmaktadır. Kimyasal yöntemde de belirli boyut aralığındaki agrega magnezyum

sülfat veya sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılıp (17 ± 1 saat boyunca) daha sonra oda sıcaklığına getirilmesiyle magnezyum veya sodyum sülfatın kristalleşip tekrar su almasıyla (işlem 5 kez tekrarlanır) agregadaki boşluklarda oluşan kayıplar hesaplanır. Dona dayanıklılık testi iri agregalara uygulanır (TS EN 1367-2, 1999).

Dona dayanıklılık dayanımının tayini için genellikle kimyasal yöntemler kullanılır. Örneğin, ASTM-C 88 sodyum sülfat veya magnezyum sülfat deneyi ve TS EN 1367-2 no'lu magnezyum sülfat deneyi.

Bu tez çalışmasında da agregalara uygulanan dona dayanıklılık tayini için ASTM-C 88 test metodu izlenmiştir.

Magnezyum sülfat çözeltisi: Yoğunluğu $1.295-1.308 \text{ gr/cm}^3$ olacak şekilde bir litre saf suyun içerisinde 1230 gram magnezyum sülfat heptahidratın çözünmesiyle hazırlanır (ASTM-C 88, 1994). Hesaplamalar aşağıdaki formülle yapılır.

$$M_s = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \quad (16)$$

Burada;

M_s = Don kaybı (%)

M_1 = Deney numunesinin ilk kütlesi (gr)

M_2 = Deney sonrası alt elekte kalan kısmın kütlesi (gr)

Deney numunesinde ASTM-C 88'e göre oluşan kayıplar %18'i geçmeyecek oranda olmalıdır. Deney numunesi miktarı, sınır değerler ve kayıp belirleme elekleri Tablo 1.10'da gösterilmiştir.

Tablo 1.10. Don dayanımı testi, elek açıklıkları ve numune miktarları (ASTM-C 88, 1994)

Elek açıklığı (mm)	Numune miktarları (gr)	Kayıp belirleme eleği (mm)
63-37.5	5000	31.5
37.5-19	1500	16
19-9.5	1000	8
9.5-4.75	300	4

1.4.5. Agrega Aşınma Dayanımı Tayini (Los Angeles)

Agreganın aşınma direncini belirlemek için genellikle, ASTM-C 131 ve TS EN 1097-2 deney metotları kullanılır. Bu deney metotlarında agrega numunesi bilyeli bir tamburun içerisine konularak belirli sayıda döndürülmek suretiyle aşınması kontrol edilir. ASTM-C 131 standardına göre Tablo 1.11’de gösterilen elek aralıkları ve numune ağırlıklarına göre bilye yükleri esas alınır.

Tablo 1.11. Deney tiplerine göre standart numune miktarları, top sayıları ve elek açıklıkları (ASTM-C 131, 1994)

ELEK ARALIĞI		DENEY TİPİNE GÖRE STANDART NUMUNE AĞIRLIKLARI (gr)			
GEÇEN(mm)	KALAN (mm)	A	B	C	D
37.5	25	1250	-	-	-
25	19	1250	-	-	-
19	12.5	1250	2500	-	-
12.5	9.5	1250	2500	-	-
9.5	6.3	-	-	2500	-
6.3	4.75	-	-	2500	-
4.75	2.36	-	-	-	5000
STANDART NUMUNE AĞIRLIĞI (gr)		5000	5000	5000	5000
STANDART ÇELİK BİLYE SAYISI (adet)		12	11	8	6

Bilyeli tambur içerisine (Şekil 1.2.), yukarıdaki tipe, aralıklara göre konulan malzeme yine tablodan seçilen çelik bilye (top) yükü ayarlanarak birlikte döndürülmeye başlanır. Her bir çelik top 400-450 gr ağırlığındadır ve deney numunesi etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığına soğutulmuş vaziyette olmalıdır. İçerisine bilye ve numune yerleştirilen tambur dakikada 30-33 devir yapacak şekilde döndürülmeye başlanır ve işlem sonunda tambur içerisinden numune kütle kaybı olmayacak şekilde alınır ve 1.7 mm. elekten elenir. Elek altına geçen miktarın, başlangıç miktarının ne kadarına eşit olduğuna bakılır (% olarak) elde ettiğimiz sonuç Los Angeles katsayısını (LA) verir.

$$LA = \frac{m}{B} \times 100 \quad (17)$$

Burada, m (gr), 1.7 mm elekten geçen fraksiyon, B (gr) numunenin ilk kütlesidir.

Aşınma veya parçalanmaya dayanıklı bir agreganın, bilyeli tamburun 100 ve 500 devir döndürülmesi sonucu ortaya çıkan aşınma sırasıyla, %10 ve %50 den fazla olmamalıdır.



Şekil 1.2. Los Angeles makinesinin iç ve dış görünüşü

1.4.6. Agregaların Darbe Dayanımı Tayini

Agregaların darbe dayanımının belirlenmesindeki temel amaç agregaların mekanik direncini yani ani şok ve çarpmalara karşı olan direncini ölçmektir. Agreganın darbe aşınmasının %35'in altında olması istenir. Agreganın numunesi 8-12.5 mm fraksiyonlarına ayrılır, 8-10 mm aralığı malzemeden hacimce %50, 10-11.2 mm aralığından %25 ve 11.2 - 12 mm aralığından %25 olacak şekilde numune hazırlanır. Tane yoğunlukları biliniyorsa 8-10 mm aralığındaki fraksiyondan, bu fraksiyonun yoğunluğu ile 0.25 katsayısının çarpımı sonucu bulunduğumuz değer (kg) kadar alınız ve diğer aralıklarda ise bu katsayı 0.125 alınır ve aynı işlem tekrarlanarak bulunan sonuçlar kilogram olarak alınır. Deney numunesi yüzeyi kuru hale getirilir ve darbelenme aletinin haznesine konulur. Darbelenme deney aletinin (Şekil 1.3) haznesi 75 mm iç çaplı ve 50 mm yükseklikli metal mezürden oluşur. Bu mezür üç kademede doldurulur ve aletin tokmağı (13.5 kg ağırlıklı) 370 mm yüksekliğe kaldırılarak haznedeki numuneye 15 defa darbe verilir. İşlem sonunda toplam numune 8mm - 5mm - 2mm - 0.63mm - 0.2mm eleklerinden elenerek her elekten geçen miktarların yüzdesi ilk deney numunesinin miktarına göre hesaplanır (TS EN 1097-2, 2003). Darbe ile parçalanma SZ değeri % olarak formüldeki gibi hesaplanır.

$$SZ = \frac{M}{5} (\%) \quad (18)$$

Burada:

M = Beş deney eleğinden % olarak geçen değerlerin toplamıdır.



Şekil 1.3. Agregada darbe dayanımı test cihazının görünüşü

1.4.7. Agregaların Basınç Dayanımı

Agregaların basınç dayanımının tayini için agregaların kaynağını oluşturan kayaçlar incelenir. Bu kayaçlardan elde edilen karot numuneleri tek eksenli basmaya maruz bırakılarak dayanımları hesaplanır. Deney numunelerinin boylarının çaplarına olan oranı 2.5-3 arasında olmalıdır ve numunelerin alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel olmalıdır. Basınç dayanımının hesaplanması için genellikle NX tipli karotların kullanımı tercih edilir. NX tipli bir karotun çapı 54.7 mm, en kısa boyu 136.8 mm ve en uzun boyu 164.1mm'ye karşılık gelir. Agregada basınç dayanımının hesaplanması aşağıdaki formül yardımıyla yapılır.

$$F = \frac{P}{A} \quad (19)$$

Burada:

P = kırılma yükü (kgf)

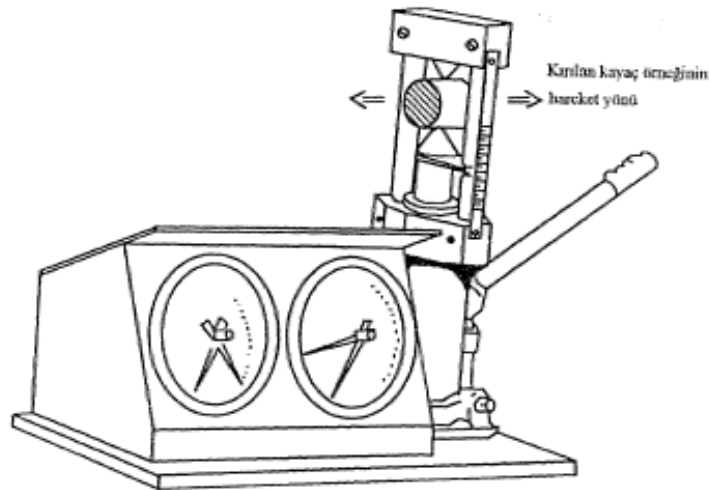
A = numunenin temas alanı (cm^2)

F = basınç dayanımı (kgf/cm^2)

Bazı kayaçların basınç dayanımına bakacak olursak granit 2000 kgf/cm^2 , kalker 1600 kgf/cm^2 , kumtaşı 1300 kgf/cm^2 dir (Erdoğan, 2007).

1.4.8. Agregaların Nokta Yükleme Dayanımı

Agregaların nokta yükleme dayanımını hesaplamak için agregaların elde edildiği kaynak kayaçlar kullanılır. Nokta yükleme deneyi günümüzde mühendislik jeolojisiyle ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney iki konik uç (platen) arasında sıkıştırılan kayaç örneğinin (Şekil 1.4) yenilme yükü ve boyutları kullanılarak nokta yükleme dayanım indeksinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Elde edilen nokta yükleme, dayanım indeksi, kayaçların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kayaç anizotropisinin saptanmasında, kaya kütle sınıflamasında, tünel açma makinelerinin çalışma hızının belirlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmıştır ve beton içinde nokta yükleme dayanım deneyleri uygulanmıştır (Topal, 2000).



Şekil 1.4. Nokta yükleme deney aleti

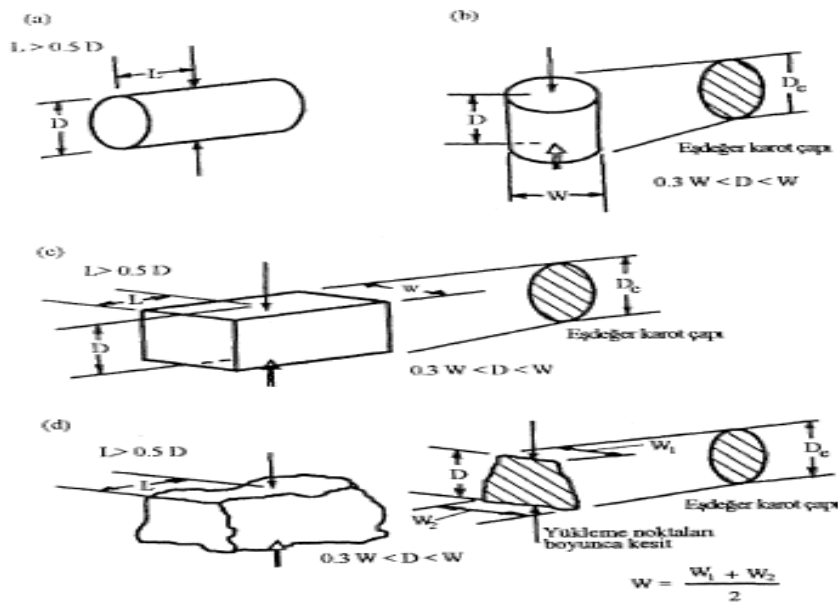
Nokta yükleme deney aleti; yükleme sistemleri (pompa, gövde, konik uç), yük göstergesi ve deney esnasında konik uçlar arasındaki mesafeyi gösteren sistemlerden oluşur. Nokta yükleme deneyinde örneklere;

- Çapsal deney (karot eksenine dik yönde yükleme yapılır).
- Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme yapılır).
- Blok ve düzensiz şekilli örneklerde deney, olmak üzere üç farklı şekilde yapılır.

Çapsal Deney: Bu deney için karot örneklerinin uzunluğunun çapına oranı $L/D > 1$ olması gerekmektedir (Şekil 1.5 a). Kayaç örneği heterojen veya anizotrop ise deney en az 10 örnek üzerinde yapılır. Numuneler 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yüklenmelidirler.

Eksenel Deney: Bu deneyde D/W oranı 0.3-1 arasında olmalıdır (şekil 1.5 b). Yine anizotrop kayaç durumunda deney 10 örnek üzerinde 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde uygulanır.

Blok ve Düzensiz Numunelerde Deney: Kalınlık (D) ve genişlik oranı (W) 0.3 ile 1 arasında tercihen 1'e yakın olmalıdır. Konik uçların temas noktasıyla en yakın numunenin serbest ucu arasındaki mesafe (M) kalınlığın (D) en az yarısı kadar olmalıdır. Şekilsiz örneklerin kenarları birbirine paralel değilse W uzunluğu şekil 1.5d'de gösterildiği gibi ortalama W değeri hesaplanır (Şekil 1.5'deki c ve d'de sırasıyla blok ve düzensiz şekilli numuneler görülmektedir).



Şekil 1.5. Nokta yükleme deneyi numune şekilleri (Topal, 2000)

Hesaplamalar: Nokta yükleme deneyinde yenilme yükü (P), numune boy, çap ve genişliği (L, D, W) kullanılarak ilk önce düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı I_s hesaplanır.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (20)$$

Burada;

I_s = Düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (Mpa)

Çapsal deneyde; $De^2 = D^2$,

Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde; $De^2 = 4S / \pi$

Buradaki S, ise konik başlıklar arasında kalan en küçük temas alanıdır.

$$S = D \times W$$

Boyut düzeltmesi: I_s değeri; çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise, D_e 'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle, I_s değerinin standart bir karot çarpımına ($D=50\text{mm}$) göre düzeltilmesi gerekir. Bu amaçla düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi;

$$I_{s(50)} = F \times I_s \text{ (Mpa)} \quad (21)$$

Burada boyut düzeltme faktörü F şu şekilde hesaplanır;

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (22)$$

Burada:

I_s = Nokta yükü indeksi (Mpa)

$I_{s(50)}$ = Düzeltilmiş nokta yükü indeksi (Mpa)

P = Yenilme yükü (N)

D_e = Eşdeğer karot çapı (mm)

D = Karot çapı (mm)

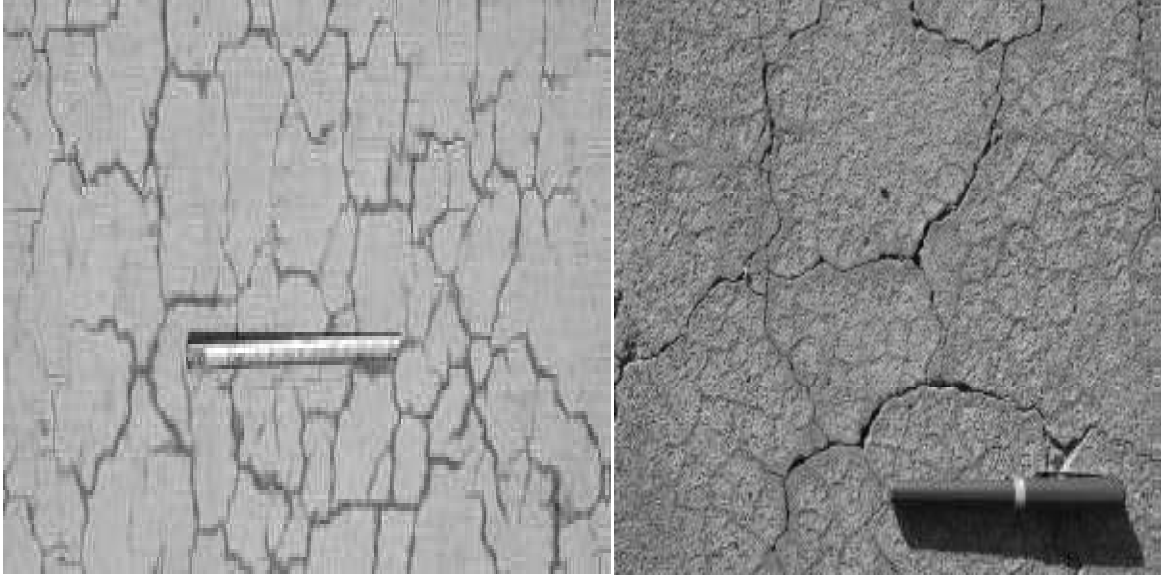
A = Kesit alanı (mm^2)

W = Genişlik (mm)

F = Boyut düzeltme faktörü.

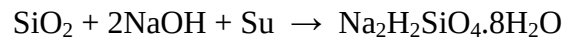
1.5. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)

Genel olarak, beton agregaları atıl (kimyasal etkisi olmayan, tembel) malzemeler olarak kabul edilmektedir. Ancak, reaktif silika veya reaktif karbonat içeren bazı agregalar, zamanla, betonun içerisindeki alkalilerle reaksiyona girebilmekte ve çok büyük genleşmelere ve çatlamalara (Şekil 1.6) yol açabilmektedir. Reaktif silika içeren agregalarla alkaliler arasındaki reaksiyon ‘alkali-silika reaksiyonu’ olarak adlandırılmaktadır. Opalinli çörtler, kalkedonik çörtler, kuvarsik çörtler, silisli kalkerler, silisli dolomitler, dasitler ve tüfleri, andezitler ve tüfleri ve silisli şeyler reaktif silika içeren kaya türleridir. Betonun içerisindeki alkaliler genellikle, betonda kullanılan çimentonun içerisinde bulunan alkalilerden (Na_2O ve K_2O ’dan) kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 2007).



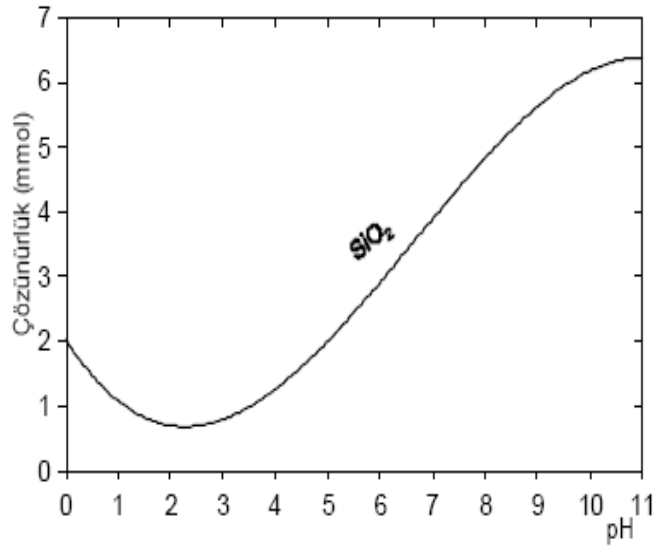
Şekil 1.6. Alkali-Silika reaksiyonunun betonda neden olduğu harita çatlakları

Alkali-silika reaksiyonu, alkalilerin, agregadaki reaktif silikaya hücum etmesiyle başlamaktadır. Bu reaksiyonun sonucu olarak, agrega tanelerinin yüzeyinde, ‘alkali-silika jeli’ denilen ve formülde gösterilene benzer yapıda jeller oluşmaktadır (Erdoğan, 2007).



Bu reaksiyon sonucu betonda çatlaklar oluşmakta, betonun çekme ve çekmede eğilme dayanımı düşmektedir. Özellikle tünel, köprü ve viyadük gibi büyük sanat

yapılarında meydana gelen bu reaksiyon, önemli teknik ve ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Reaksiyonun oluşumuna neden olan jeokimyasal süreç incelendiğinde ise silisyumun çözünürlüğünün, pH'ın 10 olduğu durumlarda en üst düzeye çıkması şeklinde açıklanabilir. Çimento harcının pH değeri kullanılan çimento türüne göre değişmekle beraber bu değer portland çimentolarında en az 12.5 seviyesindedir. Bu değer ortamda agrega olarak bulunan silis minerallerinin çözünmesi (Şekil 1.7) için yeterli bir değerdir (KGM, 2003).



Şekil 1.7. Silis çözünürlük sınırları (Erik vd., 2004)

Genel olarak betonun yaklaşık 5 cm' lik kısmına kadar önemli oranda nem içermesi (%100'e kadar) reaksiyonun uzun bir süre içerisinde ilerlemesine yol açmaktadır. Bu reaksiyonun oluşumuna etki eden faktörler arasında kullanılan agreganın mineralojik bileşiminin yanı sıra alkaliniteside önemlidir. Beton bileşeni olarak kullanılan çimentonun türü ve kimyasal bileşimi ASR yönünden değiştirilebilir bir faktör olarak görülmektedir. Portland türü çimentonun içinde bulunan alkalilerin oranı (Na_2O ve K_2O) %0.6'nın üzerinde olması durumunda ASR bakımından çimento riskli grupta yer almaktadır (Erik ve Mutlutürk, 2004).

ASR'nin oluşturduğu reaksiyon iki aşamada gerçekleşir:

- Alkali + Reaktif Silika $\rightarrow$ Alkali Silika Jel Ürünleri
- Alkali Silika Jel Ürünleri + Rutubet $\rightarrow$ Genleşme

Betonda içsel çekme gerilmelerinin oluşumu 1. aşamadaki jel oluşumu ile eş zamanlı değildir. Bu nedenle jelin varlığı mutlaka ciddi boyutta ASR tahribatı oluşacağı anlamını taşımayabilir (Aşık vd., 2003).

Rutubet, alkali iyonlarının yayılmasına, bu yayılma reaksiyon zonlarında jel oluşumuna, oluşan jel de (Şekil 1.8) su emerek şişip genleşmeye ve betonda içsel çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Servis ömrü boyunca kuru kalan bir betonda ASR ciddi bir tehlike olmayabilir. Araştırmalar bağıl nem oranı % 80'in üstünde olan betonlarda ASR'nin oluştuğunu göstermektedir. Düşük su/çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir yolla beton geçirimsizliği azalırsa, rutubetin betona girişi ve beton içinde dolaşımı azalır. Dolayısıyla içinde alkalilerin yayılması da azalmış olur.

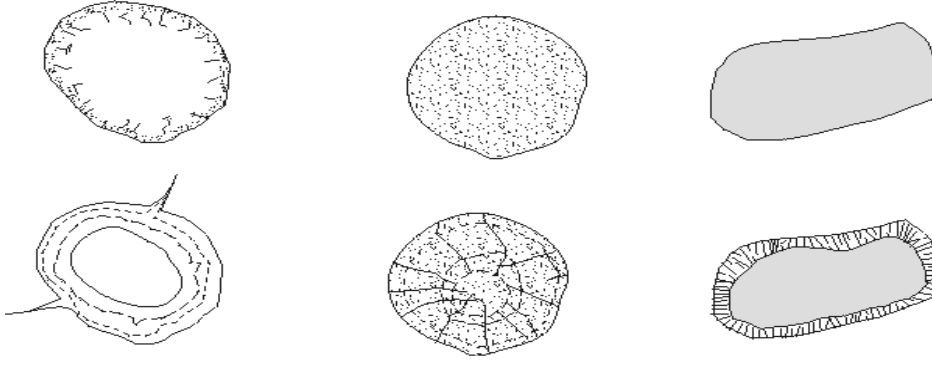
1.5.1. ASR'nin Oluşumu

Sıcaklık artışı alkali-silika reaksiyonu hızını arttırmaktadır. Agregaların büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktivite göstermektedir. Ayrıca sık kuruma-ıslanma tekrarı betonda alkali taşınmasını kolaylaştırmakta ve alkalilerin kuruma bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır (Aşık vd., 2003).

Beton veya çimento için kullanılan toplam alkali içeriği terimi “sodyum oksit eşdeğeri” olarak ifade edilir ve aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq.}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O} \quad (23)$$

Alkali-silika reaksiyonu üç aşamada meydana gelir; reaktif silikanın çözülmesi, kalsiyum-sodyum-potasyum jelinin oluşması ve su absorpsiyonu ile jelin genişlemesi. Silisin çözülmesi hidroksit iyonlarının (OH) atağı neticesinde iki aşamada olur. Hidroksit iyonlarının mevcudiyeti betonda sadece $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tarafından değil aynı zamanda NaOH ve KOH tarafından da sağlanır. Silikanın çözünme hızı katı parçacıklar içindeki çatlaklarda mevcut olan alkali sıvının difüzyonundan etkilenir. İyonların türü ve iyonik konsantrasyon bu hızı kontrol eder. Çünkü tanecikler içine giren sıvı aynı zamanda hidroksit iyonlu katyonları sürükler ve bu katyonların iyonik yarıçapları difüzyonu sınırlayabilir. Bu yüzden daha küçük iyonik yarıçapa sahip potasyum katyonları daha yüksek difüzyon hızına sebep olabilir. Aynı nedenle lityum tuzları ASR'yi önleyici karışım olarak kullanılır. Çünkü daha büyük iyonik yarıçapa sahip olan lityum hidroksit difüzyonun bazı bölgelerde oluşumuna engel olur (Akman, 2000).



Şekil 1.8. Farklı reaktif agregalardaki jel oluşumları

Reaktif silika mineralleri agrega tanesinin bünyesinde gelişigüzel bir dağılımla yer almaktadır. O nedenle, bu minerallerle alkaliler arasındaki reaksiyonlar, sadece, agrega tanesinin yüzeyinden başlayarak içeriye doğru uzanmamaktadır; agrega tanesinin değişik bölgelerinde bulunan silika, alkalilerle reaksiyona girebilmekte böylece agrega tanesinin bütünlüğü zedelenmiş olmaktadır (Erdoğan, 2007).

Tablo 1.12. Alkali - silika reaksiyonu oluşturabilecek reaktif silika mineralleri ve bunların bulunduğu kayaçlar (Erdoğan, 2007)

Reaktif Silika	Fiziksel Şekil	Yer Aldığı Kayaç Türü	Karşılaştığı Yerler
Opal	Amorf	Silisli kalker, çört, şeyl	Oldukça yaygın
Camsı silika	Amorf	Riyolit, andezit, dasit, volkanik tüf	Volkanik bölgelerden ve bu bölgelerden kaynaklanan nehirlerden elde edilen agregalar
Kalsedon	İnce fiber kristalli	Silisli kalker, Kumtaşı, çört	Oldukça yaygın
Tiridimit ve kristobalit	Kristal	Opalin kayalar, pişirilmiş seramik	Nadiren
Kuvars	Kristal	Kuvarsit, kum, granit, şist	Oldukça yaygın ancak mikro kristalli yapıda ise reaktif

1.5.2. Alkali Silika Reaksiyonunun Oluşumunu Azaltıcı Önlemler

Alkali-silika reaksiyonunun oluşmaması için beton içerisinde bulunan alkali miktarının çok az olması veya agregaların böyle bir reaksiyonu başlatacak miktarda reaktif silika içermemesi gerekmektedir.

ASTM standartlarına göre beton yapımında kullanılacak çimentodaki $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ değerinin %0.6'dan fazla olmaması gerekmektedir (ASTM-C 150, 1994). Bu

önlemlerin yanı sıra beton üretiminde ince taneli puzolanik katkı kullanılması, sertleşmiş betondaki alkali silika reaksiyonunun az olmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni puzolanik katkı içeren agregalarda çok fazla alkali bulunmuyor olmasıdır. Beton üretiminde düşük su/çimento oranının kullanılması ve betonun geçirimsiz olması da ASR'yi önleyici etki sağlar. Geçirimsiz betonlara daha az su girmesi sonucunda ASR jellerinin emebileceği su miktarı azaltılmış olmaktadır (Erdoğan, 2007).

Beton yapımında puzolanik madde kullanımı da ASR'yi önlemektedir. Puzolanlar çimentonun serbest kireci ile reaksiyona giren ve çimentomsu özellik kazanan silisli ve alüminli malzemelerdir. ASR'yi önlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur, ancak öncelikle bu faktörlerden bir veya daha fazlasının ortadan kaldırılması bir önlem olarak ele alınmalıdır. Bu yöntemler;

- Reaktif agreganın saptanması ve agrega seçimi
- Alkalilerin azaltılması ve çimento seçimi
- Rutubet ve geçirimsizliğin azaltılması
- Mineral katkı maddesi kullanılması

1.5.3. Alkali Silika Reaksiyonunun Belirlenmesi

Belli bir agreganın, alkali silika reaksiyonu sebebiyle genişlemeye yol açıp açmadığını belirlemek için genelde mevcut agreganın nitelikleriyle ilgili tecrübelerin dikkate alınması gereklidir. Bununla birlikte, agregadaki reaktif bileşenlerin %0.5 gibi küçük bir oranın dahi zarara yol açabileceği unutulmamalıdır. Agreganın ya da agrega çimento birleşiminin reaktifliğinin tespiti için kullanılan pek çok deney metodu vardır. En sık kullanılan yöntemler, agrega-çimento karışımında uygulanan ASTM-C 227 ve ASTM-C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu metotlarıdır (Çullu vd., 2010).

1.5.3.1. Harç Çubuğu Metodu (ASTM-C 227)

Bu metot ile belirli şartlarda kürlenmiş harç numunelerinin, belirtilen süre sonundaki boy değişimleri (genleşme yüzdeleri) ölçülür. Kullanılan agrega standart sınıflandırmalara uygun olmalıdır. Agregaların petrografik incelemeleri ve kimyasal metot uygulanarak bu deney verilerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması, çimento agrega kombinasyonlarının reaktivitesinin belirlenmesinde daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Kullanılan çimentonun alkali içeriği kütleye en az %0.6 Na₂O eşdeğeri olmalıdır. Genelde alkali içeriği %1.0-%1.2 Na₂O eşdeğeri olan çimento kullanılır.

Numuneler %100 bağıl nem ortamında, 37.8° C (100° F)'de, kenarlarında ortamı nemli tutan fitil görevi gören kurutma kâğıdının bulunduğu kapalı kaplarda su üzerinde ve periyodik olarak boy ölçümleri yapılır. ASTM-C 33'e göre agrega potansiyel reaktivite olmadığı kabul edilen en yüksek genleşme altı ayda % 0.10 ya da uzun test süreleri uygun olmadığı takdirde 3 ayda %0.05 olmalıdır. Deneyin sonuçları, çimentonun alkali içeriğinden, fitillerin bulunup bulunmamasından ve su/çimento oranından etkilenmemektedir. Bu deneylerin uygulanışında fitil kullanıldığından fitiller suyun çubuklar üzerinde yoğunlaşmasına sebep olur ve böylece alkaliler harçtan uzaklaşır. Deneylerde, fitil kullanılmaması, karışım suyuna NaOH eklemek suretiyle alkali içeriğinin çimentonun kütlece %1.25 eşdeğer Na₂O seviyesine çıkarılması, su/çimento oranının kırılmış agrega için 0.50, doğal agrega için 0.44 seviyesinde tutulması önerilmektedir. Bu deneyin bir diğer avantajı da çimento-agrega bileşimlerinin ASR'ye uygun ortam sağlayıp sağlamadıklarını ölçmesidir. Bunun yanı sıra, bazı yavaş reaktif agregaların reaktivitelerinin saptanamaması deneyin dezavantajıdır.

1.5.3.2. Kimyasal Metot (ASTM-C 289)

Bu test yöntemi etkin bir eleme testi niteliğindedir, silisli agregaların reaktivitesini ölçmede kullanılır. Bu yöntemde 25 gramlık 150-300 µm'ye kırılmış üç adet agrega numunesi alkali çözeltide (1 N sodyum hidroksit) 80° C'de bir gün bekletilir. 24 saat sonra çözelti filtre edilir ve asitte titre yöntemiyle çözölmüş silis miktarı ile alkalinitedeki azalma ölçölür. Sonuçlar eğride incelenerek kontrol edilir. Rc alkalinitedeki azalmayı, Sc ise çözölmüş silisi ifade eder. Agrega üç aralıktan birine düşer; zararsız, zararlı ya da potansiyel zararlı. ASTM-C 289 test metodu yavaş reaksiyona giren agregaların ölçümünde başarısızdır. Ayrıca magnezyum silikat içeren agregalar için doğru sonuçlar vermeyebilir. Söz konusu test yararlı bir araştırma yöntemidir fakat hangi agregalarda reaktivite potansiyeli olduğunu saptamakta yetersiz olduğundan başka güvenilir testlere ihtiyaç duyulmaktadır.

1.5.3.3. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM-C 1260)

Bu metot, numune agregalar kullanılarak elde edilen harç çubuklarının yüksek alkalinitedeki çözeltide yüksek sıcaklıkta saklanması ve uzunluk değişimlerinin ölçölmesinden ibarettir. Standartta belirtilen gradasyondaki agrega, kütlece çimentonun 2.25 katı kadar kullanılarak su/çimento oranı 0.47 olan harç karışımı hazırlanır. 25 x 25 x

285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen harç numuneleri 24 saat sonra kalıplarından alınarak ilk boylar ölçülür. Kalıp sökümünden itibaren 14 gün süreyle 80 ° C 1 N NaOH çözeltisinde bekletilir ve periyodik ölçümleri alınır. Standart, çimentonun alkali miktarı hakkında bir değer vermez çünkü kür koşullarından dolayı numunelerin boşluk çözeltisi alkalinitesi artmaktadır. 14 gün sonunda maksimum % 0.1 gibi bir genleşme değeri temel alındığında, hızlandırılmış harç çubuğu metodunun mineral katkıların etkinliği konusunda beton prizma metodu ile benzer sonuçlar verdiği farklı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Bu sebeple 2 yıl gibi bir bekleme süresinin olmadığı durumlarda bu metodun kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu deney, mineral katkıların kullanım oranları hakkında daha etkin bilgiler vermektedir.

Kanada standartlarına göre, kanada yöntemi olarak bilinen metotta, mineral katkıların etkinliğinin belirlenmesi amacıyla hızlandırılmış harç çubuğu metodu modifiye edilmiş şekilde kullanılmıştır. Bu standart, mineral katkısı konmayan kontrol numunesindeki agreganın minimum % 0.30 gibi bir genleşme değeri vermesini şart koşturmaktadır. Buna göre, deney süresi sonunda kontrol numunesi genleşmelerini % 0.1'in altına düşüren minimum katkı miktarı, kullanılabilecek "emniyetli miktar" olmaktadır.

ASTM-C 1260'ın ağır deney koşulları yavaş reaksiyon gösteren ASTM-C 227 ile saptanamayan agregaların saptanmasında yararlıdır.

1.5.3.4. Beton Prizma Metodu (ASTM-C 1293)

Bu metot, ASR nedeniyle betonda oluşan boy değişimiyle agregaların reaktivitesi hakkında bilgi vermektedir. 75 x 75 x 285 mm ölçülerde hazırlanan numuneler sızdırmaz kap içinde su üzerine %100 bağıl nemde 37.8 °C'de (100 °F) saklanır. Kullanılan numunelerin su/çimento oranı 0.42 ile 0.45 arasındadır. Bu oranda betonun alkali içeriği 5.25 kg / m³ değerindedir. Kullanılan çimentonun eşdeğer Na₂O içeriği, karışım suyuna NaOH eklenerek çimentonun kütlegece %1.25'ine yükselir. Belirli koşullarda saklanan numunelerin boy değişimleri birinci gün alınan ölçümlerle karşılaştırılır ve %0.001'lik hata payıyla yapılır. Ölçümler 7, 28 ve 56 gün sonra, ardından 3, 6, 9 ve 12 ay sonra alınır. Bir yıl sonundaki genleşme %0.04 veya daha fazla ise potansiyel tehlikeli davranış söz konusudur. Bu metot, beton üzerinde uygulandığından, gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekte ve bu sebeple diğer deney metotları yetersiz kaldığında kullanılmaktadır. Ancak deneyin uzun sürmesi dezavantajdır. Bu metot, mineral ve kimyasal katkıların ASR genleşmelerine etkisi hakkında en gerçekçi sonuçları vermektedir. Mineral katkıların

etkinliği değerlendirilirken 2 yıllık genleşme değerinin % 0.04 olarak alınması ve karışımın alkali içeriğinin çimentonun kütlege % 1.25'i değerine arttırılması önerilmektedir. ASTM-C 1293 ile ASTM-C 227 arasında her ikisinde de çimento agrega bileşimi söz konusu olması açısından benzerlik mevcuttur. Her ikisinde de anlamlı sonuçlar elde edilmesi bir yılı bulabilir; ASTM-C 1293 testi, ASTM-C 227, ASTM-C 289 ve ASTM- C 1260 testlerinden elde edilen sonuçları desteklemek amacıyla kullanılmalıdır. Bunların yanı sıra, jel-pat metodu ve Alman çözünme metodu gibi bir dizi başka deney yöntemleri de mevcuttur.

1.6. Çimento ve Beton

1.6.1 Çimento

Çimento (cement) kelimesi Latince bir kelime olup “bağlamak” anlamına gelir. Eski mısırlılar tarafından piramitlerin yapımında kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalılar volkanik tüf (sünger taşı) ile kireci karıştırarak çimento yapıp kullanmışlardır ve bununla yapılan yapılar hala ayaktadır. 1824’de bir İngiliz Joseph Asphdin killi bir kireç taşının kalsinasyonu ile (pişirme) yapay çimento üretiminin patentini almıştır. Bu ürüne *portland* ismini vermesinin sebebi ise İngiltere yakınlarındaki Portland adasından çıkarılan ünlü yapıtaşlarına benzemesidir. Çimento esas itibarı ile diğer bağlayıcı ürünlerden (kireç ve puzolan içerikli bağlayıcılar) farklı olarak hidrolik bir bağlayıcıdır yani su altında piriz olarak sertleşebilen bir yapıya sahiptir. Portland çimentosu üretebilmek için, önce, kalkerli ve killi malzemelerden oluşan hammadde karışımı yüksek sıcaklıklarda (1350-1450 °C) pişirilerek klinker adı verilen bir ürün elde edilmektedir. Daha sonra sıcaklığı çevre sıcaklığına düşürülen klinkere %3-6 oranında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edilerek bu iki malzeme birlikte öğütölmektedir (Erdoğan, 2007).



Şekil 1.9. Klinker üretimi akım şeması blok diyagram

Portland çimentosu elde etmek için klinker üretimi akım şeması blok diyagramı yukarıdaki gibidir (Şekil 1.9). Taş ocağından elde edilen hammaddeler belirli oranlarda karıştırılarak döner fırına ve soğutucuya gönderilirler.

1.6.2. Çimento Hammaddeleri

Çimento üretiminde hammadde olarak kalker, kil veya marn kullanılır. Bunun yanı sıra hammadde karışımının demir oksit miktarı yetersiz olduğunda, bunu telafi etmek için demir cevheri veya pirit külü de hammadde karışımının bir bileşeni olarak kullanılır. Benzer şekilde silisyum dioksit miktarı yetersiz kaldığında bunu karşılamak amacıyla yüksek silisli kum hammadde olarak kullanılır.

Kalker: Kalker çimentonun en önemli ve hacim olarak çimento bünyesinde en fazla bulunan hammaddesidir. Çimentoyu oluşturan ana bileşiklerin hepsi CaO 'lu bileşenlerdir. Kalkerler genellikle yüksek miktarda kalsit (CaCO_3) ve çok az miktarda kuvars (SiO_2) minerallerini ihtiva ederler. Kalkerlerin Mohs sertliği 1.8-3.0 aralığındadır ve yoğunlukları 2.6-2.8 g/cm^3 değerleri arasındadır.

Kil: Çimento üretiminde ikinci önemli hammadde kil dir. Killeri oluşturan ana bileşenler sulu alüminyum silikat bileşikleridir. Killer; kaolin, montmorillonit ve illit gibi önemli kil minerallerinin yanı sıra önemli ölçüde demir oksit, demir sülfür, kum ve kalsit gibi kil dışı mineraller ve az miktarda organik madde içermektedirler. Demir, killeri renklendiren esas bileşendir, bunun yanında organik maddeler de killerin renklenmesine yardımcı olurlar. Bu şekilde safsızlık içermeyen killerin rengi beyazdır. Killer esas olarak kütlece en çok SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içeren maddelerdir. Killerin özellikleri içerdikleri kil mineraline göre değişiklik gösterir ve bir veya birden fazla kil mineralini birlikte içerirler. Kil mineralinin yanında feldispat ve kuvars gibi minerallerde bulunur.

Marn: İçinde değişik oranlarda SiO_2 , kil mineralleri ve demir oksit gibi safsızlıklar bulunan kireç taşına marn denir. Hem kalker hem kil minerallerini yan yana içermesi nedeniyle çimento üretiminde yaygın olarak kullanılırlar ve bu özelliklerinden dolayı çimento üretimi için çok elverişlidirler. Marnlar kalkere göre daha yumuşaktırlar ve bazı marnlar başka bir hammaddeye gerek duyulmaksızın tek başına çimento hammaddesi olarak kullanılabilirler.

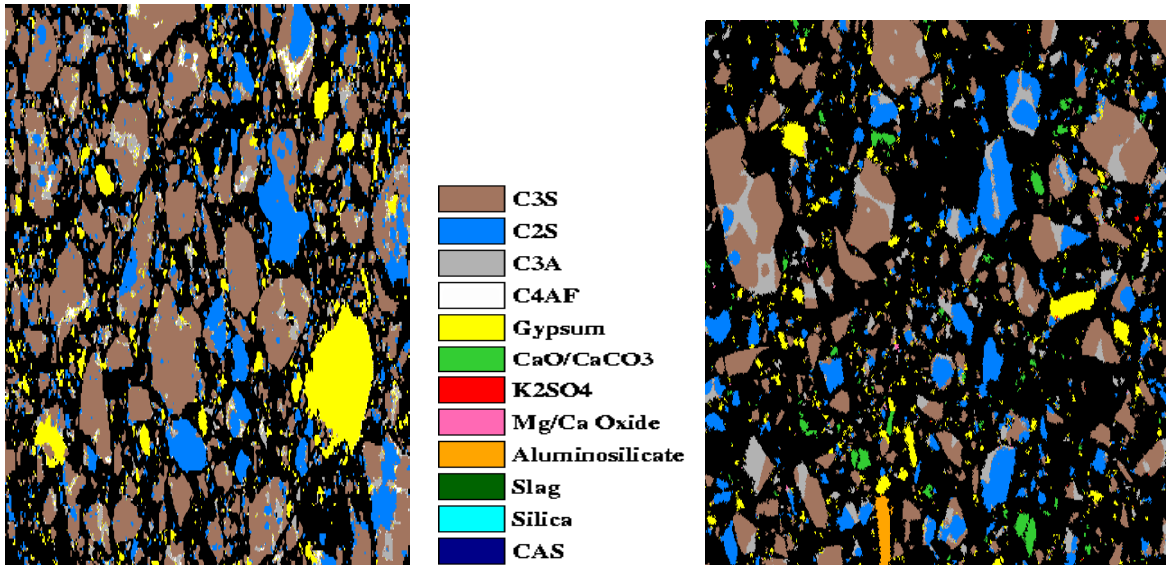
1.6.3. Çimento ana bileşenleri

Belirli oranlarda karıştırılmış hammaddeler öğütülerek çimento döner fırınına gönderilir ve 1350-1450 °C de ısı işlemlere maruz kaldıktan sonra hızlı soğutulularak klinker oluşur. Çimentonun ana bileşenleri klinker içerisinde bulunurlar. Karışım oranı olarak klinkerin yaklaşık olarak %80'ini kalkerli malzemeler oluşturur ve diğer kısmını ise diğer bileşenler oluşturur. Bir ton çimento üretmek için 1.6 ton hammadde kullanılır bunun sebebi kalkerli bileşiklerin kalsinasyon esnasında ağırlıklarının %44'ünü CO₂ açığa çıkarması ve killi malzemelerin kristal suyunu kaybetmesinden dolayıdır. Çimento ana bileşenleri Tablo 1.13'te verilmiştir.

Tablo 1.13. Çimento ana bileşenlerinin adları, kimyasal kompozisyonları ve % miktarları (Chen, 2006)

İsim	Bileşen	Sembol	Miktar %
Alit	3CaOSiO ₂	C3S	50-70
Belit	3CaOSiO ₂	C2S	15-30
Alüminat	3CaOAl ₂ O ₃	C3A	5-10
Ferit	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C4AF	5-15

Pişirme işlemi sonunda oluşan ana bileşenler yukarıdaki tablodaki gibidir bunların yanı sıra, Şekil 1.10'da ayrıntılı olarak diğer bileşenlerde görülmektedir.

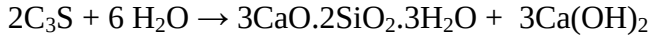


Şekil 1.10. Çimento ana bileşenleri ve diğer bileşenlerin çimento içerisindeki dağılımı

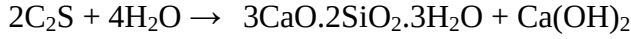
1.6.4. Çimento'nun Hidratasyonu

Çimento su ile karıştırıldığında betonun serleşmesi ve dayanım kazanmasından sorumlu bir seri kimyasal reaksiyon oluşur. Su ile oluşan bu reaksiyona *hidratasyon* adı verilir ve hidratasyon ürünleri olarak bilinen yeni katı bileşikler oluşur. Hidratasyonun doğal sonucu olarak çimento hamuru plastikliğini kaybederek sertleşir ve dayanım kazanır bu olaya da *priz* denir. Hidratasyon olayları ekzotermiktir ve dışarıya ısı verirler ve betonun bu reaksiyon sonucu sıcaklığı artar. Hidratasyon çok karmaşık bir olaydır. Bu olay sırasında birbirinden farklı yapıda ve özellikte ürünler oluşur. Aynı zamanda, bu ürünlerin birbirleriyle etkimesi sonucu yeni ürünler oluşur. Kalsiyum silikatlar (C3S ve C2S) çimento'nun en önemli bileşenleridir ve C3S, C2S'den çok hızlı reaksiyona girerler. C3S çimento'nun erken dayanımından sorumludur, C2S daha geç dayanımı kontrol eder (Geven, 2009).

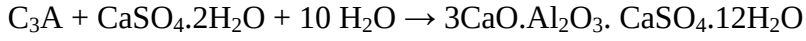
Hidratasyon sonucu oluşan bazı önemli ürünler şunlardır:



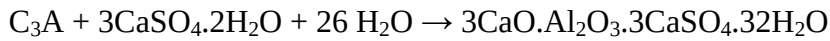
(Tobermorit Jeli) (Portlandit)



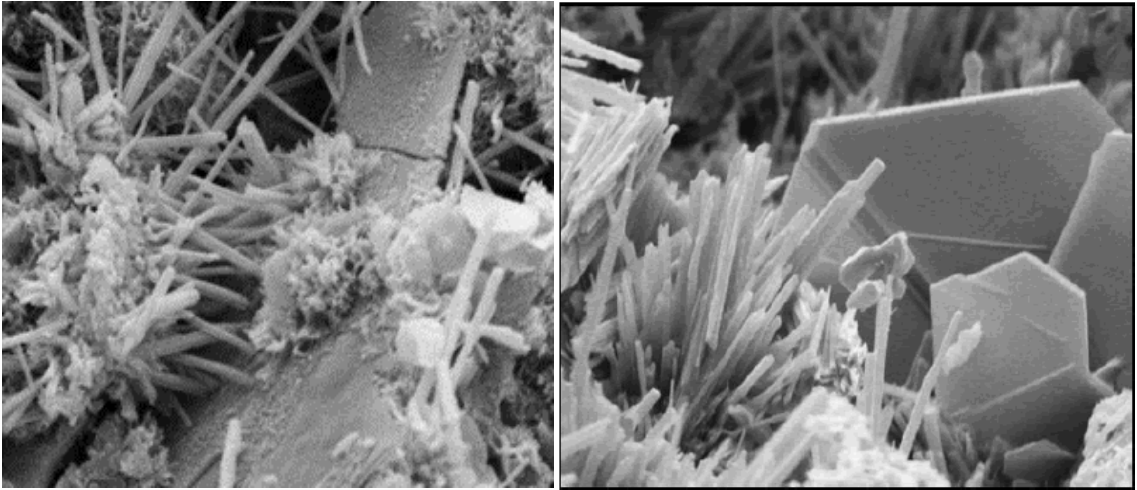
(Tobermorit Jeli) (Portlandit)



(Kalsiyum sülfoalüminat hidrat)

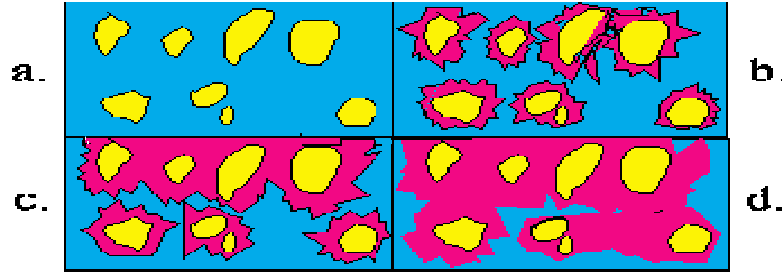


(Etrenjit)



Şekil 1.11. Hidratasyon ürünlerinin SEM görüntüleri (URL-1)

Hidratasyon olayının başlamasından kısa bir süre sonra (birkaç dakika) iğne biçimindeki kristaller halinde Etrenjit (kalsiyum sülfat alüminat) oluşur, birkaç saat sonra iri prizmatik kristaller şeklinde Portlandit ve çok ince iğnemsî kristaller şeklinde tobermorit (kalsiyum silikat hidrat) oluşur (Şekil 1.11). C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) çimento hamurunun hacimce % 50-60'ını teşkil eder ve çimentoya bağlayıcı özelliğini kazandıran üründür. Portlandit çimento hamurunun %20-25'ini oluşturur, dayanım gelişimine katkısı düşüktür diğer taraftan çimento hamurunda yüksek oranda Ca(OH)_2 bulunması, sudaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle, asidik ortamlara maruz betonun özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Etrenjit çimento hamurunun % 15-20'sini oluşturur yapı-özellikler, ilişkisine katkısı önemsizdir. Etrenjit, mono sülfat hidrata dönüşmesi durumunda betonun sülfat içeren sulara karşı hassasiyetini artırır. C4AF'ye göre düşük oranda C3A içeren çimentolar sülfatlı ortamlara maruz beton üretimi için daha uygundur.



Şekil 1.12. Çimento hidratasyon evreleri şematik görünümü

Şekil'e göre; a) evresinde hidratasyon başlamamış, b) evresinde hidratasyon başlamış ve c) evresinde devam ederken d) evresinde sistem tamamen katılaşmıştır fakat yine de yapı içerisinde boşluklar ve hidrat olamamış taneler bulunmaktadır.

1.6.5. Puzolanlar

Romalılar bağlayıcı hamur üretiminde kullandıkları volkanik küllü toprağa "*pulvis puteolanus*" ismin vermişlerdir. Daha sonra bu isim puzolan adıyla anılmıştır. Bu isim vezüv yanardağının eteklerindeki pozzuoli kasabasından gelir (Erdoğan, 2007).

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcı özelliğe sahip olmasalar da normal sıcaklıklarda, sulu ortamda, Ca(OH)_2 ile birleşerek bağlama özelliğine sahip suda çözünmeyen kararlı bileşenler içeren maddelerdir. Kaynakları ne olursa olsun Puzolanların esasları değişik miktarlarda da olsa her zaman var olan silistir. Doyurucu özelliklere sahip olan puzolanlar

%40'dan %90'a kadar SiO_2 içerebilirler, sunilerde %30'u aşan alüminyum oksit içeriği doğal puzolanlar da %20 mertebesinde dir.

Bölüm 1.6.4'te bahsedildiği üzerine portland çimentosu hidrate olduğunda bağlayıcılık değeri yüksek C-S-H jellerinin yanı sıra Ca(OH)_2 oluşur. Puzolanik maddeler bu söndürölmüş kireçle reaksiyona girerek aynı şekilde bağlayıcılık özelliği olan C-S-H jelleri oluştururlar. Puzolanlar doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır.

Doğal Puzolanlar: Doğada bulunan volkanik kül içerikli formasyonlar, volkanik tüfler, ısıt işleml görmüş killler, volkanik camlar bu guruba girerler.

Yapay Puzolanlar: Yapay puzolanlar endüstriden yan ürün olarak elde edilmiş ürünlerdir. Uçucu küller, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı bu guruba girer. Uçucu küller termik santrallerde kömürün yanmasıyla elde edilirler.

Genellikle uçucu küller küresel yapıdadırlar ve çapları 1-200 mikron boyutundadır. ASTM standartlarına göre uçucu küller F ve C sınıfı olarak ikiye ayrılırlar. F sınıfı küller kömürden elde edilirler ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ şartını sağlarlar. C sınıfı küller ise yarı bitümlü kömürlerden elde edilirler, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ şartını sağlarlar (Şimşek, 2004).

1.6.6. Öğütölmüş Granöle Yüksek Fırın Cürufu ve Alkalilerle Aktifleştirilmesi

Cürufklar çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından olan yapay puzolan olarak sınıflandırılmaktadırlar. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri elde edinilen sanayi kuruluşlarının uyguladıkları ana üretim yöntemine göre çok farklılık gösterirler. Yüksek fırın cürufu (YFC) silis, kalsiyum alümina silis ve bazik esaslı bileşikler içeren ve fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir atık üründür. YFC'nin kimyasal bileşimi esas olarak $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşmaktadır. Ancak cürufun kimyasal bileşim kadar kristal yapısı da önemlidir (Dorum vd., 2009).

YFC'nin kalsiyum içeriklerine ilave olarak, tane boyutu ve karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranları aktivitelerinde etkin olan parametrelerdir. YFC'nin fırın çıkışında hızlı soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekmektedir. Ayrıca içerisindeki CaO , MgO ve SiO_2 miktarları oranı yine 2/3 oranında olmalı ve $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ oranının ise 1'den fazla olması istenmektedir. YFC 'nin çimento ve beton sektöründe çok çeşitli kullanım olanakları mevcuttur. Öğütölmüş granöle yüksek fırın cürufu betonda işlenebilmeyi artırmakta, piriz süresini uzatmakta ve hidrasyon ısını ve su geçirirmliliğini azaltmaktadır. Ayrıca çimentoda puzolan olarak kullanılması

çimentonun mekanik özelliklerine katkı sağlar ve asidik ortamlarda çimentonun dayanıklılığını artırır. YFC yüksek oranda CaO içermesi nedeniyle kendiliğindende bir miktar bağlayıcı özelliği vardır. YFC, kalsiyum hidroksitlerle reaksiyona girmesi sonucu C-S-H jelleri gibi çok kuvvetli hidrolik bağlayıcı özellikteki ürünler oluşturur. Ayrıca YFC alkalilerle aktifleştirildiğinde bağlayıcılık özelliği artar.

YFC'nin alkalilerle aktifleştirilerek betonda bağlayıcı olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar ilk olarak Sovyet Rusya'da 1957 yılında Glukhovsky tarafından yapılmıştır (Chen, 2006).

Yaygın olarak kullanılan alkali aktivatörler aşağıdaki gibidir:

- Kostik alkaliler, MOH
- Silikatsız zayıf asit tuzları, M_2CO_3 , M_2SO_3 , M_3PO_4 , MF vb.
- Silikatlar, $M_2O.nSiO_2$
- Alüminatlar, $M_2O.nAl_2O_3$
- Alüminosilikatlar, $M_2O.Al_2O_3.(2-6) SiO_2$
- Silikatsız güçlü asit tuzları, M_2SO_4 , M; alkali metal (Na veya K)

Yüksek fırın cürufunun alkalilerle aktifleştirilerek bağlayıcı olarak kullanılabilirliği, portland çimentosunun bazı dezavantajlarını ve imalat esnasında oluşan gazları elimine edebilir. Bir ton portland çimentosu üretmek için yaklaşık olarak bir ton, hava kirliliğine neden olan karbondioksit (CO_2) gazı açığa çıkmaktadır. Ayrıca portland çimentosu ile 30-40 yıl önce yapılmış beton elemanlarda bozunmalar olmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak Mehta; Dubai de, 1975'te portland çimentosu ile yapılmış bir tünelin 1986 yılında tamamen tamir gerektiğinden bahsetmektedir. Gjorv; Norveç'te yapılan köprülerin %25'inin 1970 den sonra yapılmasına karşın bu yapılarda korozyon varlığından bahsetmiştir. Başka bir yazar ABD'de 600.000 köprünün %40'ında korozyon problemi olduğundan ve tamir maliyetinin ise 50 milyar dolar'dan fazla olduğunu belirtmektedir (Torgal vd., 2007).

Portland çimentosu dayanıklılık problemlerinin yanı sıra su ve bazı zararlı elementlerin de beton içerisine girmesine izin verir yani geçirgenliği katkılı çimentolara göre daha fazladır. Ayrıca yüksek $Ca(OH)_2$ içeriği nedeniyle asitlerle reaksiyonu sonucu çözünebilir komponentler oluştururlar (Torgal vd., 2007).

Yüksek fırın cürufunun alkalilerle aktifleştirilmesi sonucu C-S-H jelleri gibi kuvvetli hidrolik bağlayıcı özelliği olan yapılar ortaya çıkar. Ayrıca oluşan bu jeller goe-polimer (alkali alümino silikat) yapıdadırlar (Bernal vd., 2010).

Yapılan değişik çalışmalarda genel olarak yüksek fırın cürufunun aktifleştirilmesi için sodyum silikatlar kullanılmıştır.

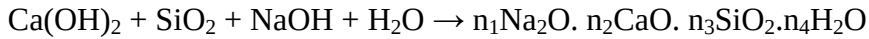
Bakharev, Sanjayan ve Cheng (2003) yaptıkları çalışmalarda granle yüksek fırın cürufunun aktifleştirilmesinde sodyum silikat'ı $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2$ modül oranında kullanmışlar ayrıca ilaveten sodyum hidroksit kullanmışlardır. Cüruf içerisine % 4 Na içeriği ile beraber su/bağlayıcı oranı 0.50 olan beton örnekleri hazırlamışlar ve bu betonların 28 günlük basınç dayanımlarını 40 Mpa (N/mm²) olarak kaydetmişlerdir. Ayrıca yaptıkları bu çalışmada aktifleştirilmiş curuf çimentosunun, portland çimentosuna göre asit çözeltisi içerisinde 40 kat daha dayanıklı olduğunu tespit etmişlerdir (Bakharev vd., 2003).

Jimenez ve Puetras (2000) yaptıkları çalışmalarda granle yüksek fırın curufunu aktive etmek için sodyum silikat kullanmışlardır, kullanılan curufa %4 oranla Na_2O içeriği kullanmışlardır. Benzer şekilde Sakulic ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda aktivatör olarak sodyum karbonat (Na_2CO_3) kullanmışlardır.

1.6.7. Aktifleştirilmiş YFC'nin Alkali-Silika Reaksiyonu İlişkisi

Normal portland imentosu (herhangi bir puzolanik madde ilave edilmemiş) harcı ve betonunda, alkali-silika reaksiyonu; uygun nem ortamında, çimentodan gelen alkaliler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, Ca(OH)_2) ve reaktif agregalar arasında oluşur. Bu faktörlerin herhangi birinin yokluğu reaksiyonu durdurur ve dolayısıyla da reaksiyonun sebep olduğu genleşmeyi de durdurur. Bazı yazarlara göre alkali-silika reaksiyonu sadece agregalar ve imento pastası içindeki boşluklardaki çözeltilerle değildir ayrıca yeterli miktarda Ca^{+2} iyonlarının da ortamda bulunması gerekir (portland imentosu pastasında oluşan portlanditten (Ca(OH)_2) gelir.

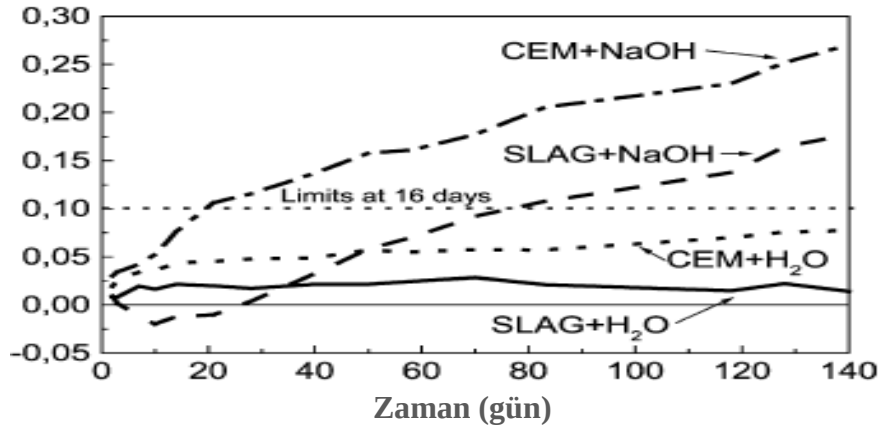
Plum ve Pulsen (1958) bu reaksiyonu şöyle tanımlamışlardır;



Yukarıdaki eşitliğe göre, eşitliği NaOH sağlar ve sonuçta oluşan jel CaO içeriğinden dolayı genleşme özelliğine sahiptir. YFC'nin portland çimentosuna katılmasıyla, YFC hem alkalileri sabitleştirerek hemde Portlandit içeriğinin olmayışından dolayı ASR'nin yıkıcı etkisini minimize eder veya çok yavaşlatır. Alkali ile aktifleştirilmiş granle yüksek fırın curufunda (AAS) ise durum biraz daha farklıdır. AAS'de Ca(OH)_2 'nin olmamasına karşın (pozitif faktör), %3' geçen yüksek alkali konsantrasyonlarına sahiptirler (portland

çimentosunda bu değer en fazla %0.9 civarında). Bundan dolayı yüksek alkali içeriği agregalarla birlikte ASR'ye katkıda bulunabilir. Bazı yazarlara göre AAS harcında ASR meydana gelmez çünkü alkalilerin hemen hepsi farklı hidrasyon ürünleriyle birleşirler, bazı yazarlara göre ise AAS'nin opalinli agregalarla genişmesi söz konusudur (Jimenez ve Puertas, 2000).

Curufların kimyasal bileşimleri birbirine göre farklılık gösterdiği için, alkali-silika reaksiyonu açısından da aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufları farklılık gösterebilir. Ayrıca aktifleştirme işlemi için kullanılan kimyasallar da önemlidir. Genel kanı olarak aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentolarında, sıradan portland çimentosuna nazaran daha fazla alkali içeriği olduğundan alkali-silika reaksiyonu oluşturabilecekleri göz önünde tutularak ve kontrollü kullanımlarında yarar vardır. Sertleşmiş, yani prizini almış aktifleştirilmiş yüksek fırın curufunda bağlayıcı elemanlar, portland çimentosunda olduğu gibi C-S-H jelleridir. Ayrıca sertleşmiş AAS harcındaki porlar (gözenekler) aynı bağlayıcı/çimento oranına göre portland çimentosuna göre daha küçük boyutlarda olduğu için AAS harcının permeabilitesini (geçirgenliğini) azaltır. AAS' nin mikro yapı gelişimi erken yaşlarda daha etkin, geç yaşlarda daha yavaştır. Bu özellik AAS betonlarının erken bir şekilde priz alması ve mukavemet artışını ve ileriki yaşlarda dayanım gelişiminin düşük olduğunu doğrular (Chen, 2006).



Şekil 1.13. Farklı karışımların genişleme yüzdeleri(Jimenez ve Puertas, 2000)

Jimenez ve Puertas (2000) yaptıkları çalışmalarda çimento harcı + sodyum hidroksit (CEM + NaOH), curuf harcı + sodyum hidroksit (SLAG + NaOH), çimento harcı + su (CEM + H₂O) ve curuf harcı + su (SLAG + H₂O) parabolleri Şekil 1.13'te görülmektedir. Grafiğe göre araştırmacılar; çimento + sodyum hidroksit ve curuf + sodyum hidroksit'ten

hazırlanan harç çubukları 1 N NaOH çözeltisi içerisinde, Çimento + su ve curuf + su karışımından hazırlanan harç çubukları deionize su içerisinde 140 gün boyunca bekletilmiş ve 16 günlük limit genleşme yüzdesine göre genleşmelerini kaydetmişlerdir. Buna göre % 0.25'ten daha fazla bir genleşme değeriyle en çok genleşmeyi çimento + NaOH karışımı ile hazırlanan ve dolayısıyla alkali içeriği de en yüksek olan CEM + NaOH karışımı göstermiştir. En az genleşmeyi de grafikte %0.00'ın biraz üzerinde kalan curuf + su karışımından elde edilen ve alkali içeriği en az olduğu bariz olan karışım göstermiştir (Şekil 1.13'te sıfırın altında kalan kısım büzülme göstermektedir).

1.6.8. Beton

Beton yapı tasarımında kullanılan ana malzemelerden birisidir. Dökülerek şekillendirilebilmesinin tasarımda sağladığı kolaylık, ucuzluk, uzun ömür, bulunduğu yerde üretilebilme, görünüş estetiği gibi nedenlerle beton, inşaat malzemesi olarak birçok üstünlüğe sahiptir.

Beton genellikle portland çimentosu ve sudan oluşan sert çimento hamuru ana faz (bağlayıcı içinde) içinde, iri taneli dolguların (agrega) yer aldığı seramik bir karma malzemedir. Betonun bileşimi değişebilmekle beraber, çoğunlukla, mutlak hacim cinsinden, %7-15 çimento, %14-21 su, %1.5-3 hava, %55-80 agrega bileşenlerinden oluşur (Smith, 2001).

Günümüzde beton, puzolanik maddeler, cüruf, yüksek fırın cürufu, priz süresini ayarlayıcı maddeler, kükürt, katkı maddesi, polimer, fiber vs. içeren çeşitli bağlayıcılar kullanılarak üretilebilmektedir. Beton ortamı çimento hamuru ve agrega fazından oluşmaktadır ve beton özelliklerini bu iki faz ve fazlar arasında bulunan ara yüzey belirler. Beton esas itibarı ile birden çok malzemeden oluşmuş kompozit bir malzemedir. Bu bağlamda ne kayaçlar ne de çimento hamuru tek başına iyi bir yapı malzemesi olamaz. Sadece çimento hamuru fazından oluşan bir beton üretemeyiz çünkü çimento hamuru fazındaki hacimsel hareketler çok fazla olduğundan çatlamalar meydana gelerek yapı malzemesinin mekanik ve kimyasal direnci azalır. İyi bir betonda aranan temel iki özellik vardır;

- Plastik kıvamda iken işlenebilirliğinin yüksek olması
- Sertleşmiş halde yüksek mukavemet

Betonun işlenebilirliğinin iyi olması için, uygun kıvam, yüksek kohezyon, döküm esnasında ayrışmama özelliklerine sahip olması gerekir. Basınç dayanımı, sertleşmiş

betonda aranan temel unsurdur, bunun nedeni basınç dayanımının kolayca ölçülebilmesi ve beton elemanların uygulamada basınca yönelik yüklenmesidir. Ayrıca betonun dayanıklılığı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, sülfatlara karşı dayanımının yeterli olduğunun tahmini içinde basma dayanımının iyi olmasının bu özelliklerinde iyi olması kanısı geçerlidir. Kaliteli bir beton elde etmek için beton bileşenlerinin çok iyi olması ve bileşenlerin özelliklerinin tanınması gerekir. Beton tasarımı yapılırken istenilen beton özelliklerin sağlayacak, kaliteli, estetik ve ekonomik olmasına dikkat edilmesi gerekir.

Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı, çimento hamuru ile agregalar arasında bulunan arayüzeylerin güçlendirilmesidir. 1970'li yıllara kadar, silindir numunelere uygulanan 28 günlük basınç dayanımı değeri 40 Mpa'yı aşan betonlar yüksek dayanımlı olarak kabul edilirken, günümüzde bu kavram önemini yitirmiştir. Dayanım ve dayanıklılık için en önemli faktör olabildiğince az boşluklu ve geçirimsiz beton üretmektir. Özellikle 1980'li yıllarda süper daha sonraları hiper akışkanlaştırıcı katkıların kullanılmaya başlaması ve ultra incelikli mineral katkıların kullanılması 2000'li yıllara gelindiğinde yalın betonların 28 günlük basınç dayanımlarının 200 Mpa'ya ($\sim 2040 \text{ kgf/cm}^2$) erişebileceğini kanıtlamıştır (Taşdemir, 2002).

Genel anlamda beton, hidrate olmuş çimento hamuru içine yayılmış agrega tanelerinden oluşan bir yapı olarak gösterilir. Mikro yapı olarak suyla teması girmiş çimento pastası, C-S-H ve Ca(OH)_2 den oluşur. Bu yapı içerisinde kuru veya su ile dolmuş kapiler boşlukların yanı sıra, hidrate olmamış çimento taneleri de bulunur ve ayrıca agregalar da farklı kökenlere sahip olduklarından farklı minerolojik yapıya sahiptirler, bundan dolayı betonun kompleksliği artar. Bu bakımdan beton bir kompozit malzeme olarak düşünüldüğünde bazı kabullerin yapılması gerekir, örneğin agregaların çimento hamuru içerisinde homojen yayıldığı ve çimento hamurunun üniform olduğu kabul edilir.

1.6.9. Betonun "Su/Çimento" Oranı

Beton karışımındaki su/çimento veya su/bağlayıcı maddeler oranının beton dayanımına ve dayanıklılığına büyük etkisi vardır. Bu oranların artması ile, genel olarak, betondaki kapiler boşluk miktarında da artma olmakta, betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalır ve geçirimsizliği artar (Erdoğan, 2007).

Su/çimento oranının artmasıyla beton içerisinde boşluklu zayıf bir yapı oluşur. Keza yüksek su/çimento oranında betonda terleme (yüzeyden su buharlaşması) artar ve agrega-çimento arayüzeyindeki porozite artar. Bu şekildeki bir beton dokusunda yüzey enerjisi ve

bağ dayanımı azalır. Bu oluşum sonrası iri agrega-çimento hamuru temas yüzeyleri porozite nedeniyle azalır ve bu bölgede su/çimento oranı diğer bölgelerden daha yüksek olacağından beton dayanımı azalır, tersi durumda yani bu oranın küçülmesi durumunda temas yüzeyi aderansı artar (Uğurlu, 1999).

Betonun içerisine katılan suyun iki temel görevi vardır. Birincisi çimento hidratasyonu sırasında kimyasal reaksiyonları gerçekleştirmek için gerekli olan suyu karşılamak, ikincisi de beton karışımına plastik kıvam yani betonun kalıplara yerleştirilebilmesi için yeterli akışkanlık sağlamak için gereklidir. Su / çimento oranı seçilirken beton karışım suyunun en az bu iki su karışımının toplamından fazla olması istenir. Çimento yaklaşık olarak kendi ağırlığının %25'i kadar suyu kimyasal olarak bağlar. Eğer beton karışımına çimento ağırlığının %25'i kadar su ilave edilecek olursa elde edilen beton plastik kıvamda olmaz, işlenemez. Pratikte betonun işlenebilmesi için su/çimento oranının %40 tan daha büyük seçilmesi gerekir. Beton içerisine katılan fazla su beton katılırken buharlaşarak yapıdan uzaklaşır. Bu olay sonucu yapı içerisinde boşluklar oluşur ve beton dayanıklılığı ve mukavemeti düşer. Bu nedenle beton yoğunluğu ve mukavemeti düşürmemek için su/çimento oranının uygun olarak seçilmesi gerekir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Betonun su/çimento oranının azalmasıyla geçiş bölgesi'nin (çimento hamuru ve agrega temas yüzeyi arasında kalan bölge) porozitesi azalacağından beton dayanımı artar. Su/çimento oranının düşürebilmesi için çeşitli kimyasal katkıları kullanılır. Bu kimyasal katkıları süper ve hiper akışkanlaştırıcı olarak adlandırılırlar. Bu kimyasalların temel görevi beton karışım suyunu azaltmaktır. Bu kimyasallar suyun yüzey gerilimini düşürücü etki yapar ve daha az sıvı ortamla daha çok çimento taneciğinin ıslanarak hidrate olmasını sağlar.

Beton karışımına su üç yoldan girer:

- Beton karışımı hazırlanırken karıştırılan su miktarı, W_m
- Agrega yüzeyindeki serbest su miktarı, W_s
- Agreganın absorblamış olduğu su miktarı, W_a

Yapacağımız hesaplamalarda su hacmini bulurken agreganın absorblamış olduğu su miktarı (W_a) hidratasyon için kullanılamadığından hesaba katılmaz, bu durumda su hacmi, beton karışım suyu ve agrega yüzey suyunun toplamına eşittir. Bu durumda;

$$W_{su}/W_{\text{çim.}} = \frac{W_m + W_s}{W_{\text{çim.}}} \quad (24)$$

Buradaki W_{su} ve $W_{\text{çim.}}$ sırasıyla beton karışımına giren suyun ve çimentonun miktarları (gr) dır.

Su/çimento oranı ile betonun dayanımı arasında, belli bir yaş, sıcaklık ve tam sıkıştırma halinde, tespit edilen en eski formül, Duff Abrams tarafından 1919'da geliştirilmiştir.

Abrams formülüne göre;

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{w/c}} \quad (25)$$

Burada;

f_c ; Betonun dayanımı

w/c ; Su/çimento oranı

K_1 - K_2 ; Ampirik sabitlerdir.

Feret, beton dayanımını suyun ve çimentonun hacmiyle ilişkilendirilmiş ve formüle etmiştir. Abbrams ve Feret kuralları birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiş olmasına rağmen genel bir kural olarak birbirine benzer. Feret formülüne göre;

$$F_c = K [c/(c+w+a)]^2 \text{ 'dir.} \quad (26)$$

Burada;

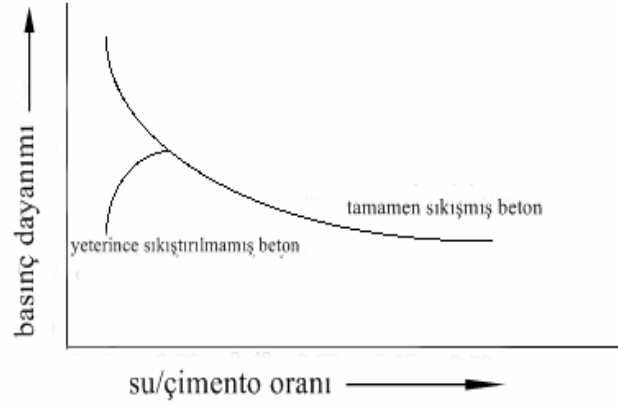
F_c ; Betonun dayanımı

c ; Çimento (hacimce)

w ; Su (hacimce)

a ; Hava (hacimce)

K ; Sabittir.



Şekil 1.14. Basınç dayanımı – su/çimento ilişkisi (Neville, 2000)

Şekil 1.14'e göre su/çimento oranı arttıkça betonun basınç dayanımında azalma görülmektedir. Dayanım-su/çimento ilişkisi tamamen sıkışmış ve yeterince sıkışmamış betonlar için şekilde de görüldüğü gibi farklılık göstermektedir. Tamamen sıkıştırılmış betonda su/çimento oranı, betonun basınç dayanımı ile ters orantılıdır yani belirli bir noktaya kadar su/çimento oranı artınca beton dayanımı azalır. Basınç dayanımı ve su/çimento arasındaki ilişkilendirme tamamen sıkışmış bir beton numunesi temel alınarak yapılmalıdır (Neville, 2000).

1.6.10. Betonun Dayanımı ve Dayanıklılığı

Betonun dayanımı söz konusu olduğunda genellikle agrega dayanımı ihmal edilir, tabiki beton imalatı için agregalar dayanım olarak belirli kriterleri sağlamalıdır (bkz. Agregalar). Bunun nedeni, beton yüklemeye maruz bırakıldığında çimento hamuru ve geçiş bölgesinin dayanımını agregadan daha önce kaybetmesidir. Betonun dayanımını farklı derecelerde agrega özellikleri (boyut, biçim, yüzey dokusu, granülometri, yüzey dokusu, minerolojik yapı), çimento özellikleri (çimento dozajı, çimento cinsi, karakteristik özellikler), kür koşulları, yükleme parametreleri ve geçiş bölgesi özellikleri belirler.

Çoğu araştırmacıya göre su/çimento oranı, beton dayanımı ile ters orantılı bir sayısal değer olarak düşünülürken, Bentz ve Aitcin, su/çimento oranını, çimento pastası içerisindeki çimento tanelerinin arasındaki mesafeye bağlamıştır. Bu mesafe ne kadar yakın ise çimentonun gözeneklerdeki hidratasyonu daha fazla olmasıyla beraber çimento hidratasyon bağları güçlenir ve dolayısıyla da beton dayanımı artar (Bentz ve Aitcin, 2008).

Betonun dayanım değerini ölçmek için genellikle betonun tek eksenli basınç dayanımı değerine bakılır. Zira tek eksenli basınç dayanımı gereken şartları sağlıyorsa betonun diğer etkenlere karşıda dayanıklı olduğu söylenebilir. Ancak betonun dayanıklılığı söz konusu olduğunda betonun dayanım parametreleri yetersiz kalabilir. Örneğin dayanımı yüksek bir betonun sülfatlara karşı dayanıklılığı az olabilir. İyi bir betonun hem dayanımının hem de dayanıklılığını yüksek olması istenir. Beton dayanıklılığının yüksek olması için temel şart betonun geçirgenliğinin minimuma indirilmesidir ve beton içerisinde zararlı reaksiyonların (ASR gibi) olmaması istenir. Betonun dayanıklılığı mineral katkıları yardımıyla artırılabilir.

Mukavemeti iyi bir beton elde etmek için amaç yoğunluğu oldukça yüksek bir beton elde etmektir. Beton yoğunluğunun yüksek olması için genellikle kaba agregaların beton matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağılması gerekir ve ince agregalarında bu dağılım sonucu oluşan boşlukları kapatması gerekir. Agregaların granülometrisi minimum boşluk oluşturacak şekilde dizayn edilmelidir. Beton karışım esnasında teorik olarak bu özellikler kazandırılmış olsa bile betonun taşınması ve işlenmesi esnasında betonun bu parametreleri korumasına özen gösterilmelidir. Betonun çevresel etkilere karşı dayanımını belirleyen en önemli faktör, kompakte edilebilirlik'tir. Kompakte edilebilirlik beton içerisindeki katı madde hacminin betonun kapladığı gerçek görünür hacme oranıdır. Benzer şekilde beton içerisindeki su ve hava hacminin toplam hacmine oranına da porozite denir. Bu iki özelliğin toplamı 1'e eşittir. Normal betonun kompakte edilebilirliği 0.80'den yüksektir (Yalçın ve Gürü, 2006).



Şekil 1.15. Betonun avantaj ve dezavantajlarının şematik görünümü

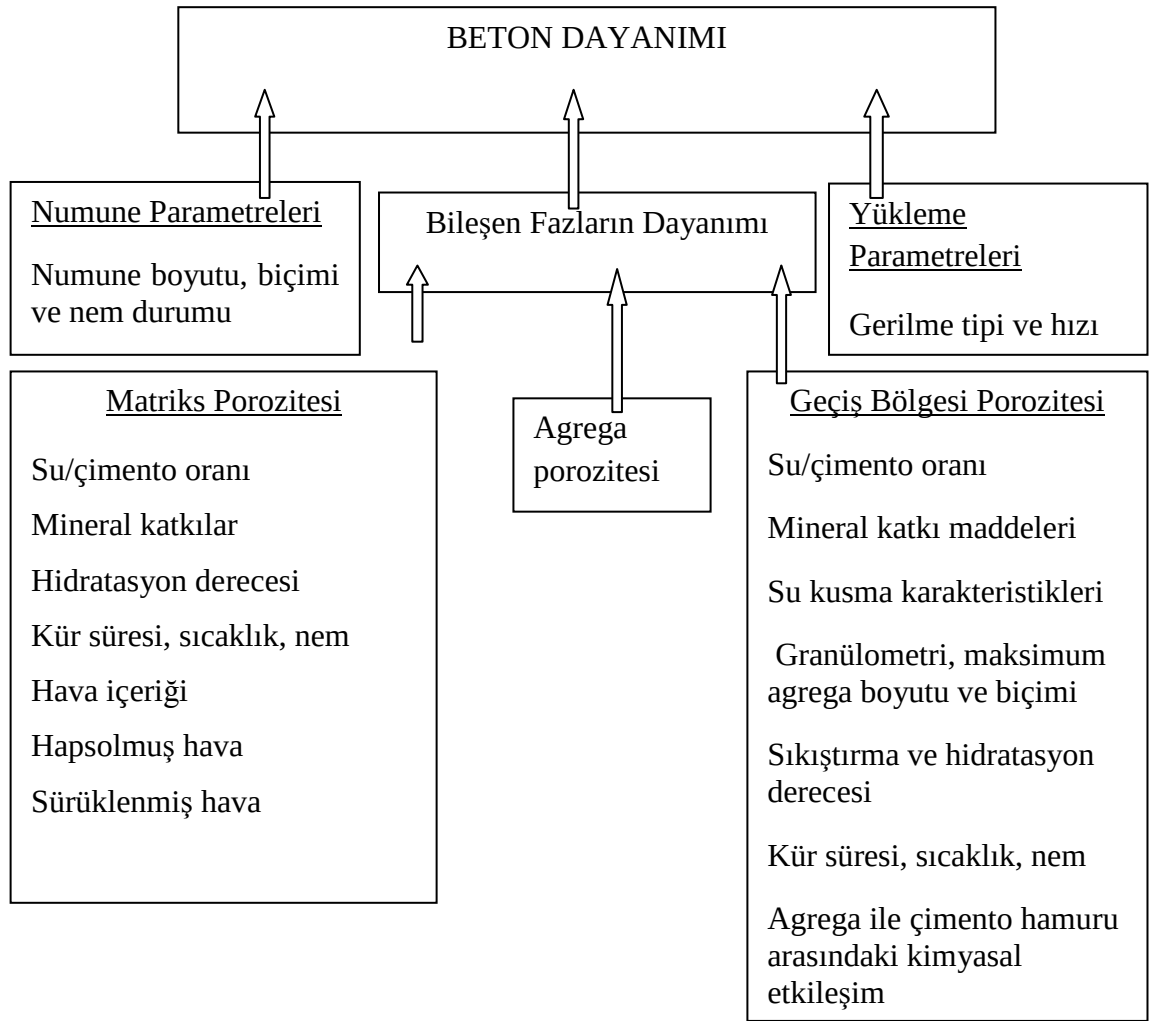
Beton insanoğlunun sudan sonra en fazla kullandığı malzemedir. Yapı malzemesi olarak betonun bazı avantaj ve dezavantajları Şekil 1.15’de görülmektedir. Beton dökme demir, çelik ve çimento sanayisine göre daha az enerji gereksinimi gösterir, ısı iletkenliği düşüktür ve çok miktarda ısı depolama özelliğine sahiptir. Bu avantajları cazip olduğundan kullanım alanları çok fazladır. Betonun dezavantajlarının başında ise çekme ve eğilme dayanımının düşük olması gelir. Beton basma dayanımı olarak çekme dayanımından yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bunun nedeni beton içerisinde oluşan çatlaklara bağlanabilir. Basmada çatlaklar birbirine yaklaşarak kapanır ve kesit alanı artar tam tersi durumda çekmeye maruz kalan betonda da çatlaklar birbirinden uzaklaşarak kesit alanı azalır ve dayanım düşmektedir. Normal bir betonun mühendislik özellikleri Tablo 1.14 deki gibidir.

Tablo 1.14. Normal betonun tipik mühendislik özellikleri (Erdoğan, 2007)

Basınç Dayanımı	35 Mpa
Eğilme Dayanımı	6 Mpa
Çekme dayanımı	3 Mpa
Elastisite modülü	28 Gpa
Poisson oranı	0.18
Isıl genleşme katsayısı	10×10^{-6}
Yoğunluk (normal ağırlıklı beton için)	2300 kg/m ³
Yoğunluk (hafif beton için)	1800 kg/m ³

Neville’ye (2000) göre betonun yüklemeye maruz kalmasıyla gelişen çatlaklar kaba agrega tarafından belirlenir. Beton numunesi maksimum dayanımın % 50-75’i kadar üç eksenli basınca maruz bırakılmış ve oluşan dikey çatlaklar ultrasonik puls teknikleriyle ölçülmüş ve çatlak gelişimlerinin iri agrega civarlarında oluştuğu ve pürüzsüz yüzeyli agregaların çevresinde köşeli (kıрма) agregalara göre daha fazla çatlak gelişimi olduğu tespit edilmiştir. Pürüzsüz yüzeyli agregaların daha düşük yüklemelerde çatlak oluşturmaları ise yüzey özelliklerine bağlanmıştır. Pürüzlü yüzeyli agregalarda çimento hamuru ile olan mekanik bağ daha kuvvetli olmaktadır. Araştırmalar, beton ve çimentonun arayüzeyinde çok ince çatlakların betonun yüklemeye maruz kalmadan önceden var olduğunu göstermiştir. Bu mikroçatlaklar agrega ve çimento hamurundaki termal hareketler ve sünmekten dolayı oluşmaktadır. Mikro çatlaklar sadece normal dayanımlı sertleşmiş

betonda değil, su/çimento oranı 0.25'e kadar düşürülmüş, su kürü uygulanmış ve hiçbir şekilde yüklemeye maruz kalmamış betonlarda da gözlemlenmiştir. Slate ve Hover'e göre betona ön yükleme ile oluşan mikroçatlaklar betonun çekme dayanımını düşürür (Neville, 2000). Mikroçatlakların boyutları henüz sınıflandırılmamasıyla beraber 0.1 mm ye kadar olan çatlaklar olarak tanımlanır. Bu değer tipik olarak çıplak gözle görülebilecek en küçük çatlaktır. Betona artan bir yükleme uygulandığında bu çatlaklar maksimum dayanımın %30'u kadar olan değerlerde sabit kalırken daha sonra bu çatlakların boyu, genişliği ve sayısı artar. Maksimum dayanımın %70-90'ı kadar olduğunda mikro çatlaklar açılarak harç içerisinde ilerler ve yapısal daha büyük çatlaklarla birleşirler ve sürekli bir çatlak dizisi oluşur. Yüksek dayanımlı betonların kümülatif mikro çatlak uzamaları normal dayanımlı betonlardan daha fazladır (Neville, 2000).



Şekil 1.16. Beton basınç dayanımına etkiyen faktörlerin şematik etkileşim diyagramı

Şekil 1.16’da görüldüğü gibi betonun basınç dayanımını birçok parametre etkilemektedir. Beton tasarımı yapılırken klasik olarak su, agrega ve çimentonun gelişigüzel karışımı gibi düşünmeyerek şekildeki unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Beton tasarımında çok fazla çimento kullanmak yerine metreküp başına optimum çimento miktarı ile de aynı beton dayanımı değeri elde edilebilmektedir, bunun yolu tasarım esnasında gereken parametreleri göz önünde bulundurmaktan geçer.

Tablo 1.15. TS EN 206-1’e (2002) göre sertleşmiş beton basınç dayanımı sınıfları

Dayanım Sınıfı	28 Günlük Basınç Dayanımı Mpa (N/mm ²)	
	150 mm (çap) x 300 mm (boy) ebatlarındaki silindir numune dayanımı	150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlu küp numune dayanımı
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/53	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Yukarıdaki tabloda Türk Standartlarına göre belirlenmiş beton tek eksenli basınç dayanımının sınıfları görülmektedir. Burada C40/50 dayanım sınıfından sonraki beton sınıfları yüksek dayanımlı beton sınıfına girmekte ve özel amaçlı olarak üretilmektedirler. Ayrıca C 20/25 dayanım sınıfındaki betonlardan aşağıdaki beton sınıfları da artık

günümüzde yapı elemanı olarak kullanılmamaktadırlar. Sadece beton dökümü öncesinde zemin iyileştirmesi (grobeton uygulaması) veya yüke maruz kalmayan uygulamalarda kullanılabilirler. Türkiye genelinde binalar ve diğer yapı elemanlarının inşaatında en çok kullanılan beton sınıfı C25/30 dur ve bu değer kullanım amacına göre bir üst kademeye doğru devam eder.

TS EN 12390-3(2002) beton numunesi numune basınç deneyinin yapılışında;

$$F_{cm} = \frac{F}{A} \quad (27)$$

$$F_{cm} \geq F_{ck} + 1,48 \times St. \text{ Sapma} \quad (28)$$

Burada:

F_{cm} ; Ölçülen basınç dayanımı değeri (kgf/cm²)

F; Kırılma Yüğü (kg)

A; Numune kesit alanı (cm²)

F_{ck} ; Standart basınç dayanımı değeri (kgf/cm²)

Standart sapma (St. Sapma) değeri daha önceki dayanımı ölçülen guruplardan elde edilir.

1.6.11. Beton Karışım Dizaynı

Beton karışım dizaynı yapılırken bazı parametrelerin tanınması gerekir. Beton karışım dizaynı yapılırken temel amaç oluşturulacak betonun önceden tasarlanmış mühendislik özelliklerini (dayanım, dayanıklılık, kullanım amacı, servis şartları, ortam v.s.) sağlayan bir beton elde etmek olmalıdır. Örneğin, yapı elemanı olarak 350 kgf/cm² dayanımı istenen bir beton tasarlayacağımızı varsayarsak, tasarım sonucu hedef dayanımımız 350 kgf/cm² değerinden daha düşük veya çok daha yüksek olmamalıdır.

Beton karışım dizaynı yapılırken malzemelere ait bazı özelliklerin önceden yapılan deneylerle hesaplanması gerekmektedir. Bunlar;

- Agregaların özgül ağırlıkları, birim ağırlıkları ve maksimum agrega boyut seçimi
- Agregaların incelik modülü

- Çimento ve eğer karışımda varsa diğer bağlayıcıların özgül ağırlığı
- Agregaların rutubet içerikleri'dir.

Bu değerler tanımlandığı takdirde beton dizaynı için çalışmalara başlayabiliriz. Beton dizaynı çalışmalarında hedef betonumuzun istenilen özelliklerini bildiğimiz için bu değerler bize dizayna başlamak için çıkış noktaları sağlar. Örneğin 350 kgf/cm² dayanımlı bir beton dizaynı yapmamız istendiğinde Su/çimento seçimi veya *çimento dozajı* (1m³ betondaki çimento miktarı, kg) seçimi yaparken daha önceki deneyimlerden elde edilen sonuçlara göre yaklaşık değerleri seçebiliriz. Benzer şekilde betonun istenilen slump (Ölçüleri belirli, boyu =300mm, taban çapı=200mm, üst çapı=100mm) tepesi kesik koni biçimindedir. Metal bir kalıp içine üç kademe halinde ve her tabakası 25 kez özel bir metal çubukla şişlenerek standart olarak doldurulan taze betonun, ilk yüksekliği ile kap kaldırıldıktan sonraki yüksekliği arasındaki farkın ölçülmesi sonucu elde edilen sayısal değerdir) değerini bildiğimizde yine önceki yapılan denemelerden metreküp başına ilave etmemiz gereken su miktarını yaklaşık olarak kestirebiliriz.

ACI standartlarına göre beton dizaynı; slump seçimi, maksimum agrega boyutu seçimi, hava ve su miktarı kestirme değer alımı, su/çimento oranı seçimi, çimento dozajı seçimi, iri ve ince agrega içeriği kestirme değer seçimi ve karışım oranlarının hesaplanması adımlarından oluşur. Burada slump seçimini betonun akışkan mı yoksa daha katı mı olacağına göre yapılır ve dolayısıyla su miktarı tahmin edilir (önceki yapılan denemelerden). Maksimum agrega boyutu projeciler tarafından belirlenir. Örneğin maksimum agrega boyutu kalıp genişliğine göre değişebilir, su/çimento oranı ve çimento dozajı değerleri ise hedef dayanıma istinaden tahmin edilir (Neville, 2000).

Bütün bu çıkış noktalarının kullanılması direkt olarak hedeflenen betonun dizaynını eksiksiz oluşturmamızı sağlayamaz, optimum dizayn ancak yapacağımız bir dizi denemeden sonra ortaya çıkar. Bunun sebebi ise oluşturduğumuz betonlar tahminlerden yola çıktığımız için her zaman istenilen işlenebilirlikte ve özelliklerde olmayabilir.

Karışım oranlarının hesaplanması: Beton karışım oranlarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan metot mutlak hacim veya ağırlık metodudur. Bu metoda göre betonun içerisindeki bileşenlerin hacim veya ağırlıkları hesaplanır. Bileşenlerin zahiri hacimleri ayrı ayrı toplandığında bir metreküp betonunkinden daha fazladır. Fakat karışımda ince agrega, iri agrega ve çimento birbirlerinin boşluklarını doldurduğundan mutlak hacim 1m³ elde edilmiş olur.

ACI standartlarında belirli bir maksimum tane boyutu ve slump değerinde beton karışımına katılacak su miktarı ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde belirli bir maksimum tane boyutu ve incelik modülü bilindiğinde herhangi bir sınıftaki agreganın yığın yoğunluğuna göre ne kadarının kullanılabileceği ve dayanım-su/çimento ilişkileri belirlenmiştir.

Tablo 1.16. ACI 318-95^{14.8} standardına göre farklı slump ve maksimum agrega boyutu içerikli betonların yaklaşık karışım suyu ve hava içerikleri (Neville, 2000).

		Metreküp başına kullanılacak su miktarları (kg)							
Max. agrega boyutu (mm)		9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Slump mm	25-50 katı kıvam	207	199	190	179	166	154	130	113
	75-100 plastik kıvam	228	216	205	193	181	169	145	124
	150-175 akışkan kıvam	243	228	216	202	190	178	160	–
Hapsolmuş hava miktarı %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Yukarıdaki tabloya göre; 150-175 mm slump ve 25 mm maksimum agrega boyutu istenilen bir beton karışımına 202 kg su miktarı ile başlamalıyız.

Örnek problem: Boyut aralıkları 0-5mm kum, 5-10 mm ve 10-25 mm mıcır olarak sınıflandırılmış agregaları kullanarak; 150-175 mm slump değerini yakalayacak şekilde portland çimentosunu bağlayıcı olarak kullanarak verilenler yardımıyla 1m³ lük bir beton karışım dizaynı oluşturunuz.

Verilenler: Agregaların doygun yüzey özgül ağırlıkları sırasıyla küçükten büyüğe (0-5, 5-10, 10-25) doğru 2.630, 2.650, 2.670 nem içerikleri %6, %5, %3, absorpsiyonları %2, %1.5, %1 ve kendi içlerinde karışım oranı kum %50, 5-10 mıcır %15, 10-25 mıcır %35 seviyesindedir. Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.07 ve suyun özgül ağırlığı 1 ve su/çimento oranını 0.50 alınız. Çimento miktarı belirlemek için Tablo,1.16'yı kullanınız.

Adım 1: Tablo 1.16 daki verilerden yararlanıldığında 150-175 mm slump değeri ve 25 mm maksimum agrega boyutu için m³ başına kullanılması gereken su miktarı 202 kg/m³ tür ve hapsolmuş hava içeriği %1.5'tir. Su/çimento oranı, 0.50 olduğuna göre,

$0.50 = w / c$ olduğu için;

$$c = \frac{202}{0.50} = 404 \text{ kg (çimento miktarı)}$$

Adım 2: Bileşenlerin her birinin mutlak hacimlerini hesaplanır,

$$V_c = 404 / (3.07 \times 1000) = 0.1315 \text{ m}^3$$

$$V_w = 202 / (1 \times 1000) = 0.202 \text{ m}^3$$

$$V_{air} = 0.015 \text{ m}^3 \text{ (toplam } 1000 \text{ dm}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ beton hacminin \% 1.5'i)}$$

Tüm bileşenlerin toplam hacmi 1 m^3 olduğundan, agreganın hacmi;

$$V_T = V_c + V_w + V_{air} + V_a$$

$$V_a = 1 - (0.1315 + 0.2020 + 0.0150) = 0.6515 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{0-5} + V_{5-10} + V_{10-25}$$

Burada toplam agreganın hacminin %50'sini kum, %15'ini 5-10 mıcır ve %35'ini 10-25 agreganın teşkil eder, o halde;

$$V_{0-5} = 0.6515 \times 0.50 = 0.3257 \text{ m}^3$$

$$V_{5-10} = 0.6515 \times 0.15 = 0.0977 \text{ m}^3$$

$$V_{10-25} = 0.6515 \times 0.35 = 0.2280 \text{ m}^3$$

Adım 3: Agregaların ağırlıklarını hesaplanır,

$$W_a = W_{0-5} + W_{5-10} + W_{10-25}$$

$$W_{0-5} = 0.3257 \times 2630 = 856.59 \text{ kg}$$

$$W_{5-10} = 0.0977 \times 2650 = 258.90 \text{ kg}$$

$$W_{10-25} = 0.2280 \times 2670 = 608.76 \text{ kg}$$

1 m^3 beton içerisindeki bileşenlerin ağırlıkları:

Çimento : 404 kg

Su : 202 kg

Kum (0-5) : 857 kg

Mıcır (5-10) : 259 kg

Mıcır (10-25) : 609 kg

Toplam : 2331 kg/m³

Adım 4: Agregaların rutubet düzeltmeleri yapılır. Agregalar, karışıma rutubet miktarları kadar su verirler. Rutubet yüzdeleri, nem ve absorpsiyonun farkı kadardır, o halde agregaların rutubetten dolayı ortama verdikleri su miktarları;

Kum (0-5)'ten gelen su = $857 \times (0.06 - 0.02)$ = 34.28 kg

Mıcır (5-10)'dan gelen su = $259 \times (0.05 - 0.015)$ = 9.06 kg

Mıcır (10-25)'ten gelen su = $60 \times (0.03 - 0.01)$ = 12.18 kg

Aregalardan gelen toplam su miktarı = 55.52 kg

Bu durumda bir metreküpteki karışım oranlarını tekrar düzenlememiz gerekmektedir, agregalardan gelen toplam su miktarı kadar beton karışım suyunu azaltırız ve her agregatipinden gelen su miktarları kadar agregamiktarlarını artırmalıyız. Benzer şekilde nem-absorpsiyon farkları negatif değer verirse, hesapladığımız absorpsiyon miktarı kadar ilavesu karışıma eklenir.

1 m³ beton içerisindeki bileşenlerin düzeltilmiş ağırlıkları:

Çimento : 404 kg

Su : 146 kg (202 kg – 55.52 kg)

Kum (0-5) : 891 kg (857 kg + 34.28 kg)

Mıcır (5-10) : 268 kg (259 kg + 9.06 kg)

Mıcır (10-25) : 621 kg (609 kg + 12.18 kg)

Toplam : 2330 kg/m³

Burada:

V_c : Çimentonun hacmi (m³)

V_w : Suyun hacmi (m³)

V_{air} : Hapsolmuş hava hacmi (m³)

V_a : Toplam agregahacmi (m³)

V_{0-5} : 0-5 agregahacmi (m³)

V_{5-10} : 5-10 agregahacmi (m³)

V_{10-25} : 0-5 agrega hacmi (m^3)

V_T : Bileşenlerin toplam hacmi (m^3)

W_a : Toplam agrega ağırlığı (kg)

W_{0-5} : 0-5 agrega ağırlığı (kg)

W_{5-10} : 5-10 agrega ağırlığı (kg)

W_{10-25} : 10-25 agrega hacmi (kg)

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Malzeme

Bu tez çalışmasında kullanılan materyal, Giresun ve Gümüşhane il sınırları içerisinde bulunan toplam dört adet taş ocağından (Şekil 2.3) temin edilmiştir. Kullanılan agregaların bazı gurupları bölgede bulunan kırma-eleme tesisinde bazı gurupları ise laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Beton imalatında bağlayıcı olarak Ünye Çimento Fabrikası'nın ürettiği CEM I 42.5 R portland çimentosu ve Kardemir A.Ş. Demir - Çelik Fabrikasından elde edilen granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufunun aktifleştirilmesi için sodyum silikat solüsyonu (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Beton ve harç çubuğu karışımları için Tirebolu Harşit vadisi mevkiinde bulunan içilebilir kuyu suyu kullanılmıştır.

2.2. Kullanılan Malzemelere İlişkin Özellikler

Deneyisel çalışmalarda kullanılan materyallerin elde edildiği sahalar;

1. Tirebolu - Domaçlı Taş Ocağı (Giresun)
2. Görele - Çavuşlu Taş Ocağı (Giresun)
3. Doğankent - Taş Ocağı (Giresun)
4. Torul - Mağara Kalker Taş Ocağı (Gümüşhane)

Domaçlı Taş Ocağı Giresun iline bağlı Tirebolu ilçe merkezinden 8 km güneybatı istikametinde yer almaktadır ve sahil şeridine olan uzaklığı 2 km dir. Ocağın şu anki durumu aktif değildir. Ocak, 1995-1997 yılları arasında Karadeniz Sahil Otoyolu İnşaatı aşamasında kısa bir süreliğine otoyol dolgu malzemesi temini için kullanılmıştır.

Çavuşlu Taş Ocağı, Giresun iline bağlı Çavuşlu Beldesi'nin merkezinden 4 km güneyde yer almaktadır. Ocak, esas itibarı ile 1995-2010 yılları arasında Karadeniz Sahil Otoyolu'nun Çarşıbaşı-Piraziz arasında kalan proje kısmında deniz tahkimatı dolgusu sağlamak için kullanılmıştır. Ocaktan elde edilen tahkimat taşları Trabzon'un Çarşıbaşı ilçesinden Tirebolu'ya kadar olan yaklaşık 50 km'lik bir sahil şeridinde kullanılmıştır. Ayrıca ocak malzemesi yol inşaatı haricinde bölgedeki birçok balıkçı barınağı ve Tirebolu Limanı İnşaatı'nda kullanılmıştır. Ocağın faaliyeti 2010 yılı itibarı ile Karadeniz Sahil Otoyolu'nun inşaatının ve diğer deniz yapılarının tamamlanmasıyla son bulmuştur.

Doğankent Taş Ocağı Giresun iline bağlı Doğankent İlçesi merkezinden 2.5 km güney istikametinde, bölgede bulunan Harşit Çayı'nın yanında ve Tirebolu-Torul Yolu'nun

kenarındadır. Ocak, 1997-2007 yılları arasında yine Karadeniz Sahil Otoyoluna asfalt malzemesi temini amacıyla kullanılmış ve çıkarılan malzemeler ocaktan 13 km kuzeyde (Tirebolu istikametinde) yer alan, Karaahmetli köyündeki (Harşit deresi kenarı) konkasör tesisine nakledilerek boyutlandırılmıştır.

Mağara Kalker Taş Ocağı Gümüşhane ili sınırları içerisinde Torul ilçesinin 8 km güneyinde İkisü köyü yakınlarında yer almaktadır. Tirebolu-Torul yolunun 102. km'sindedir. Bu ocak, adıyla anıldığı gibi kalker kökenli kayalar içermektedir. Ocak, 2008 yılından itibaren faal değildir, elde edilen malzeme bölgedeki beton santrallerinde ve Karadeniz Sahil Otoyolu'nda kullanılmıştır. Taş ocağı sahil yoluna 100 km den daha uzak olmasına rağmen otoyol inşaatında kullanılmıştır. Genel olarak sahil otoyolu inşaatında Harşit kum çakıl ocağından elde edilen agregalar kullanılmasına karşın, yolun Espiye ilçesi sınırlarında kalan ve 320 m tek açıklıklı "Gül Burnu Viyadüğü" inşaatında Mağara kalker taş ocağının agregası kullanılmıştır. Bunun gerekçesi Harşit agregasının alkali-silika reaksiyonu sorununun olmasından kaynaklanmıştır. Bu ocağın malzemesinin %100 oranında Ünye CEM I 42.5 R çimentosu ile kullanımı TCK 10. Bölge Müdürlüğü'nün "B091TCK1100500/710-34625" sayılı raporuna göre ASR yönünden zararlı olduğu tespit edilmiştir. Bu malzeme en fazla beton agregası %15'lik hacimde kullanıldığında ASR yönünden zararsızdır. Viyadük inşaatında C40 beton sınıfı ve CEM I 42.5 çimento tipi kullanımı gerekliliği olduğundan bu parametreler alkali içeriğini yükselteceğinden ve agregasında ASR reaksiyonu göstermesinden dolayı ASR yönünden zararsız olan Mağara kalker taş ocağının agregası 2006-2008 yıllarında Tirebolu'daki konkasör tesisinde boyutlandırılarak kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan agrega boyutları; 0-5, 5-10, 10-25 mm olarak sınıflandırılmıştır. Mağara kalker taş ocağından gelen kayalar Tirebolu kuşkaya mevkiinde bulunan ve Karadeniz Sahil Otoyolu projesine beton agregası temini işleri yapan İsmil İnşaat'a ait konkasör tesisinde kırılmıştır. Doğankent ocağından elde edilen malzemede yine aynı şirketin Tirebolu, Karaahmetli köyündeki konkasör tesisinde kırılmıştır. Çavuşlu ve Domaçlı ocaklarından elde edilen malzemelerde laboratuvar ortamında çeneli kırıcıda diğer agregalarla aynı boyut sınıfında olacak şekilde kırılmıştır. Şekil 2.1.'de kayaların konkasör tesisindeki akış diyagramı işlem sırasına göre numaralandırılmış olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Malzemelerin kırıldığı konkasör tesisi (Karaahmetli köyü-Tirebolu)

Mağara kalker taş ocağı ve Doğankent taş ocağından elde edilen malzemeler Tirebolu Karaahmetli Köyündeki 200 ton/saat'lik sert taş kırma konkasör tesisinde kırılmıştır. Gelen malzemeler 200 ton/saat'lik çeneli kırıcıdan geçtikten çıkış ağız açıklığı 100 mm olan 180 ton/saatlik konik kırıcıya (1) gelir ayrıca ilk baştan çeneli kırıcıya girecek olan malzemeler bir ızgara üzerine konulur ve alta geçen malzemeler çeneli kırıcıya girmeden direkt konik kırıcıya gider. Konik kırıcıdan çıkan malzemelerin bir kısmı (kırılma esnasında ufalanmış olanlar) ilk önce 2 numaralı banttı 3 numaralı eleğe gelir ve ince kum niteliğindeki malzemeler burada ayrılır (4 numaralı bant). Bunun amacı boyutlanmış malzemenin boşuna sistemde yoğunluk oluşturmaması ve ekonomik avantaj sağlamaktır. 3 numaralı eleğin üstü yatay kırıcıya gönderilir. Konik kırıcıdan çıkan malzemelerin daha iri olanları mıcır boyutlandırmak amacıyla şekilde 6 numara ile gösterilen dört katlı eleğe gelerek 7 numaralı bantlardan mıcırlar (5-10 mm, 10-25mm) boyutlandırıldıktan sonra bu eleklerin elek üstünde kalan malzemeler 5 numara ile gösterilen 100 ton/saat 'Barmac' kırıcıya gelir. Bu kırıcıdan çıkan malzemeler tekrar eleklerle beslenerek boyutlandırılır yine benzer şekilde konik kırıcıda olduğu gibi ufalanmış malzemeler elekler yardımıyla ayrılır sisteme geri beslenmez.

2.3. Bölgenin Jeolojik Yapısı

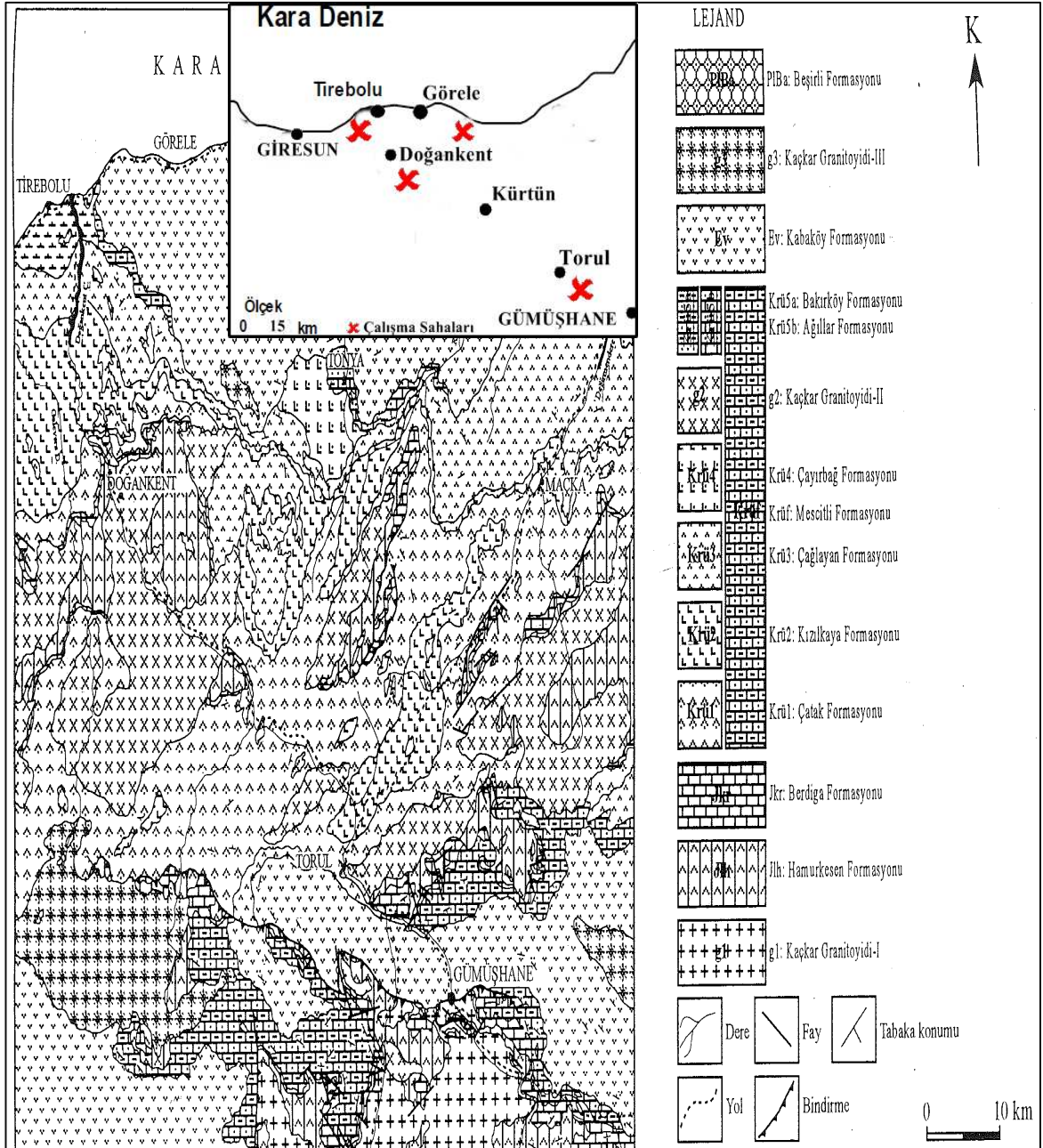
Bu tez çalışmasında çalışma sahası olarak belirlenen alanlar coğrafi olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır ve birbirlerine olan uzaklıkları en fazla 120 km. dir. Çalışma sahaları bölgedeki yaklaşık 1500 km² alan içerisinde. Coğrafi yapı olarak çalışma sahası "Doğu Pontidler" olarak bilinen jeoteknik yapı içerisinde yer alır.

Doğu Pontid ada yayı Ekay kuşağın kuzeyinde yer alır. Güney sınırını, Giresun, Torul, Gümüşhane, İspir ve Artvin'den geçen hat oluşturur. Özsaray vd. tarafından "Kuzey Zon", Akdeniz vd. tarafından "Pontid Otoktonu" olarak tanımlanan bu bölge doğu Pontid Kretase magmatik yayına karşılık gelir. Apsiyen döneminde platformun kırılmasıyla KD-GB yönlü transform faylarla dilimlenen bu zonda; güneyden kuzeye doğru oluşan yitim süreciyle Türoniyen de yoğun andezitik yay volkanizması oluşmuş ve bu süreci granitik magmatik yerleşim izlemiştir. Pontid yayı ve yay ardı havza olarak ayırdığımız bu kuşakta Türoniyen döneminde; "yay" da genellikle intrüziv kayalar görülürken yay ardı havzalarda volkanitler egemendir (Kurt ve Özkan, 2006). Çalışma alanları üst kretase volkanitlerinin yoğun olduğu bölge arasına sıkışmıştır.

Kuzey zondaki volkanitler tamamen yay magmatizması karakterinde olup yaşlıdan gence doğru, Alt Bazik Seri, Dasitik Seri ve Üst Bazik Seri şeklinde sınıflandırılır. Malm-Alt Kretase'de deniz tabanı volkanizması karakteri gösteren spilitik bazalt, bazalt, bazaltik andezit, andezitik tüf ve aglomeralarla temsil edilen volkanitler "Alt Bazik Seri" olarak isimlendirilmiştir. Dasitik Seri ise Üst Kretase'de yaygın dasit, riyodasit, latit türde lavlar ile aglomeralardan oluşur. Üst Bazik Seri ise ada yayı volkanizması ürünlerinden oluşur (Karakaya vd., 2007).

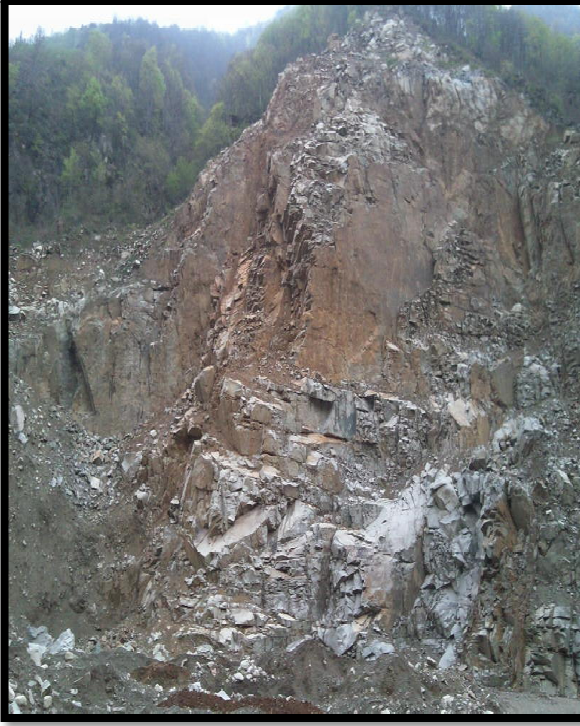
Çalışma alanlarından Domaçlı Taş Ocağı, Üst kretase volkanotortul serisinin çağlayan formasyonu litolojik birliği içerisinde yer almaktadır. Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli killi kireçtaşı ara seviyeleri içeren bazalt-andezit ve piroklastiklerinden oluşur. Tonya ilçesinin güneyinde yer alan Çağlayan köyünde bu formasyonun daha iyi izlenmiş olması nedeniyle Güven (1993) tarafından bu şekilde adlandırılmıştır. Doğankent Taş Ocağı ise Paleozoyik-Geç Kretase sonrası yaşlı Dereli Granitoyidi, Paleozoyik-Geç Kretase yaşlı Rize Granitoyidi, Geç Kretase sonrası yaşlı Kürtün granodiyoriti ve Torul Granodiyoriti gibi adlarla coğrafik dağılımları göz önüne alınarak anılan plütonik kayalar Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoyidi I-II-III olarak isimlendirilen birlik içerisinde yer almaktadır. Çavuşlu taş ocağı, Geç Kretase - Paleosen yaşlı çeşitli formasyonlar üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelen Kabaköy Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bu

formasyon andezit, bazalt, lav ve piroklastitleriyle kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marnların birlikte istiflenmesinden oluşmuştur. Gümüşhane ilinin güneydoğusunda yer alan Kabaköy mevkiinde görülmesi nedeniyle Güven tarafından bu şekilde adlandırılmıştır. Mağara Kalker Taş Ocağı, Berdiga Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı bu formasyon genellikle gri renkli ve orta tabakalı killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşur (Atıcı, 1998).



Şekil 2.2. Çalışma sahalarının jeoloji ve yer bulduru haritası (Atıcı, 1998'den alınmıştır)

Doğankent Taş Ocağı



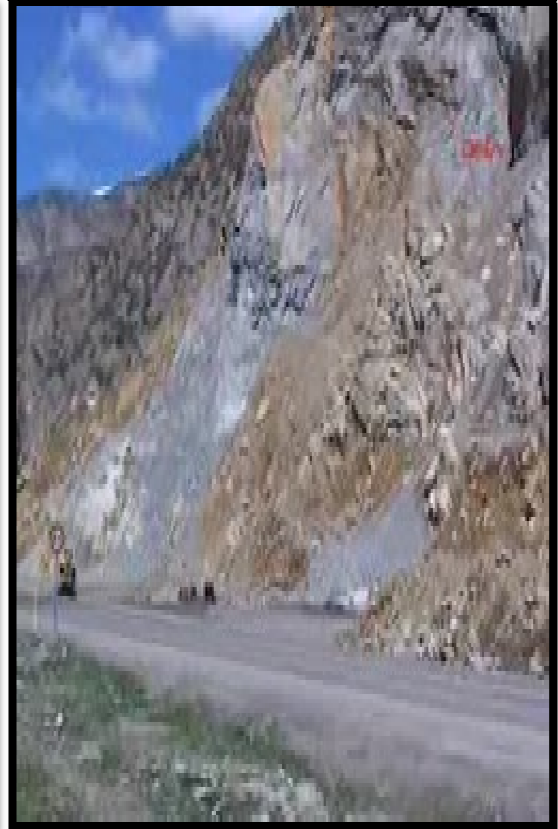
Çavuşlu Taş Ocağı



Domaçlı Taş Ocağı



Mağara Kalker Taş Ocağı



Şekil 2.3. Taş ocaklarının genel görünüşleri

Tablo 2.1. Deneylerde kullanılan çimento ve cürufun kimyasal analizleri

		CEM I 42.5 R		Yüksek Fırın Cürufu
Kimyasal Analiz		Standartlar	Değerler	Değerler
Toplam SiO ₂		–	19.55	40.68
Çözünmeyen Kalıntı		Maximum 5.00	0.87	–
Çözünen SiO ₂		–	18.68	–
Al ₂ O ₃		–	5.63	13.05
Fe ₂ O ₃		–	3.67	0.82
CaO		–	61.35	34.64
MgO		–	1.03	7.29
SO ₂		Maximum 4.00	3.12	–
Na ₂ O		–	0.25	0.41
K ₂ O		–	1.12	1.16
Na ₂ O + 0.658 K ₂ O		–	0.99	1.17
Cl		Maximum 0.10	0.0077	–
Özgül Ağırlık (g/cm ³)		–	3.05	2.88
Priz Süresi (saat)	Başlangıç	Minimum 01:00	02:46	–
	Bitiş	Maximum 10:00	03:52	–
Su İhtiyacı (%)		–	32.8	–
İncelik	Özgül Yüzey-Blaine (cm ² /g)	–	3603	3450
	90 mikron elekte kalıntı (%)	–	0.3	–
	45 mikron elekte kalıntı (%)	–	3.7	–
Basınç Dayanımı (Mpa)	2 (günlük)	Minimum 20	30.3	–
	7 (günlük)	–	45	–
	28 (günlük)	Minimum-Maksimum 42.5-62.5	55.7	–

2.4. Numunelerin Hazırlanması

Numuneler araziden blok kayaçlar ve konkasör ünitesinden kırılmış agrega olarak iki grupta alınmıştır. Blok kayaçlar, tek eksenli basınç dayanımı değeri belirlemek için karot alımında (Şekil 2.4) ve ince kesit analizleri için Doğancı ve Çavuşlu ocaklarından alınan blok numuneler agrega eldesi için kullanılmıştır. Kırılmış agregalar, agrega testleri ve beton karışımında kullanılmıştır. Agregalara uygulanan analizler, deneyler ve beton karışım dizaynları Kolsan İnşaat'a ait Tirebolu'daki hazır beton santralinin beton laboratuvarında yapılmıştır.



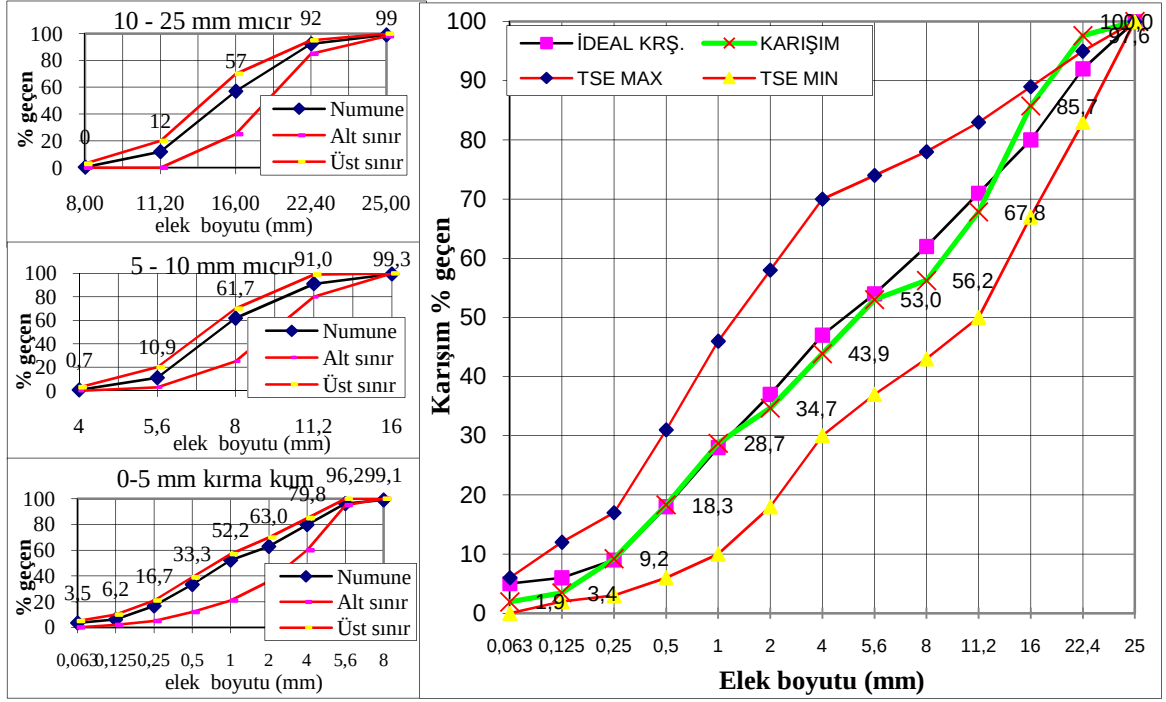
Şekil 2.4. Kayaçlardan karot alımı ve agreg a numunesi alınan yığ ınların görüntüsü

2.5. Agreg a Elek Analizleri ve Gradasyonları

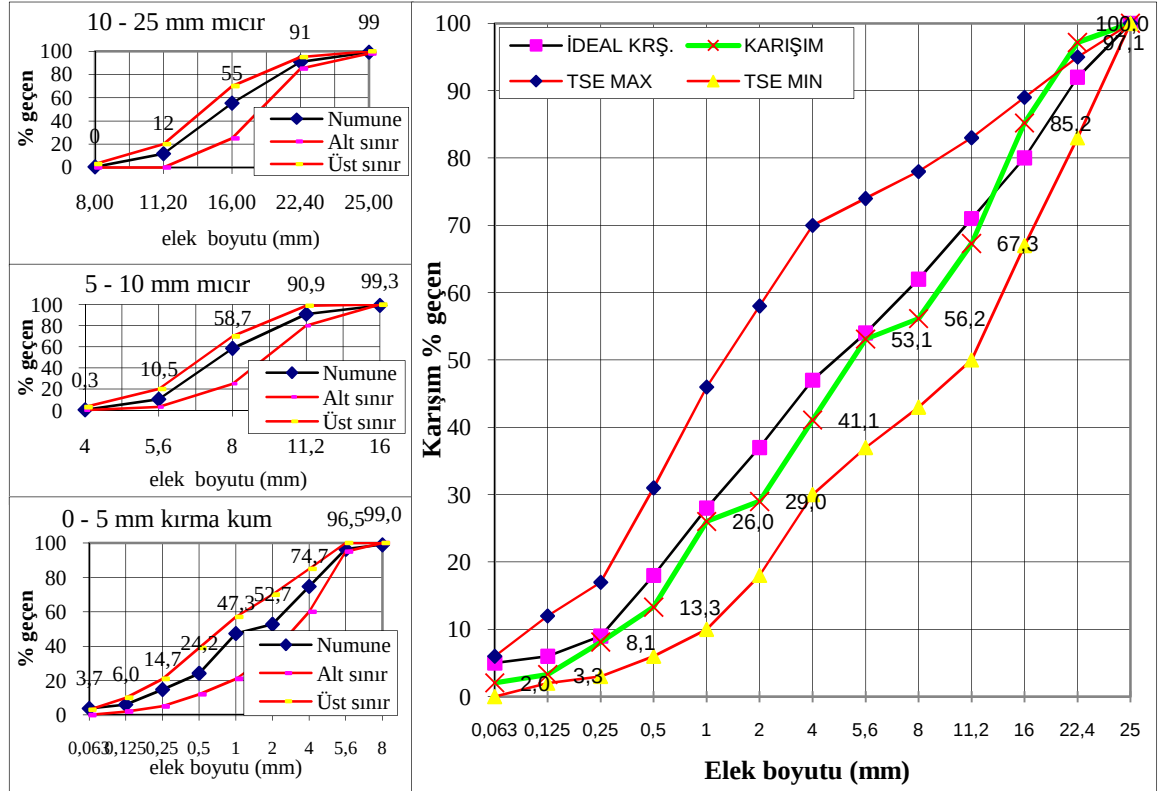
Agregaların elek analizleri bölüm 1.4.1’de anlatıldığı gibi yapıldı. Her ocaktan alınan malzemelerden 0-5 mm kum, 5-10 mm mıcır ve 10-25 mm mıcır boyut aralıklarında olacak şekilde üç gurup agreg a elde edilmiş ve elek analizleri yapılmıştır. Deneylerde ince agregaların içerdikleri 0.063 mm elekten geçen maddeler tespit edilmiştir. TSE veya diğer standartlara göre bu elekten geçen malzemeler (ASTM’ye göre, 0.075mm’lik elek baz alınır) agreg a olarak kabul edilmezler. Bu malzemeler genellikle çimentonun bağlayıcı özelliğini bloke eden kil, silt veya çeşitli organik maddeler olabilir. Agreganın kirliliğini tespit etmek için elenecek agreg a miktarı kaydedilir (W_1), sonra 0.063mm elek üzerinde yıkanır ve etüvde kurutularak ağırlığı kaydedilir (W_2).

Bu durumda kirlilik, M_y ;

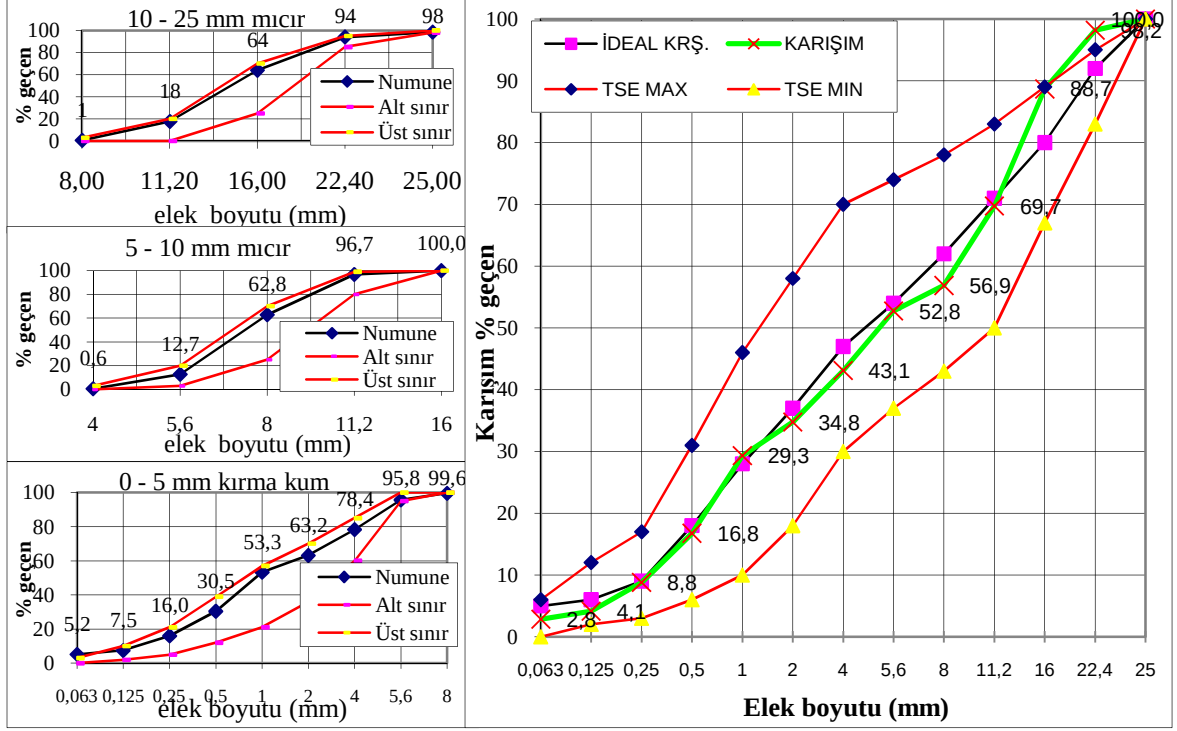
$$M_y = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100 \quad (29)$$



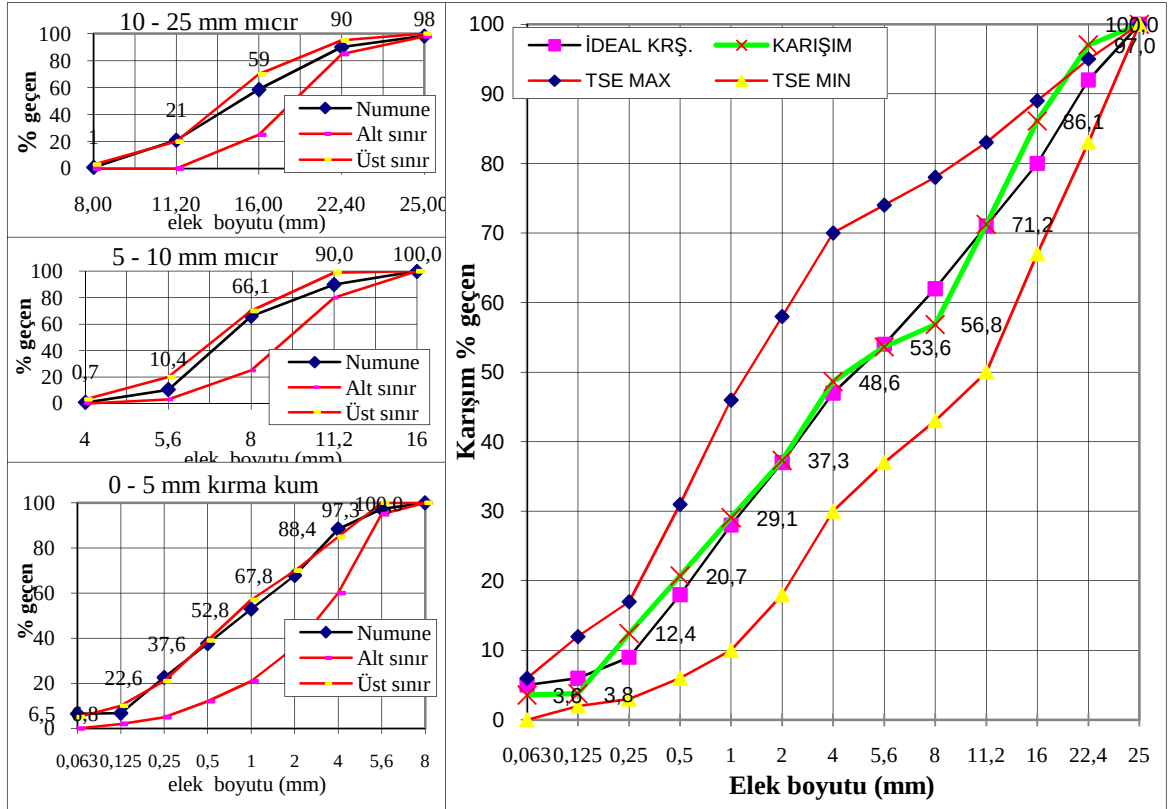
Şekil 2.5. Çavuşlu ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi



Şekil 2.6. Domaçlı ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi



Şekil 2.7. Doğankent ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi



Şekil 2.8. Mağara ocağı agrega elek analizleri ve karışım granülometrisi

Agrega elek analizleri ve karışım granülometrilerinin tablo değerleri, “EKLER” kısmında verilmiştir.

2.6. Agregaların Özgül Ağırlıkları ve Absorbsiyon Yüzdeleri

Agregaların özgül ağırlık hesaplamaları TS3526 (1980) standardına uyularak yapılmıştır. Karışım hesaplarında agregaların doygun yüzey kuru özgül ağırlık değerleri temel alınmıştır. Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 2.2. İnce (0-5mm) agregaların özgül ağırlık ve absorbsiyonları

İNCE AGREGALARIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI VE ABSORBSİYONU		ÇAVUŞLU 0-5 mm kum	DOMAÇLI 0-5 mm kum	MAĞARA 0-5 mm kum	DOĞANKENT 0-5 mm kum
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı (gr)	492.7	491.5	490	493.2
B	Doygun yüzey kuru malzeme ağırlığı (gr)	500	500	500	500
C	Volumetrik kap + Su + İnce agreg ağırlığı (gr)	978	980	937.8	947.8
D	Volumetrik kap + 500 ml. İşaretine kadar su dolu ağırlığı (gr)	667	670	633	636
E	Volumetrik kabın boş net ağırlığı (gr)	167	170	133	136
(D+B)-C	Hacim	189	190	195.2	188.2
A (B+D)-C	Kuru özgül ağırlık	2.607	2.587	2.510	2.621
B (B+D)-C	Doygun yüzey kuru özgül ağırlık	2.646	2.632	2.561	2.657
A (A+D)-C	Zahiri özgül ağırlık	2.712	2.708	2.646	2.719
(B-A)	Absorbsiyon miktarı (gr)	7.3	8.5	10.0	6.8
(B-A) A*100	Absorbsiyon yüzdesi	1.482	1.729	2.041	1.379

Tablo 2.3. Kaba (5-10 mm ve 10-25mm) agregaların özgül ağırlık ve absorbsiyonları

KABA AGREGALARIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI VE ABSORBSİYONU		ÇAVUŞLU		DOMAÇLI		MAĞARA		DOĞANKENT	
		5-10 mm	10-25 mm	5-10 mm	10-25 mm	5-10 mm	10-25 mm	5-10 mm	10-25 mm
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı(gr)	2479.5	2487.5	2469	2471	2467	2470	2484	2488
B	Doygun yüzey kuru malzeme ağırlığı (havadaki) (gr)	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
C	Doygun yüzey malzemenin sudaki ağırlığı (gr)	1563	1564	1559	1563	1532	1545	1563.5	1566.4
(B-C)	Hacim	937	936	941	937	968	955	936.5	933.6
A (B-C)	Kuru özgül ağırlık	2.646	2.658	2.624	2.637	2.549	2.586	2.652	2.665
B (B-C)	Doygun yüzey kuru özgül ağırlık	2.668	2.671	2.657	2.668	2.583	2.618	2.670	2.678
A (A-C)	Zahiri özgül ağırlık	2.705	2.694	2.713	2.721	2.639	2.670	2.699	2.700
(B-A)	Absorbsiyon miktarı (gr)	20.5	12.5	31.0	29.0	33.0	30.0	16.0	12.0
(B-A) A*100	Absorbsiyon yüzdesi	0.827	0.503	1.256	1.174	1.338	1.215	0.644	0.482

2.7. Agregaların Sıkışmış ve Gevşek Birim Ağırlık Değerleri

Birim ağırlık deneyleri yapılacak numuneler etüvde (105 ± 1 °C’de) sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve deneyler, bölüm 1.4.3’te anlatılan deney talimatına göre yapılmıştır (Şekil 2.9). Tablo 2.4, elde edilen sonuçları vermektedir.

Tablo 2.4. Agregaların birim ağırlık deney sonuçları (kg/m³)

MALZEME ADI		Agrega + Kap Ağırlığı (gr)	Kap Ağırlığı (boş) (gr)	Agrega Ağırlığı (gr)	Kap hacmi(cm ³)	Ölçülen Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Kg/m ³
ÇAVUŞLU GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	13870	2500	11370	7040	1.615	1615.06
	5-10 mm	13310	2500	10810	7040	1.536	1535.51
	10-25 mm	13201	2500	10701	7040	1.520	1520.03
ÇAVUŞLU SIKIŞMIŞ BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	15210	2500	12710	7040	1.805	1805.40
	5-10 mm	13712	2500	11212	7040	1.593	1592.61
	10-25 mm	13496	2500	10996	7040	1.562	1561.93
DOMAÇLI GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	13804	2500	11304	7040	1.606	1605.68
	5-10 mm	13251	2500	10751	7040	1.527	1527.13
	10-25 mm	13045	2500	10545	7040	1.498	1497.87
DOMAÇLI SIKIŞMIŞ BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	15155	2500	12655	7040	1.798	1797.59
	5-10 mm	13658	2500	11158	7040	1.585	1584.94
	10-25 mm	13341	2500	10841	7040	1.540	1539.91
DOĞANKENT GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	14144	2500	11644	7040	1.654	1653.98
	5-10 mm	13634	2500	11134	7040	1.582	1581.53
	10-25 mm	13201	2500	10701	7040	1.520	1520.03
DOĞANKENT SIKIŞMIŞ BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	15412	2500	12912	7040	1.834	1834.09
	5-10 mm	14101	2500	11601	7040	1.648	1647.87
	10-25 mm	13670	2500	11170	7040	1.587	1586.65
MAĞARA GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	13510	2500	11010	7040	1.564	1563.92
	5-10 mm	13190	2500	10690	7040	1.518	1518.47
	10-25 mm	12524	2500	10024	7040	1.424	1423.86
MAĞARA SIKIŞMIŞ BİRİM AĞIRLIK	0-5 mm	13864	2500	11364	7040	1.614	1614.20
	5-10 mm	13648	2500	11148	7040	1.584	1583.52
	10-25 mm	13271	2500	10771	7040	1.530	1529.97



Şekil 2.9. Birim ağırlık kapları ve agregaların görünüşü

2.8. Agregaların Yassılık İndeks Değerleri

Yassılık indeksi deneyleri (Tablo 2.5), TS 9582 EN 933-3 (1999) standardına uygun olarak yapılmış, yassılık indekslerinin 4.70-7.49 arasında ve standartlara uygun olduğu ve beton yapımında agrega malzemesi olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Tablo 2.5. Agregaların yassılık indeksi deney sonuçları

		Normal Elekler		Yassı Elekler		Her Aralık İçin Yassılık İndeksi	Yassılık İndeksi	
Miktarlar		gr	Elek Aralığı (mm)	Kalan Ri (gr)	Elek Açıklığı (mm)	Geçen mi (gr)	Fi = (mi/Ri)*100	FI = (M2/M1)*100
10-25 mm Agregalar								
ÇAVUŞLU	Toplam malzeme	4624	20 / 25	1597	12.5	139	8.70	6.07
	25 mm elek üstü	64	16 / 20	1283	10	48	3.74	
	10 mm elek altı	274	12.5 / 16	987	8	57	5.78	
	İşlem dışı kütle	338	10 / 12.5	419	6.3	16	3.82	
	Deney kısmı	4286	M1= ΣRi =	4286	M2 = Σmi =	260		
DOMAÇLI	Toplam malzeme	4212	20 / 25	716	12.5	54	7.54	7.08
	25 mm elek üstü	53	16 / 20	1376	10	78	5.67	
	10 mm elek altı	116	12.5 / 16	1622	8	146	9.00	
	İşlem dışı kütle	169	10 / 12.5	327	6.3	8	2.45	
	Deney kısmı	4043	M1= ΣRi =	4041	M2 = Σmi =	286		
DOĞANKENT	Toplam malzeme	4073	20 / 25	1446	12.5	72	4.98	4.70
	25 mm elek üstü	89	16 / 20	1217	10	56	4.60	
	10 mm elek altı	172	12.5 / 16	675	8	32	4.74	
	İşlem dışı kütle	261	10 / 12.5	474	6.3	19	4.01	
	Deney kısmı	3812	M1= ΣRi =	3812	M2 = Σmi =	179		
MAĞARA	Toplam malzeme	3879	20 / 25	575	12.5	37	6.43	4.82
	25 mm elek üstü	85	16 / 20	1286	10	51	3.97	
	10 mm elek altı	182	12.5 / 16	1157	8	65	5.62	
	İşlem dışı kütle	267	10 / 12.5	593	6.3	21	3.54	
	Deney kısmı	3612	M1= ΣRi =	3611	M2 = Σmi =	174		
5-10 mm Agregalar								
ÇAVUŞLU	Toplam malzeme	3792	10 / 12.5	1810	6.3	125	6.91	7.05
	25 mm elek üstü	43	6.3 / 8	1436	4	92	6.41	
	10 mm elek altı	117	5 / 6.3	385	3.15	39	10.13	
	İşlem dışı kütle	160						
	Deney kısmı	3632	M1= ΣRi =	3631	M2 = Σmi =	256		
DOMAÇLI	Toplam malzeme	3308	10 / 12.5	1589	6.3	125	7.87	7.49
	25 mm elek üstü	21	6.3 / 8	1087	4	74	6.81	
	10 mm elek altı	68	5 / 6.3	543	3.15	42	7.73	
	İşlem dışı kütle	89						
	Deney kısmı	3219	M1= ΣRi =	3219	M2 = Σmi =	241		
DOĞANKENT	Toplam malzeme	2845	10 / 12.5	1219	6.3	59	4.84	5.61
	25 mm elek üstü	58	6.3 / 8	1125	4	61	5.42	
	10 mm elek altı	220	5 / 6.3	223	3.15	24	10.76	
	İşlem dışı kütle	278						
	Deney kısmı	2567	M1= ΣRi =	2567	M2 = Σmi =	144		
MAĞARA	Toplam malzeme	3994	10 / 12.5	1504	6.3	89	5.92	4.75
	25 mm elek üstü	264	6.3 / 8	996	4	53	5.32	
	10 mm elek altı	358	5 / 6.3	871	3.15	18	2.07	
	İşlem dışı kütle	622						
	Deney kısmı	3372	M1= ΣRi =	3371	M2 = Σmi =	160		

2.9. Agregaların Los Angeles Aşınması ve Darbe Dayanımları

Los Angeles deneyi için ASTM C-131 test metodu (Numuneler ve standart topraklar Tablo1.11 esas alınarak B tipine göre hazırlanmış) ve darbe dayanımı deneyi için TS EN 1097-2 test metodu izlenmiştir. Tablo 2.6’da Agregada darbe deneyi sonuçları ve Tablo 2.7’de Los Angeles deneyi sonuçları görülmektedir.

Tablo 2.6. Agregaların darbe deney sonuçları

Elek açıklığı (mm)	DOĞANKENT				MAĞARA				DOMAÇLI				ÇAVUŞLU						
	Elek üstü (gr)	Top. elek üstü (gr)	Elek altı (gr)	% Geçen	Elek üstü (gr)	Top. elek üstü (gr)	Elek altı (gr)	% Geçen	Elek üstü (gr)	Top. elek üstü (gr)	Elek altı (gr)	% Geçen	Elek üstü (gr)	Top. elek üstü (gr)	Elek altı (gr)	% Geçen			
8	772	772	137	15	784	784	358	31	802	802	277	26	891	891	213	19			
5	67	839	70	8	165	949	193	17	108	910	169	16	98	989	115	10			
2	32	871	38	4	108	1057	85	7	82	992	87	8	59	1048	56	5			
0.630	18	889	20	2	36	1093	49	4	40	1032	47	4	31	1079	25	2			
0.200	11	900	9	1	28	1121	21	2	29	1061	18	2	16	1095	9	1			
Geçen	9	...	...	...	21	...	...	...	18	...	...	...	9	...	...	...			
Toplam	909	...	274	30	1142	...	706	62	1079	...	598	55	1104	...	418	38			
Darbe değeri SZ 8/12				6	Darbe değeri				12	Darbe değeri				11	Darbe değeri				8
Şartname				≤ 18					≤ 18					≤ 18					≤ 18

Tablo 2.7. Agregaların Los Angeles aşınması deney sonuçları

	Devir Sayısı	Deney Tipi	Standart Bilye Sayısı	Elek Aralığı (mm)	Numune Miktarları (gr)	İlk Numune Miktarı (gr)	1.7 mm Elekte Kalan (gr)	1.7 mm Elekten Geçen(g)	Los Angeles Katsayısı
Çavuşlu	500	B	11	19-12.5	2500	5000	4307	693	13.86
				12.5- 9.5	2500				
Domaçlı	500	B	11	19-12.5	2500	5000	4117	883	17.66
				12.5-9.5	2500				
Doğankent	500	B	11	19-12.5	2500	5000	4425	575	11.5
				12.5-9.5	2500				
Mağara	500	B	11	19-12.5	2500	5000	3929	1071	21.42
				12.5-9.5	2500				

Numunelere uygulanan darbe ve Los Angeles aşınma deneyleri birbiriyle paralellik göstermiştir. Tablo 2.6 ve 2.7 incelendiğinde darbeden dolayı ufanmaya en çok maruz kalan Mağara taş ocağına ait numunenin Los Angeles aşınma değeri de en fazla çıkmıştır. Benzer şekilde her iki deneyde de numunelerin maruz kaldığı aşınma veya darbe ile ufalanma sırası büyükten küçüğe doğru birbirinin aynısıdır.

2.10. Agregaların Dona Dayanıklılık Deneyleri

Agregaların dona dayanıklılık deneyleri bölüm 1.4.4'te anlatıldığı gibi magnezyum sülfat çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. Çözelti, yoğunluğu 1.295-1.308 g /cm³ olacak şekilde hazırlanmış ve elek boyutları ve miktarları ASTM-C 88'e göre Tablo 1.10'dan faydalanarak belirlenmiştir. Tablo 2.8 deney sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2.8. Agregaların don dayanımı deney sonuçları

Numune cinsi	ASTM C88 e göre tane sınıfı aralıkları (mm)	Deney numunesi miktarı (gr)			Don Kaybı (%)	
		Deneye giren malzeme (M1)	Deney sonrası elek üstü (M2)	Deney sonrası elek altı (M1-M2)	Deney sonrası agrega kaybı 100*(M1-M2)/ M1	ASTM C 88 sınır değerler (%)
Çavuşlu	19-9.5	1536	1466.7	69.3	4.51	18
	9.5-4.75	298.2	287.3	10.9	3.66	18
Domaçlı	19-9.5	1516	1409	107	7.06	18
	9.5-4.75	304.3	277.45	26.85	8.82	18
Mağara	19-9.5	1498	1429.5	68.5	4.57	18
	9.5-4.75	301.4	289	12.4	4.11	18
Doğankent	19-9.5	1522	1503.6	18.4	1.21	18
	9.5-4.75	296.3	294	2.3	0.78	18

2.11. Agregaların Nokta Yükleme Deneyleri

Deneyler bölüm 1.4.8'de anlatıldığı gibi ve 10 tane numune üzerinden yapılarak ortalama düzeltilmiş nokta yükü dayanımları hesaplanmıştır (en büyük ve küçük ikişer değer hariç). Deneyler agregaların elde edildiği kaynak kayalardan elde edilen düzensiz şekilli numuneler üzerinde yapılmış (Şekil 2.10) ve deney sonuçlarının tek eksenli basınç dayanımı değerleriyle paralellik gösterdiği, nokta yükü dayanımı en yüksek olan kayacın tek eksenli basınç dayanımı değeri de en yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 2.9).



Şekil 2.10. Nokta yükleme deney aleti ve numunelerin görünüşü

Tablo 2.9. Agregaların nokta yükleme deney sonuçları

	Örnek Sayısı	D ortalama (cm)	W ortalama (cm)	De ² (cm ²)	De (cm)	F	P (kN)	Is (Mpa)	Düzeltilmiş Nokta Yüğü Is(50) (Mpa)	
Domaçlı	1	3.4	6.4	27.72	5.26	1.02	7.57	2.73	2.80	
	2	2.8	6.2	22.11	4.70	0.97	6.74	3.05	2.96	
	3	3.4	5.4	23.39	4.84	0.99	13.33	5.70	5.61	
	4	3.4	5	21.66	4.65	0.97	6.53	3.01	2.92	
	5	3	5.6	21.40	4.63	0.97	7.74	3.62	3.49	
	6	3.5	5.5	24.52	4.95	1.00	9.69	3.95	3.94	
	7	3.9	5.9	29.31	5.41	1.04	10.00	3.41	3.54	
	8	3.2	6.2	25.27	5.03	1.00	11.94	4.72	4.73	
	9	3.4	6	25.99	5.10	1.01	6.81	2.62	2.64	
	10	2.9	6.4	23.64	4.86	0.99	8.36	3.54	3.49	
	Ortalama Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (en büyük ve en küçük iki değer hariç)									3.39
	Çavuşlu	1	3.4	6.3	27.29	5.22	1.02	13.75	5.04	5.14
2		3.2	6.2	25.27	5.03	1.00	15.41	6.10	6.11	
3		3.2	5.8	23.64	4.86	0.99	11.65	4.93	4.87	
4		3.1	5.6	22.11	4.70	0.97	9.65	4.36	4.24	
5		3.5	6.1	27.20	5.22	1.02	7.65	2.81	2.87	
6		2.7	5.7	19.61	4.43	0.95	10.20	5.20	4.93	
7		2.6	5.6	18.55	4.31	0.94	8.50	4.58	4.29	
8		3.1	5.8	22.90	4.79	0.98	7.89	3.44	3.38	
9		3.4	6.5	28.15	5.31	1.03	8.54	3.03	3.12	
10		2.8	6.4	22.83	4.78	0.98	10.56	4.63	4.53	
Ortalama Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (en büyük ve en küçük iki değer hariç)									4.37	
Mağara		1	3.3	6.8	28.59	5.35	1.03	8.10	2,83	2.92
	2	3.5	7.3	32.55	5.71	1.06	7.41	2,28	2.42	
	3	2.6	5.4	17.89	4.23	0.93	5.35	2,99	2.77	
	4	3.7	5.4	25.45	5.05	1.00	5.14	2,02	2.03	
	5	3.2	5.2	21.20	4.60	0.96	5.47	2,58	2.49	
	6	2.5	6.5	20.70	4.55	0.96	7.42	3,59	3.44	
	7	3.3	6.7	28.17	5.31	1.03	6.84	2,43	2.49	
	8	3.7	6.3	29.69	5.45	1.04	5.90	1,99	2.07	
	9	3	5.3	20.25	4.50	0.95	5.77	2,85	2.72	
	10	3	4.1	15.67	3.96	0.90	5.69	3,63	3.27	
	Ortalama Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (en büyük ve en küçük iki değer hariç)									2.63
	Doğankest	1	3.4	5.4	23.39	4.84	0.99	19.64	8.40	8.27
2		3.2	6.8	27.72	5.26	1.02	17.88	6.45	6.60	
3		3.4	7.5	32.48	5.70	1.06	26.76	8.24	8.74	
4		2.3	7.1	20.80	4.56	0.96	15.41	7.41	7.11	
5		4.3	6.4	35.06	5.92	1.08	27.04	7.71	8.32	
6		2.9	6.7	24.75	4.98	1.00	12.19	4.92	4.91	
7		3.3	7.4	31.11	5.58	1.05	19.32	6.21	6.52	
8		2.9	4.5	16.62	4.08	0.91	17.86	10.74	9.80	
9		2.8	5.2	18.55	4.31	0.94	17.25	9.30	8.70	
10		2.6	6.2	20.54	4.53	0.96	20.35	9.91	9.48	
Ortalama Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (en büyük ve en küçük iki değer hariç)									7.95	

2.12. Agregaların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Agregaların basınç dayanımı deneyleri, agregaların elde edildiği kaynak kayalardan alınan karot numunelerine uygulanan deneylerle Bölüm 1.4.7’de anlatılan talimatlara uyularak belirlenmiştir (Şekil 2.11). Agregaların tek eksenli basınç dayanımı değerleri ISRM standartlarına göre hazırlanan üç deney numunesinin (karot numunesi) ortalamasının alınması sonucu tespit edilmiş, tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin (Tablo 2.10) nokta yükleme deneyleri ile paralellik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 2.11. Blok kayalar ve deneye tabii tutulan karot numunesinin görünüşü

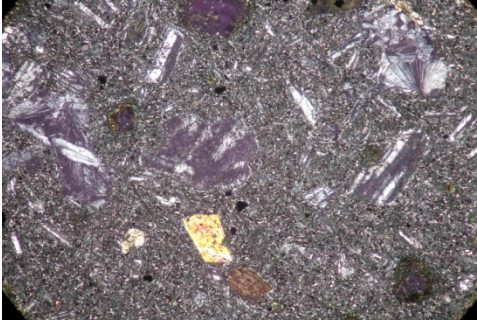
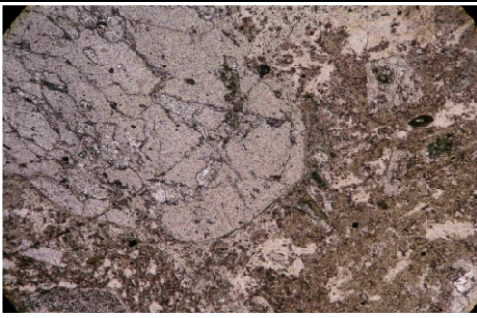
Tablo 2.10. Agregaların tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

	Boy (mm)	Çap (mm)	Boy/çap	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ortalama Basınç Dayanımı	
					Mpa	kgf/cm ²
Çavuşlu	139.78	54.40	2.57	189.10	175.54	1790.5
	139.12	54.27	2.56	172.35		
	138.76	54.60	2.54	165.17		
Domaçlı	139.19	54.70	2.54	170.91	172.53	1759.8
	139.10	54.20	2.57	177.85		
	138.80	54.80	2.53	168.84		
Doğankent	137.23	54.75	2.51	205.80	215.34	2196.5
	107.80	54.30	1.99	222.60		
	117.30	54.80	2.14	217.63		
Mağara	133.60	54.83	2.44	133.60	111.30	1135.5
	138.15	54.62	2.53	102.45		
	136.47	54.75	2.49	97.85		

2.13. Agregaların İncekesit Analizleri

Agregaların elde edildiği kaynak kayaçlardan alınan numuneler incekesit olarak hazırlanmış ve doku özellikleri, mineralleri ve yapısal durumları ayrıntılı olarak incelenerek elde edilen görüntüler ve bulgular Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11. İncelenen agregaların incekesit analizleri

İncekesit Görüntüsü	Kayacın Alındığı Yer	Açıklamalar	Kayacın Belirlenen Adı
	Çavuşlu Taş Ocağı	Hiyelomikrolitik porfirik, amigdoidal porfirik dokulu. Fenokristallerinde plajioklaslar ve ojitler var. Ojitler oldukça parçalanmış, kloritleşmiş. Çok az miktarda olivin var ve hamur malzemesi plajioklas mikrolitleri ve opak minerallerden oluşmuş. Boşlukları ışınsal zeolit tarafından doldurulmuş.	Bazalt
	Domaçlı Taş Ocağı	Oldukça ayrılmış, hamurunda yaygın silişleşme ve killeşme var, fenokristalleri plajioklaslardan oluşuyor ve elek doku ve halkalı dokuya sahip. Kuvars taneleri içeriyorlar, yer yer parçalı kırıntılı yapılı, %5'in altında kayaç parçalarında piroksen tanelerine sahip, mafik mineralleri az, kloritleşme var.	Dasitik Tüf
	Doğanken Taş Ocağı	Ortoklaz, plajioklas yer yer serisitleşme feldispatlaşma alterasyonu var. Kaolinleşme ve az miktarda biyotit var kloritleşmiş olanlarda yeşil hornblend var. Mafik mineralleri çok az. Taneli dokulu, epidotlaşma çok az bir yerde gelişmiş.	Granit
	Mağara Kalker Taş Ocağı	Tamamen kalsit, dilinim gösteriyor.	Kristalize Kireçtaşı

2.14. Beton Deneyleri

Çalışma kapsamında 4 tip agrega için beton numuneleri iki grup halinde hazırlanmıştır. Birinci grup numunelerde bağlayıcı olarak Ünye Çimento Fabrikası'na ait CEM I 42.5 R portland çimentosu, ikinci grup karışımlar için bağlayıcı olarak sodyum silikat solüsyonu ve sodyum hidroksit'le (Merck Chemicals, 40g/mol, 2.13 g/cm³) birlikte aktifleştirilmiş Kardemir A.Ş' ye ait yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Her iki grupta da bağlayıcı miktarları aynı tutulmuş, çimento ve aktifleştirilmiş cüruf bağlayıcılı deneylerde bağlayıcı dozajı 300 kg seçilmiş ve ayrıca aktifleştirilmiş cüruf bağlayıcılı deneylerde, cüruf ağırlığının %5'i kadar priz kontrolü için kireç kullanılmıştır (Tablo 2.12 ve 2.13). Benzer şekilde her tip agreganın miktarları aynı ve granülometrileri birbirine yakın bölgelerde seçilmiştir. Beton deneylerindeki amaç, farklı kayaç ve bağlayıcı kökenleri kullanıldığında elde edilen betonun dayanım ve işlenebilirlik özelliklerini incelemektir.

Cüruf aktifleştirme işleminde NaOH'ın su ile hazırlanmış solüsyonu (NaOH/su; ağırlıkça ½ oranında) ve sodyum silikat ağırlıkça 2.09 modül oranında (SiO₂/Na₂O = 2.09) kullanıldı. Aktifleştirme işlemi için sıvı sodyum silikat ve sodyum hidroksit modül oranı 1'i sağlayacak şekilde (SiO₂/Toplam Na₂O =1) ve cürufun ağırlıkça % 6'sı kadar Na₂O içerecek şekilde karıştırıldı. Ayrıca seçilen bir agrega cinsi için (Çavuşlu-bazalt)ağırlıkça cürufun %8'i ve %10'u kadar Na₂O oranı içeren beton dökümleri, dayanımdaki farklılıkları incelemek için yapılmıştır. Yine aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu ile yapılan beton dökümlerinde priz kontrolünü sağlamak için cürufun ağırlıkça %5'i kadar kireç (Ca(OH)₂) kullanılmıştır. Bütün deneyde de hava içerikleri %1.5 civarında ölçülmüştür.

Deneylerde hazırlanan betonlar laboratuvar ortamında 75 dm³'lük betoniye vasıtasıyla hazırlanmıştır. Yaş beton sıcaklıkları 18-23 °C arasında ölçüldü. Yaş betonlar beton laboratuvarındaki 15 x15x15 cm boyutlarındaki küp kalıplara (Şekil 2.12) konulmuş ve 24 saat sonunda numuneler kalıplarından alınarak 21±1 °C sabit sıcaklıktaki su ile dolu kür havuzuna bırakılmıştır. Her iki grup deney için numunelerin 7, 28, 60 ve 90 günlük dayanım sonuçları kgf/cm² cinsinden belirlenmiştir. Yapılan beton dökümlerinin slump değerleri 14-15 cm arasında tutulmuş (Şekil 2.14) ve bu bağlamda su/bağlayıcı oranları 0.57-0.65 arasında değişmiştir. Hazırlanan yaş beton dizaynlarının slump, kohezyon, segregasyon, işlenebilirlik ve pompalanabilme değerleri göz önünde tutularak ancak birkaç deneme sonunda karışım oranları belirlenmiş ve numune alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde işlenebilirliğinin iyi olduğu ve segregasyon olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 2.12. Çimento bağlayıcılı (1. grup) deneylerin 1m³'lük karışımları

Malzeme	Birimi	Domaçlı	Doğankent	Mağara	Çavuşlu
CEM I 42.5 R	kg	300	300	300	300
Su	kg	187	192	196	190
0-5 mm kum	kg	917	919	884	922
5-10 mm mıcır	kg	370	369	357	372
10-25 mm mıcır	kg	558	556	542	558
Su/çimento oranı	...	0.62	0.64	0.65	0.63
Slump	cm	15	14	14	14.5
Toplam malzeme	kg/m ³	2332	2336	2279	2342

Tablo 2.13. Aktifleştirilmiş fırın cürufu bağlayıcılı 2. grup deneylerin 1m³'lük karışımları

	Malzeme	Birimi	Domaçlı	Doğankent	Mağara	Çavuşlu (%6)	Çavuşlu (%8)	Çavuşlu (%10)
Bağlayıcı	Na ₂ SiO ₃	kg	66	66	66	66	85	103
	Kireç	kg	13	13	13	13	12	12
	NaOH	kg	10	10	10	10	13	16
	Curuf	kg	254	254	254	254	245	237
	Toplam bağlayıcı miktarı	kg	300	300	300	300	300	300
Su	Na ₂ SiO ₃ den gelen su	kg	43	43	43	43	56	68
	NaOH'ı çözmek için su	kg	21	21	21	21	26	32
	Sonradan eklenen su	kg	113	120	122	117	92	72
	Toplam su	kg	177	184	186	181	174	171
Agrega	0-5 mm kum	kg	929	928	892	928	939	943
	5-10 mm mıcır	kg	375	373	360	374	379	380
	10-25 mm mıcır	kg	561	561	547	562	569	571
	Su / bağlayıcı oranı	...	0.59	0.61	0.62	0.60	0.58	0.57
	SiO ₂ / Toplam Na ₂ O	...	1	1	1	1	1	1
	Na ₂ O içeriği (Na ₂ O / Curuf, Ağırlıkça)	%	6	6	6	6	8	10
	NaSiO ₂ katı oranı	...	0.3416	0.3416	0.3416	0.3416	0.3416	0.3416
	Slump	cm	15	14	14	14	14	14.5
	Toplam malzeme	kg/m ³	2342	2346	2285	2345	2361	2365



Şekil 2.12. Beton numune alma kalıpları ve betoniyein görüntüsü



Şekil 2.13. Prestele kırılmış beton numunelerinin görünüşü (soldakiler çimento bağlayıcılı, sağdakiler aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu bağlayıcılı numuneler)



Şekil 2.14. Yaş betonların slump ölçüm hunisi ve bileşenlerin hassas terazi ile tartılması

Yapılan beton deneylerinin aynı kıvamda, birbirine yakın slump ve işlenebilirlikte olmasına dikkat edilmiştir. Elde edilen beton dayanım sonuçları incelendiğinde AYFC bağlayıcılı deneylerin 7 ve 28 günlük küp numune basınç dayanımları, çimento bağlayıcılı deneylerle birbirine yakın olmasına karşın daha geç dayanımları genellikle daha yüksek gözlenmiş, bazalt agregasıyla % Na_2O içeriğine göre yapılan deneylerde, Na_2O oranı arttıkça, dayanımların arttığı gözlemlenmiştir.

2.15. Alkali-Silika Reaksiyonu Harç Çubuğu Deneyleri

Alkali-silika reaksiyonu deneyleri beton deneylerine benzer şekilde iki grupta halinde, bölüm 1.5.3.3'te anlatılan ASTM-C 1260 deney standardına göre yapılmıştır. İlk grupta bağlayıcı olarak Ünye CEM I 42.5 R çimentosu, ikinci grupta ise bağlayıcı olarak AYFC (Kardemir A.Ş.) kullanılmıştır (Şekil 2.15). Agregat karışım oranları Tablo 2.14'e göre, bağlayıcı miktarının 2.25 katı kadar agregat miktarı ve 0.47'lik su/bağlayıcı oranıyla hazırlanmıştır. Hazırlanan harç çubukları 14 gün boyunca $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de 1 N NaOH çözeltisi içerisinde bekletildikten sonra (Şekil 2.17) ve hassas ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2.19). Çözelti, 40 g katı NaOH'ın 900 ml damıtık suda çözülmesiyle hazırlanmış, priz kontrolü için curufun %5'i kadar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılmıştır. Tablo 2.15 ve Tablo 2.16 karışım oranlarını ve deney sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2.14. Elek aralıklarına göre numune miktarları (ASTM-C 1260, 2005)

Elek Aralığı	Miktar (%)
4.75mm(No: 4) - 2.36 mm(No:8)	10
2.36mm - 1.18mm(No:16)	25
1.18mm - 600 μ m(No:30)	25
600 μ m - 300 μ m(No: 50)	25
300 μ m - 150 μ m(No: 100)	15



Şekil 2.15. Harç çubuklarının kalıp sökümünden sonraki görüntüsü

Tablo 2.15. Çimento bağlayıcılı harç çubuklarının karışımları ve genleşme miktarları

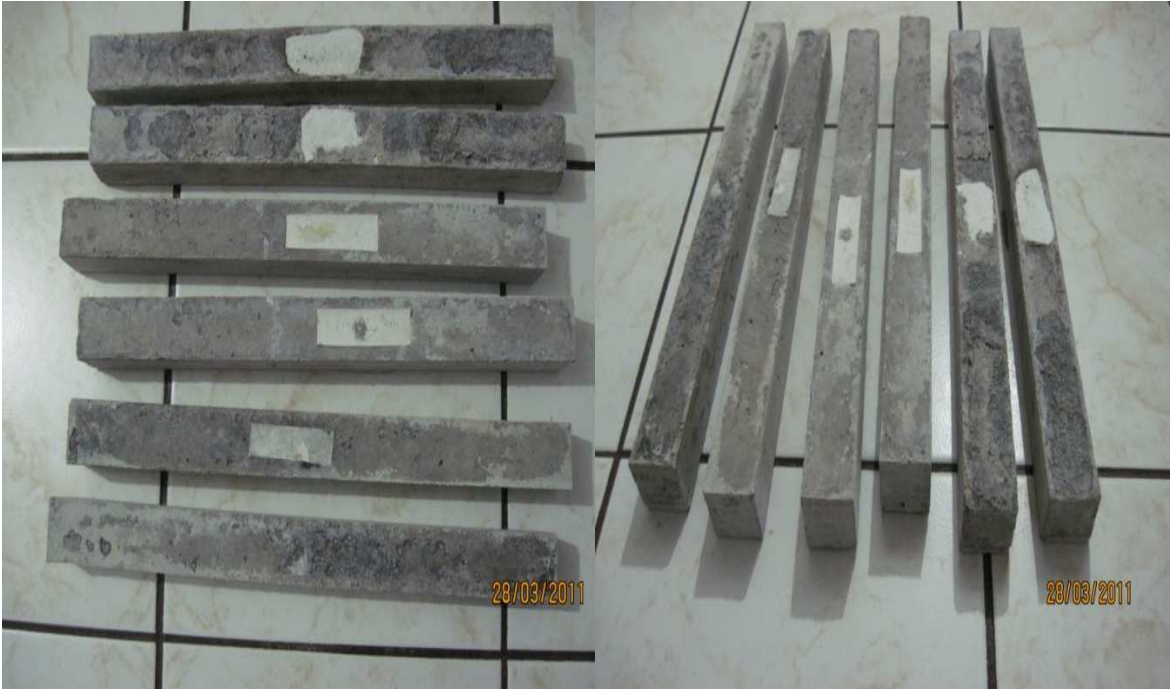
Malzeme	Birimi	Domaçlı	Doğankent	Mağara	Çavuşlu
CEM I 42.5 R	g	440	440	440	440
Su	g	207	207	207	207
0-5 mm kum	g	990	990	990	990
Su/çimento oranı	...	0.47	0.47	0.47	0.47
Toplam malzeme	g	1637	1637	1637	1637
Ortalama Boyca Genleşme Miktarları					
3 günlük	%	0.0931	0.1876	0.0220	0.0452
7 günlük		0.2243	0.2853	0.0260	0.0515
14 günlük		0.3249	0.3326	0.0320	0.0625
ASTM C 1260 Standart genleşme yüzdesi		≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1

Tablo 2.16. AYFC bağlayıcılı harç çubuklarının karışımları ve genleşme miktarları

	Malzeme	Birimi	Domaçlı	Doğankent	Mağara	Çavuşlu	Çavuşlu	Çavuşlu
Bağlayıcı	Na ₂ SiO ₃	g	97	97	97	97	125	150
	Kireç (Ca(OH) ₂)	g	19	19	19	19	18	17
	NaOH	g	15	15	15	15	19	23
	Cüruf	g	373	373	373	373	360	348
	Toplam bağlayıcı miktarı	g	440	440	440	440	440	440
Su	Na ₂ SiO ₃ den gelen su	g	64	64	64	64	82	99
	NaOH'ı çözmek için su	g	30	30	30	30	39	30
	Sonradan eklenen su	g	113	113	113	113	86	78
	Toplam su	g	207	207	207	207	207	207
	Agrega	g	990	990	990	990	990	990
	Toplam malzeme miktarı	g	1637	1637	1637	1637	1637	1637
	SiO ₂ / Toplan Na ₂ O	...	1	1	1	1	1	1
	Su / bağlayıcı oranı	...	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
	Na ₂ O içeriği (Na ₂ O/Cüruf, Ağırlıkça)	%	6	6	6	6	8	10
	Na ₂ SiO ₃ katı oranı	...	0.3416	0.3416	0.3416	0.3416	0.3416	0.3416
Boyca Genleşme	3 günlük	%	0.1512	0.2965	0.046	0.0576	0.1579	0.1936
	7 günlük		0.3637	0.387	0.058	0.0886	0.2112	0.2837
	14 günlük		0.5912	0.571	0.0632	0.1137	0.2412	0.3289
	ASTM C 1260 Standart genleşme yüzdesi		≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1



Şekil 2.16. Harç çubuklarının kalıplara dökülmesinin görüntüsü



Şekil 2.17. Harç çubuklarının deneylerden sonraki görünüşleri



Şekil 2.18. Aynı agregaya ait harç çubuklarının deney öncesi ve deneye maruz kalmış görüntüleri



Şekil 2.19. Harç çubuklarının hassas boy ölçümleri

3. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

3.1. Agregada Deneyleri

Çalışma kapsamında agregalara uygulanan deneyler sonucunda özgül ağırlıkları aşağıdaki tablodaki gibi bulunmuştur.

Tablo 3.1. Tüm agregaların doygun yüzey kuru özgül ağırlık değerleri

Malzeme	Domaçlı	Çavuşlu	Doğankent	Mağara
0-5 mm kum	2.632	2.646	2.657	2.561
5-10 mm	2.657	2.668	2.670	2.583
10-25 mm	2.668	2.671	2.678	2.618

Şimşek (2004)'e göre agregaların sınıflandırılmasında özgül ağırlığı 2.4-2.8 arasında olan agregalar normal agregalar olarak belirlenmiştir. Elde ettiğimiz değerlere baktığımızda bütün deney sonuçları bu aralıktadır yani elde ettiğimiz agregalar normal agregalar sınıfına girmektedir. Agregaların beton dizaynı hazırlama işlemlerinde suya doygun yüzey özgül ağırlıkları baz alınmıştır. Mağara ocağından elde edilen kalker agregasının özgül ağırlık değeri diğer agregalara göre daha düşüktür. Özgül ağırlıklarla ilgili ayrıntılı bilgiler, Bölüm 2.6'da belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında benzer şekilde agregaların birim ağırlık değerleri belirlenmiş, malzeme boyutu arttıkça birim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüş ve sonuçların özgül ağırlık değerleriyle paralellik gösterdiği yani özgül ağırlığı fazla olan agregaların birim ağırlık değerlerinde diğer agregalara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Elde edilen agregalara TS 706'da belirlenen deneylerin birçoğu uygulanmış ve sonuç olarak agregaların standartlara uygun değerler sergilediği görülmüştür. Konkasörden elde edilen agrega grupları (Doğankent ve Mağara ocakları) yıkamaya maruz bırakıldıklarından, laboratuvar ortamında elde edilen agregalarda yıkanarak beton bünyesinde kullanılmıştır. Kaba agregaların ince madde oranları çok az olduğundan bu değerler ihmal edilerek sadece kumlar için yıkanabilir (ince) madde oranları tespit edilmiştir. İnce madde miktarları konkasörden elde edilen kumlarda %5-6.5 arasında iken, bu değer laboratuvar ortamında hazırlanan numunelerde % 3.5 civarlarında hesaplanmıştır. Bu sonuçların nedeni konkasörden elde edilen malzemelerin daha fazla parçalanmaya

maruz kalmasıdır. Benzer şekilde konkasör agregalarıyla yapılan beton denemelerinin su gereksiniminin daha yüksek olduğu görülmüş, ince madde oranı ve parçalanma arttığından agreganın yüzey alanı artacağından su ihtiyacı da artar. Konkasörden elde edilen agregaların, laboratuvar ortamında hazırlanan agregalara göre gradasyon eğrilerinin % elek altı değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2. Hesaplanan agregada deney sonuçları ve standartlarla karşılaştırılması

	Çavuşlu			Domaçlı			Doğankent			Mağara			Standard ve Sonuç
Los Angeles Aşınması (%)	13.56			17.66			11.5			21.42			≤ %50
													Uygun
Darbe Değeri	8			11			6			12			≤ %18
													Uygun
Don Kaybı (%)	19-9.5	9.5-4.75		19-9.5	9.5-4.75		19-9.5	9.5-4.75		19-9.5	9.5-4.75		≤ %18
	4.51	3.66		7.06	8.82		1.21	0.78		4.57	4.11		Uygun
İnce Madde Oranı (%)	0-5 mm kum			0-5 mm kum			0-5 mm kum			0-5 mm kum			Maks. 5%
	3.50			3.70			5.20			6.50			
Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlık	Kum	5-10	10-25	Kum	5-10	10-25	Kum	5-10	10-25	Kum	5-10	10-25	2.4-2.8
	2.646	2.668	2.671	2.632	2.657	2.668	2.657	2.670	2.678	2.561	2.583	2.618	
Su emme Oranları (%)	Kum	5-10	10-25	Kum	5-10	10-25	Kum	5-10	10-25	Kum	5-10	10-25	≤ %4
	1.482	0.827	0.503	1.729	1.256	1.174	1.379	0.644	0.482	2.041	1.338	1.215	Uygun
Yassılık indeksi	10-25		5-10	10-25		5-10	10-25		5-10	10-25		5-10	< %50
	4.07		7.05	7.08		7.49	4.70		5.61	4.82		4.75	Uygun
Nokta yükü Is 50 (Mpa)	4.37			3.39			7.95			2.63			>2 Uygun
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	175.5			172.5			215.3			111.3			>600 Mpa

Elde edilen deney sonuçlarından da anlaşıldığı gibi agregaların birçok deney sonucuna göre standartlara uygun olduğunu görürüz. Los Angeles aşınma dayanımları belirlenirken 500 devir sonundaki aşınma miktarlarına bakıldığında tüm agregaların aşınmaya karşı dirençli oldukları görülmüştür. Ayrıca agregaların darbe dayanımlarının Los Angeles aşınması deneyi sonuçlarıyla paralellik arz ettiği görülmektedir. Los Angeles katsayısı yüksek olan agreganın darbe dayanımı değeri de en yüksek olarak bulunmuştur. Aşınma ve darbe deneylerinde en dayanıklı agreganın Doğankent ocağından elde edilen

granit agregasının olduğu ve en düşük dayanıklı agreganın ise Mağara ocağından elde edilen kalker agregasının verdiği anlaşılmıştır.

Agregalara uygulanan sağlamlık (don kaybı) deneyleri magnezyum sülfat çözeltisi ile yapılmış ve bütün agregaların dona dayanıklı olduğu görülmüştür. Bu deneyde de en az don kaybı gösteren malzeme granit olmuştur ve en fazla don kaybını Domaçlı ocağından temin edilen dasitik tüf örneği göstermiştir.

Agregaların su emme oranlarını incelediğimizde en yüksek su emme (absorbsiyon) oranının Mağara ocağından elde edilen kalker agregasının olduğu bunun nedeninin kalkerlerin sedimanter kayaçlar olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sedimanter kayaçlar, volkanik kayaçlara göre daha ince taneli bir yapıya sahiptirler ve bunun bir sonucu olarak su emme kapasiteleri daha yüksektir.

Agregaların yassılık indeks değerleri incelendiğinde de hiçbir agreganın önemli ölçüde yassı tane içermediğini görülmüştür. Yassı tanelerin betonda çok fazla miktarda bulunmamasından dolayı betonda yerleştirme zorlukları ve kompasite azalması gibi problemlerin oluşmayacağı öngörülmektedir (Şimşek, 2004).

Tablo 3.3. Nokta yükü dayanım sınıflandırılması

Sınıf	Dayanım Sınıfı	Bieniawski	Deere
A veya 1	Çok Yüksek	> 8 Mpa	>10 Mpa
B veya 2	Yüksek	4...8	5...10
C veya 3	Orta	2...4	2.5...5
D veya 4	Düşük	1...2	1.25...2.5
E veya 5	Çok Düşük	<1	<1.25

Agregaların düzeltilmiş nokta yükü dayanımı deney sonuçları, Deere ve Bieniawski'nin (Tablo 3.3) yapmış olduğu sınıflandırmada, kalker agregasının orta dayanım sınıfında ve diğerlerinin ise yüksek dayanım sınıfında olduğu saptanmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı değerlerine bakıldığında kayaçlar genellikle yüksek dayanım sergilemişlerdir, kalker agregası da Erdoğan'ın (2007) belirtmiş olduğu 1600 kgf/cm² değerine yaklaştığı görülmüştür. Kalker agregasının düzeltilmiş nokta yükü dayanımının orta dayanım sınıfının alt kısmına (2 Mpa) yakın olmasının sebebinin kayacın anizotropik olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

Kumların ince madde tayininde konkasörden elde edilen Doğankent ve Mağara agregalarının diğer agregalara göre daha fazla yıkanabilir madde içerdikleri tespit

edilmiştir fakat bu oran beton karışımında daha düşük değerlere iner çünkü beton karışım dizaynlarında kumun yanı sıra belirli oranlarda mıcırda kullanılır.

Agregaların bu şekil de ince maddeler, kil, silt içermeleri beton özelliklerini olumsuz yönde etkiler (Topçu vd., 2006).

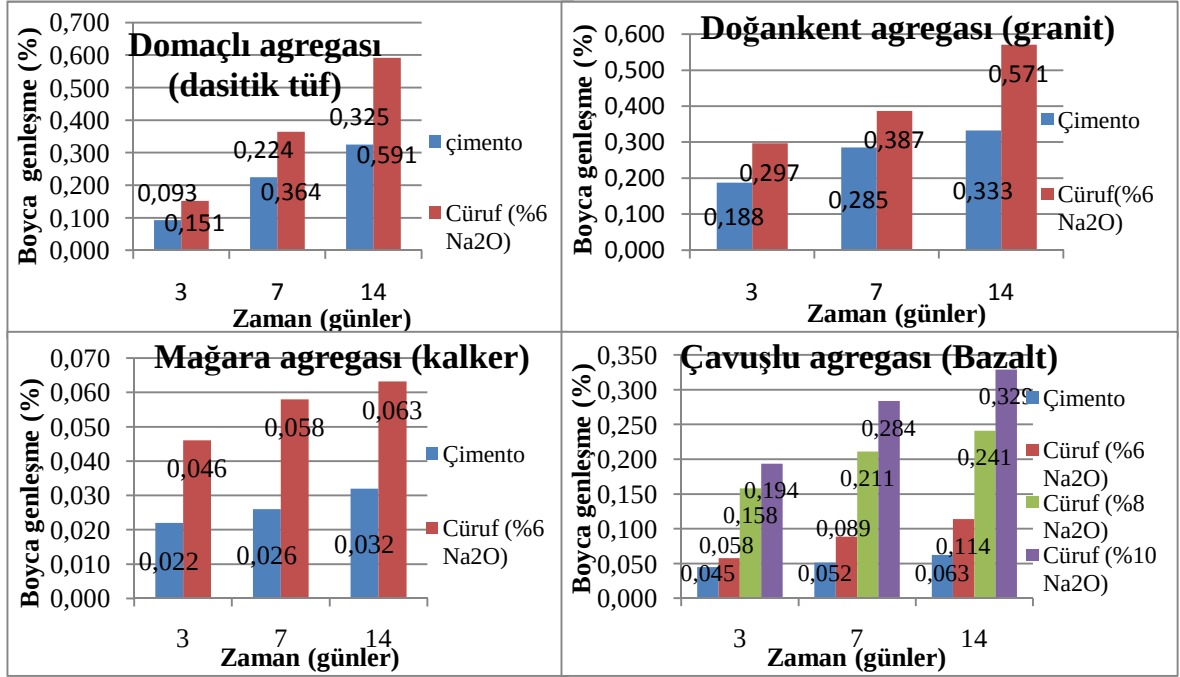
3.2. Beton ve Harç Çubuğu Deneyleri

Beton deneyleri iki gurup halinde yapılmıştır. Birinci grupta bağlayıcı olarak Ünye CEM I 42.5 R portland çimentosu ve ikinci grupta da Kardemir A.Ş.'ye ait yüksek fırın curufunun sıvı sodyum silikat ve sodyum hidroksitle aktifleştirilmesiyle elde edilmiş bağlayıcı kullanılmıştır. Her iki grupta da bağlayıcı miktarı 300 doz olarak belirlenmiş, slump değerleri 13-15 cm arasında (karışımın 10 dakika sonra) iken numuneler alınmıştır. Su/bağlayıcı oranları incelendiğinde çimento bağlayıcılı beton numunelerinin değerleri 0.62-0.65 arasında seyrederken, AYFC bağlayıcılı numunelerin oranları 0.57-0.61 arasında seyretmiştir. Beton kıvamlarının birbirine yakın olmasına karşın iki döküm gurubundaki farklılığın nedeni çimento miktarının cüruf miktarından fazla olması olabilir. Çimento, karışımlara 300 doz olarak girerken curuf ve aktifleştiricilerin toplam ağırlıkları 300 kg etmektedir. Buradaki cüruf miktarları, 257-237 kg arasındadır, bu durumda çimento bağlayıcılı karışımlarda ince madde (çimento) daha fazla olduğunda yüzey alanı artmış ve su ihtiyacının da artması sonucu su/bağlayıcı oranları artmıştır. Diğer bir sebep ise sodyum silikatın yüzey gerilimini düşürücü etki yapmasıyla su ihtiyacını azaltması olabilir.

AYFC bağlayıcılı deneylerin yapım amacı aynı agregalarda çimento yerine başka bir bağlayıcının kullanılıp kullanılmayacağının araştırılmasıdır. Deney sonuçlarına göre, bu tip bağlayıcılar alkali-silika reaksiyonu yönünden zararsız agregalarla beton yapımında kullanılabilirler. Fakat yaptığımız çalışmalarda erken beton dayanımlarının (7 günlük) çimento bağlayıcılı deneylere göre; domaçlı agregasında daha az geliştikleri, Doğankent ve Çavuşlu agregasında ise çimento bağlayıcılı deneylerle birbirlerine yakın değerler sergiledikleri görülmektedir. Domaçlı agregasıyla yapılan beton deneylerinde 7, 28, 60, 90 günlük dayanımların hepsinde AYFC bağlayıcılı deneyler çimento bağlayıcılı deneylere göre daha düşük basınç dayanımı değerleri sergilemişlerdir. Ayrıca Çavuşlu-bazalt agregasıyla curufun ağırlıkça %8'i ve %10'u kadar Na_2O oranı içeren beton dökümleri, dayanımdaki farklılıkları incelemek için yapıldı ve Na_2O oranının artmasıyla curuf bağlayıcılı numunelerin dayanımlarının arttığı, buna karşın ASR genleşmelerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Tablo 3.4. Beton deneyleri dayanım sonuçları

		Domaçlı (%6 Na ₂ O)	Doğankent (%6 Na ₂ O)	Mağara (%6 Na ₂ O)	Çavuşlu (%6 Na ₂ O)	Çavuşlu (%8 Na ₂ O)	Çavuşlu (%10 Na ₂ O)
Ortalama Mukavemet		Aktifleştirilmiş yüksek fırın curufu (AYFC) bağlayıcılı beton deneyleri					
7 günlük	kgf/cm ²	155	185	182	194	205	221
28 günlük		190	282	261	295	320	336
60 günlük		205	314	315	357	450	455
90 günlük		210	345	332	384	455	461
Ortalama mukavemet		Çimento bağlayıcılı beton deneyleri					
		Domaçlı	Doğankent	Mağara	Çavuşlu		
7 günlük	kgf/cm ²	175	192	176	195	...	...
28 günlük		247	285	242	279	...	...
60 günlük		258	291	268	296	...	...
90 günlük		265	324	283	317	...	...

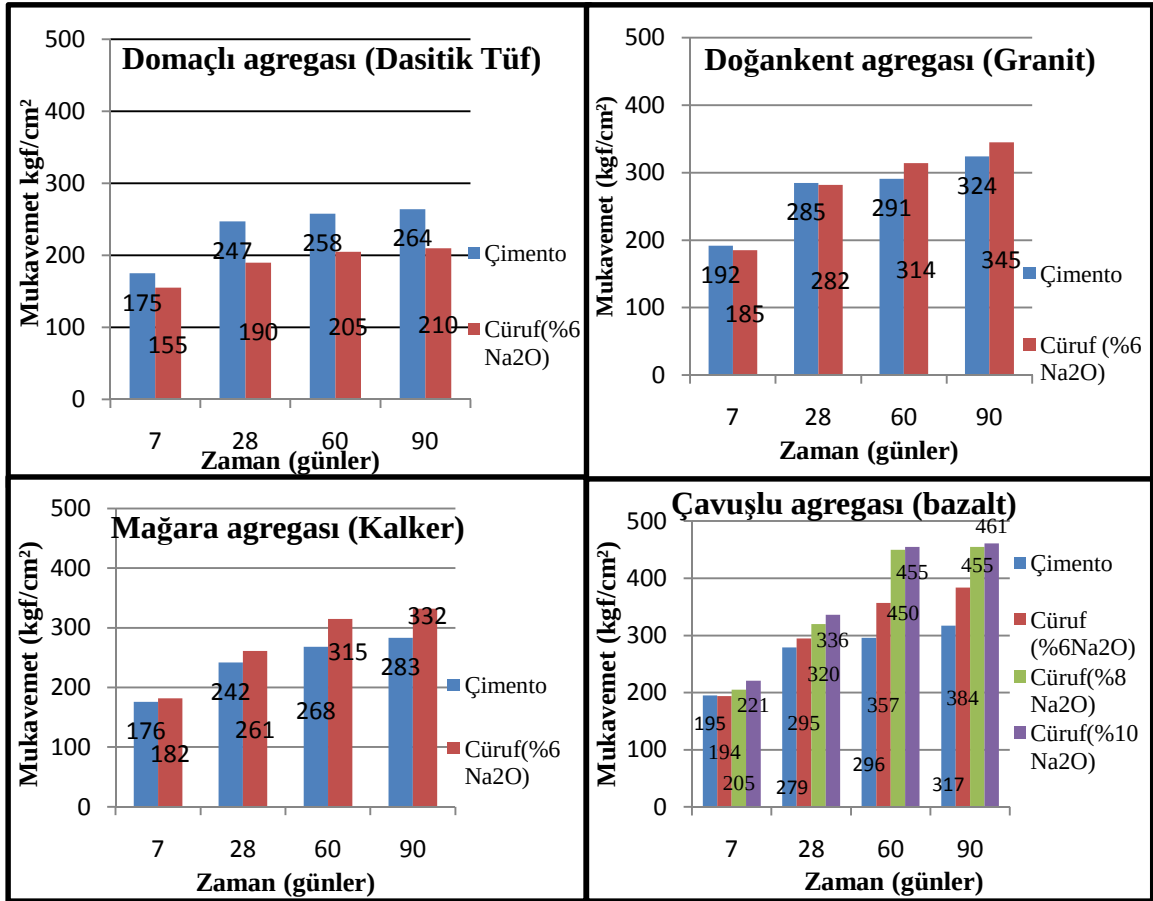


Şekil 3.1. Alkali-silika reaksiyonu deneyi harç çubuklarının zamana göre boyca genleşme miktarlarının grafiksel görünümü

Beton deneylerinin mukavemet sonuçları incelendiğinde erken dayanımlarda çimento bağlayıcılı numunelerin basınç dayanım değerleri AYFC bağlayıcılı numunelere göre daha yüksek ve birbirine yakın değerler sergilerken (Tablo 3.4) daha geç dayanımlarda AYFC bağlayıcılı numuneler daha yüksek dayanım sergilemişlerdir, erken dayanımların çimento bağlayıcılı deneylere yakın (Çavuşlu, Doğankent, Mağara agregaları) ve düşük (Domaçlı agregası) dayanımlar sergilemesinin sebebinin daha önceki yapılan deneysel çalışmalara göre daha az bağlayıcı ve aktivatör madde kullanılması, daha yüksek su/bağlayıcı oranı

seçilmesi ve farklı boyut aralıklarında beton agregaları kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Domaçlı ocağından elde edilen agregalarla yapılan beton tasarımlarında numuneler daha düşük dayanım sergilemişlerdir. Bu durumun sebebi bu agreganın laboratuarda kırılarak hazırlanmış olmasından kaynaklanabilir. Konkasör agregaları laboratuarda hazırlanan agregalara göre daha iyi gradasyona sahiptirler. Bu ocağın çimento bağlayıcılı deneylerinin mukavemetleri de diğer ocaklarınkine göre daha düşük dayanım sergilemişlerdir.

Elde edilen mukavemet değerleri göre beton numunelerinin TS EN 12390-3'ye göre basınç dayanımları yükleme hızları saniyede 0.15-0.35 Mpa olacak şekilde ayarlanmış ve tüm numunelerin basınç dayanımlarının 155-461 kgf/cm² değer aralığında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.2. Beton deneylerinin mukavemet grafikleri

Yang vd. (2007), alkali ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu ile yaptıkları çalışmalarda su/bağlayıcı oranını 0.50 (yaptığımız çalışmada 0.57-0.61 arasında), agrega/bağlayıcı oranını ise 3 seçmişlerdir (yaptığımız çalışmada yaklaşık 6.2). Bilindiği üzere agrega/bağlayıcı oranının yaptığımız çalışmaya göre daha düşük tutulması bağlayıcı oranının yaptığımız çalışmaya göre daha yüksek olması anlamına gelir. Daha sonra değişik reçeteli karışımlar hazırlayarak 28-60 Mpa ($\sim 286-612 \text{ kgf/cm}^2$) civarında, yaptığımız çalışmadaki dayanım değerlerinden daha yüksek dayanım değerleri elde etmişlerdir. Bu tez çalışmasında yapılan deneylere göre 3 kat daha fazla bağlayıcı kullanmışlar ve su/bağlayıcı oranını %7-10 daha düşük tutmuşlardır. Ayrıca agrega gradasyonu hakkında pek bilgi verilmemiştir. Bu parametreler incelendiğinde deneylere lehte etki ettiği yani dayanım artırıcı rol oynadıkları görülür.

Collins ve Sanyajan (1998), yaptıkları aktifleştirilmiş cüruf bağlayıcılı çalışmalarda su/bağlayıcı oranını 0.50 olarak seçmişler, cüruf miktarını m^3 başına 360 kg ve aktivatörlerin de ağırlıkları bu değere ilave edilmiş. Karışımdan 30 dakika sonra 14 cm slump değeri elde etmişler ve çalışma sonucu olarak 7 günlük dayanımları 40 Mpa ($\sim 408 \text{ kgf/cm}^2$), 28 günlük dayanımları 50 Mpa ($\sim 510 \text{ kgf/cm}^2$) ve 90 günlük dayanımları 60 Mpa, ($\sim 612 \text{ kgf/cm}^2$) civarında tespit etmişlerdir. Bu çalışma kapsamında bizim yaptığımız deneylere göre alkali aktivatör sayısı artmış, (toz sodyum silikat, sıvı sodyum silikat, sodyum hidroksit solüsyonu ve sodyum karbonat), 360 kg cüruf dozajına ilaveten aktivatörler kullanılmış (çalışmamızda cüruf + aktivatör dozajı = 300 kg) ve su / bağlayıcı oranı daha düşük seçilmiştir. Bu bahsedilen parametrelerin hepsi beton dayanımına olumlu yönde etki eder.

Çimento ile yapılan harç çubuklarının genleşme miktarları incelendiğinde, Çavuşlu ve Mağara ocaklarından elde edilen agregalar %0.1'lik standart genleşme değerinin altında değerler sergilerken diğer agregalar bu değer üstünde genleşme göstermişlerdir. Aktifleştirilmiş cüruf bağlayıcılı harç çubuklarındaki genleşmeler incelendiğinde ise kalker agregası haricindeki diğer agregalar %0.1'lik standart genleşme değerini aşmışlardır. Na_2O oranı arttıkça paralel olarak genleşme değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre alkali ile aktifleştirilmiş numunelerin alkali-silika reaksiyonunu (ASR) artırdığı yorumunu yapabiliriz. Bu tür bağlayıcılarla üretilen betonlarda olası ASR riski göz önünde tutulmalı ve önleyici önlemler alınmalıdır. Yapılan alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcılı harç çubuklarında sadece kalker agregası standart genleşme değerinin altında değerler sergilemiştir.

Fernandez-Jimenez ve Puertas (2001), yaptıkları AAS bağlayıcılı hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde curufun ağırlıkça %4'ü kadar Na_2O olacak şekilde örnekler hazırlamışlar ve AAS ile hazırlanan çubukların genleşme miktarlarını normal portland çimentosu ile hazırlanan çubuklara göre daha az bulmuşlardır. Bunun nedenini ise alkalileri ortamdaki curuf ve agregaların yarış içerisinde kullanmalarına bağlamışlardır ve daha uzun bir deney periyodunun daha sağlıklı sonuçlar vereceğini öne sürmüşlerdir.

Aşık vd. (2003), PÇ 42.5 çimento ve volkanik kayaç kökenli nehir agregası ile hazırladıkları harç çubuklarının 14 günlük genleşme miktarları değerlerini, %0.2198-0.0665 arasında kaydetmişlerdir. Hızlandırılmış harç çubuğu metodunu kullanılan bu çalışmaları incelediğimizde, karışımda kullanılan reaktif nehir kumu kullanım oranı %100'e doğru arttıkça alkali-silika genleşmesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Kullanılan kum ancak karışımda %15 mertebesinde kullanıldığında standart genleşme değerinin altında (0.065) genleşme göstermiştir. Benzer şekilde yapılan bu tez çalışmasında volkanik kökenli agregaların (Çavuşlu, Domaçlı ve Doğankent agregalarının) boyca genleşmesinin sedimanter kökenli kalker agregasına (Mağara agregası) göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bernal vd. (2010), yaptıkları AAS ve portland çimentosu bağlayıcılı beton deneylerinde; 300, 400 ve 500 kg/m^3 dozajlı beton numuneleri oluşturmuşlar ve 28 ve 90 günlük dayanımlarını izlemişlerdir. Aktifleştirici olarak curufun ağırlıkça %5'i kadar, $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ modül oranı 2.4 olan NaSiO_2 kullanılmış, su/bağlayıcı oranı 0.42, slump 7 cm, D_{max} 19 mm agrega kullanılmış ve portland çimentosu betonları 25 ± 5 °C su küründe, AAS betonları ise aktivatör liçini önlemek için aynı sıcaklıkta buhar küründe bekletilmiştir. 300 dozlu AAS ve portland çimentosu betonlarının 28 günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla, 45 Mpa (450 kgf/cm^2) ve 30 Mpa (306 kgf/cm^2) olarak, 90 günlük değerler ise 60 Mpa (612 kgf/cm^2) ve 32 Mpa (326 kgf/cm^2) olarak kaydedilmiştir. Portland çimentosu betonlarının dayanım sonuçları, yaptığımız çalışmasındaki değerlerle paralellik gösterirken, AAS betonlarının dayanımları bu tez çalışmasındaki değerlerden % 40-45 daha yüksek kaydedilmiştir. Bu fark, 300 kg cürufa ilave ağırlık olarak aktivatör kullanılması (toplam ağırlık 351 kg olmuş), su/bağlayıcı oranları tez çalışmamızda ortalama 0.59 iken bu çalışmada 0.42 olması, slump değerleri 7 cm (tez çalışmasında 14 cm) ve buhar kürü uygulanmasından kaynaklanmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Giresun ve Gümüşhane il sınırları içerisinde yer alan toplam dört tane taş ocağından elde edilen kayalar, 0-5 mm, 5-10 mm, 10-25 mm aralıklarında agregalar elde edilmiştir. Bu agregaların beton bünyesinde kullanıldığında alkali-silika reaksiyonu yönünden eğilimleri araştırılmış, ayrıca elde edilen agregalara ve beton numunelerine çeşitli deneyler uygulanarak standartlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan;

İnce kesit analizlerine göre 3 kayaç tipinin volkanik (Çavuşlu, Domaçlı, Doğankent) diğer kayaç tipinin ise tortul (Mağara) kökenli olduğu belirlenmiştir.

Agregaların doygun yüzey özgül ağırlıkları 2.561 ve 2.678 arasında değerler alarak normal agregalar sınıfında oldukları tespit edilmiştir. Elde edilen birim ağırlık değerleri incelendiğinde özgül ağırlığı fazla olan malzemenin birim ağırlığının da en fazla değerde olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında konkasörden elde edilen Doğankent ve Mağara kumlarının ince madde oranlarının standartların üzerinde (maks. %5), %5.2 ve %6.5 olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu ocaklardan elde edilen genel agrega granülometreleri incelendiğinde ince madde oranının azaldığı görülmektedir. Kaba agregalardaki kirliliğin %1'in altında olmasına karşın kumlardaki bu aşırı ince madde oranının azaltılması için konkasöre yıkama sistemi kurulmalı ve bant konveyörlerin eğim açıları artırılmalı bunun sonucu olarak ince maddeler banttan su ile birlikte geriye doğru akarak agrega yığına daha az girerler, eğer yıkama sonucu yine istenilen sonuç alınamıyorsa yıkama suyu hacmi ve temizliği artırılmalıdır.

Los Angeles, darbe dayanımı, don dayanımı, yassılık, nokta yükü indeksi, tek eksenli basınç dayanımı deneyleri göz önünde tutulduğunda bütün agregaların mekanik olarak beton agregası standartlarını sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen agregaların elek analizi ve gradasyonları belirlenerek standartlardaki değerlerle karşılaştırılmış ve elde edilen değerlerin standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Beton numunelerinin 7, 28, 60 ve 90 günlük basınç dayanımları tespit edilmiş ve dayanım sonuçları incelendiğinde; AYFC bağlayıcılı beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının çimento bağlayıcılı numunelerle birbirine yakın ve düşük değerler verdikleri buna karşın 60 ve 90 günlük dayanımlarda AYFC bağlayıcılı numunelerin çimento bağlayıcılı numunelere göre genellikle daha yüksek dayanımlar sergiledikleri görülmüştür. Sadece Domaçlı agregasıyla yapılan beton basınç dayanımı deneylerinde

çimento bağlayıcılı numuneler; 7, 28, 60 ve 90 günlük periyotlarda AYFC bağlayıcılı deneylere göre daha yüksek dayanım değeri göstermişlerdir. Çavuşlu agregasıyla yapılan kontrollü deneylerde cüruf ağırlığına göre %Na₂O oranı arttığında dayanımların arttığı görülmüş ve 60 günden sonra dayanım gelişiminin yavaşladığı, özellikle AYFC bağlayıcılı numunelerde tespit edilmiştir. Beton basınç dayanımları incelendiğinde, 15x15x15 cm küp beton numunelerinin 155-461 kgf/cm² arasında dayanım değerleri aldıkları tespit edilmiştir. Elde edilen betonların birbirine yakın su/bağlayıcı oranına, slump ve işlenebilirlik değerine sahip olmalarına özen gösterilmiştir.

Çimento ile hazırlanan harç çubuklarındaki genleşmeler incelendiğinde, Domaçlı ve Doğankent agregalarının sırasıyla 14 gün sonunda; %0.3249 ve 0.3326 genleşme değeri göstererek %0.1'lik standart genleşme değerini aştıkları, Çavuşlu ve Mağara agregalarının ise kritik değerin altında genleşme gösterdikleri tespit edilmiştir. Genleşme standart değerini aşan agregaların CEM I 42.5 R çimentosuyla birlikte yani alkali içeriği yüksek bir çimentoyla kullanılmaları ASR yönünde sakıncalıdır. Bu agregalar alkali içeriği daha düşük puzolan katkılı çimento tipleri kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre kullanılabilirler. AYFC ile hazırlanan harç çubuklarındaki genleşmeler incelendiğinde %6 Na₂O oranında, Mağara ve Çavuşlu agregaları standart genleşme değerinin altında değer sergilerken, Doğankent ve Domaçlı agregaları standart genleşme değerinin üzerinde genleşme göstermişlerdir. %8 ve %10 Na₂O oranında çavuşlu agregası ile yapılan deneylerde genleşmelerin kritik değeri aştıkları tespit edilmiştir. %Na₂O içeriği yani alkali içeriği arttıkça ASR genleşmesi tüm örneklerde artmıştır, bunun sonucu olarak AYFC bağlayıcılı betonlarda ASR genleşmesini önlemek için ASR yönünden nötr yani zararsız olan agregalar kullanılmalıdır (bu çalışmadaki Mağara Ocağı kalker agregası gibi). Yapısında alkali içeriğini belirli değerlerden fazla içeren bağlayıcılar kullanılmamalıdır.

Sonuç olarak çimento bağlayıcılı deneylerde belirtilen çimento ile Doğankent ve Domaçlı ocak malzemelerinin beton agregası olarak kullanılması ASR yönünden sakıncalı bulunmuştur. Bu agregalar ancak daha düşük alkali içerikli çimentolarla yapılan ön deneylerin olumlu sonuç vermesi halinde kullanılabilirler veya ASR'yi tetikleyecek faktörlerin ortadan kaldırılması sonucu, örneğin rutubetin ortamdan uzaklaştırılması gibi, kullanılabilirler. AYFC bağlayıcılı deneylerde ise Domaçlı ve Doğankent ocak malzemelerinin kritik genleşme değerlerini aştıklarından dolayı ASR yönünden beton agregası olarak kullanılmalarının sakıncalı olduğu tespit edilmiştir. Çavuşlu agregası ise

sadece, %8 ve %10 oranında Na_2O karışımlarında kritik genleşme değerinin üzerinde değer göstermiş, %6 Na_2O oranında kritik değer seviyesinde genleşme göstermiştir.

5. KAYNAKLAR

- Akman, M., S., 2000. "Effects of the Content and Kind of Soluble Alkalis in Cements on Different Properties of Concrete", Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium, 6-10 September, İstanbul.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A., O., 1999. Çözümlü Beton Agregaları Problemleri, Evrim yayınevi, 1. Baskı, İstanbul, 178 s.
- ASTM-C 1260., 2005. Standard Test Mehtod for Potential Reactivity of Aggregates, (Morthar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-C 1293., 1994. Standard Test Method for Determination of Lenght Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-C 136., 1983. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM-C 150., 1994. Standard Spesification for Portland Cement. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM- C 227., 1994. Standard Test Method for Potential Alkali Aggregate Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Morthar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM- C 289., 1994. Standard Test Method for Potential Alkali - Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-C 33., 1994. Standard Spesification For Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-C 88-83., 1994. Soundness of Aggregates By Use Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-C131., 1994. Standart Test Method for Resistance to Degregation of Small Size Coarse Aggregates by Abrasion And Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards.
- Aşık, İ., Şen, H., Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E ve Bayrak, E., 2003. Alkali-Agrega Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi, Beton Kongresi, 2004, İstanbul.
- Atıcı, Y., Şubat 1998. Doğu Pontid Magmatik Arkından Üst Kretase Volkanizmasının Göçü, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 9-14 s.

- Bakharev, T., Sanjayan, J., G. and Cheng, Y., B., 2003. Resistant of Alkali Activated Slag Concrete to Acid Attack, Cement and Concrete Research, 33, 1607-1611.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Genişletilmiş 7. Baskı, İzmir, 221-222 s.
- Bentz, D. ve Aitcin, P., Mayıs 2008. Distance Between Cement Particles is Fundamental Concrete International, 30, 5, 51-54.
- Bernal, A., Provis, L. John ve Rose, V., Gutierrez M., R. Şubat 2010. Evolution of Binder Structure in Sodium Silicate-Activated Slag-Metakaolin Blends, Cement & Concrete Composites, 33, 46-54.
- Bernal, A., Gutierrez, M., R., Pedraza, A., L., Provis, J., L., Rodriguez, E., D., ve Delvasto S., Ağustos 2010. Effects of Binder Content on The Performance of Alkali Activated Slag Concrete, Cement and Concrete Research, 41, 1-8.
- Chen, W., 2006. Hydration of Slag Cement, Theory, Modelling and Activation, University of Twente The Netherlands, Netherlands, 27-32.
- Collins, F., G. ve Sanjayan, J., G., 1998. Workability and Mechanical Properties of AAS Concrete, Cement and Concrete Research, 29, 455-458.
- Çavuşoğlu, İ., 2005. Harşit Çayı'ndan (Tirebolu-Giresun) Elde Edilen Kırılmış Dere Malzemesinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çullu, M., Subaşı, S. ve Bolat, H., Mayıs 2010. Beton Kanseri Alkali - Silika Reaksiyonu, e-Journal of New World Sciences Academy, 5(3), 526-540.
- Dorum, A., Koçak, Y., Yılmaz, B. ve Uçar, A., 2009. Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidratasyona Etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 19.
- Erdoğan, T., Y., 2007. Beton, O.D.T.Ü., Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş. Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara, 67- 682 s.
- Erik, D. ve Mutlutürk M., 2004. Koç Deresi Kum Çakıl Ocağı Malzemelerinin Alkali - Silika Reaksiyonu Özellikleri, KAYAMEK' 2004-VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Ekim, Sivas, Bildiriler Kitabı 1, 297-303.
- Fernandez - Jimenez, A. ve Puetras, F., 2001. The Alkali - Silica Reaction in Alkali Activated Granulated Slag Mortars with Reactive Aggregate, Cement and Concrete Research, 32, 1019-1024.
- Geven, Ç., 2009. Ayrı ve Beraber Öğütülmüş Portland Cürufllu Çimentoların Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çimento Mühendisliği Bölümü, Ankara.

- Güven, İ., H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/250000 Ölçekli Kompozisyonu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- İnan, K. ve Tanyolu, E., 1982. Minerolji Cilt 2, Doyuran Matbaası, İstanbul, 310-320 s.
- Karakaya, N., Karakaya, M., Ç. ve Faure, K. 2007. Doğu Karadeniz Bölgesi Kil Minerallerinin Oluşumu ve Kökeni, S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 22, 2-3.
- Karakurt, İ., Yılmaz, A., O., Alp, İ., Görgülü, Ü. ve Çavuşoğlu, İ., 2006. Gümüşhane ve Bayburt Travertenlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eylül, Trabzon, 233-238.
- KGM, 2003., Kaliteli Beton İmalatı İçin Gerekli Esaslar Betonun Durabilitesi, TADB Malzeme Lab. Şubesi Md., Ankara, 36 s.
- KGM, 10. Bölge Müdürlüğü 2005. Doğankent Kum Çakıl Ocağının Alkali-Silika Deneyi Sonuçları, B091TCK1100500/ 710-3425, Trabzon.
- Kurt, İ. ve Özkan, İ. 2006. Kuzeydoğu Pontidlerin Maden Yatakları. Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Yataklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eylül, Trabzon, 43-48.
- Neville, A., M., 2000. Properties of Concrete Fourth and Final Edition, Pearson Education Limited, England, 298-753 s.
- Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M. ve Uyan, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, THBB, İstanbul, 120-122 s.
- Smith, W., F., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd., İstanbul, 747 s.
- Sakulich, A., R., Anderson, E., Schauer, C. and Barsoum, M., W., 2009. Mechanical and Microstructural Characterization of an Alkali-Activated Slag/Limestone Fine Agregate Concrete, Constraction and Building Materials, 23, 2951-2957.
- Şimşek, O., Haziran 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık San. Tic. A. Ş., Ankara, 106-144 s.
- Şimşek, O., 2004. Beton Bileşenleri ve Deneyleri, 2007. Seçkin Yayıncılık San. Tic. A. Ş. Ankara, 66 s.
- Taşdemir, M., A., 2002. Betonun Dayanım ve Durabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, Kasım, Harbiye, İstanbul.
- Topal, T., 2000. Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler, O.D.T.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Teknik Not 24(I), Ankara.

- Topçu, İ., B., Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., 2006. Afyon Yöresi Kırmataşlarının Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Aralık, İstanbul, 305-311.
- Topçu, İ., B. ve Canbaz, M., 2006. Eskişehir Bölgesi Agregalarının Özellikleri, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Aralık, İstanbul, 257-263.
- Torgal, F., P., Gomes, J. ve Jalali, S., 2008. Alkali Activated Binders Part 1, Historical Backgroun, Terminology, Reaction Mechanisms and Hidration Products, Construction and Building Materials, 22, 1305-1314.
- T.S.E., 2002. Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Beton-Bölüm 1, TS EN 206-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TS-3526, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 3 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, TS-3527, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı Tayini, TS-3528, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 3 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini, TS-3529 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4 s.
- T.S.E., 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Yapılan Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, TS-3530 EN 933-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2-5 s.
- T.S.E., 2003. Beton Agregaları, TS-706 EN 12620, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-5 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TS-707, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-9 s.
- T.S.E., 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 3: Tane Şekli Tayini-Yassılık İndeksi, TS-9582 EN 933-3, Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 2-6 s.
- T.S.E., 2000. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler 2. Bölüm Parçalanma Direncinin Tayinleri, TS EN 1097-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-10 s.
- T.S.E., 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2-3 s.

- T.S.E., 1999. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, TS EN 1367-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-7 s.
- T.S.E., 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Kimyasal Analiz, TS EN 1744-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-35 s.
- Tuğrul, A. ve Yılmaz, M., 2006. Taş Ocaklarında Kayaç Kalitesinin Değişimi ve Ocak Yerinde Mühendislik Jeolojisi Araştırmalarının Önemi, 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Aralık, İstanbul, 63-72.
- Uğurlu, A., 1999. Agregas - Çimento Bağı Üzerine, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Haziran, İstanbul, 213-227.
- URL-1, <http://www.cementlab.com/links.htm>, 2007.
- Yalçın, H. ve Gürü, M., 2006. Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara, 2-3, 131 s.
- Yang, K., H., Song, Jin-Kyu, Ashour, A., F. and Lee, Eun-Taik., 2007. Properties of Cementless Mortars Activated by Sodium Silicate, Construction and Building Materials Science Direct, 22, 1981-1989.
- Yılmaz, A., O. ve Çavuşoğlu, İ., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesinde Agregas İşletmeciliğinin Sorunları ve Öneriler, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Bildiriler Kitabı 1, 133-143.

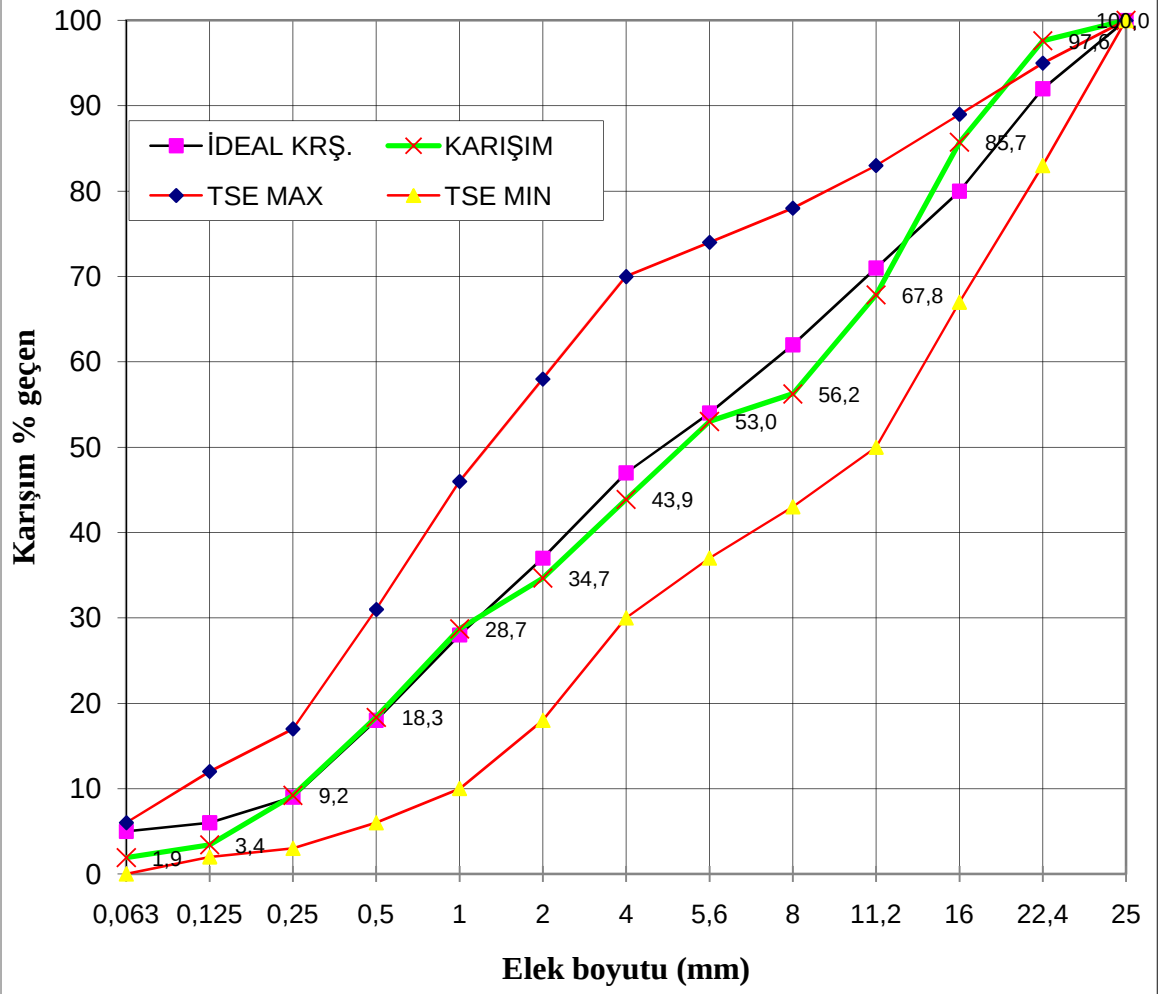
6. EKLER

Ek Tablo 1. Çavuşlu ocağı agregaları elek analizi tablo değerleri

ÇAVUŞLU 10-25 AGREGA ELEK ANALİZİ						ÇAVUŞLU 5-10 AGREGA ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		4653	TS 706		ELEK	MALZEME		3837	TS 706	
(mm)	Kümülatif Elek Üstü(gr)	Kalan%	Geçen%	Min. %	Max. %	(mm)	Kümülatif Elek Üstü(gr)	Kalan %	Geçen %	Min. %	Max. %
25,00	45	1,0	99,0	98	100	16	25	0,7	99,3	100	100
22,40	354	7,6	92,4	85	95	11,2	345	9,0	91,0	80	99
16,00	2005	43,1	56,9	25	70	8	1468	38,3	61,7	25	70
11,20	4098	88,1	11,9	0	20	5,6	3417	89,1	10,9	3	20
8,00	4635	99,6	0,4	0	3	4	3812	99,3	0,7	0	3
Geçen	18				0,4	Geçen	25				0,65
Toplam(gr)	4653					Toplam (gr)	3837				
ÇAVUŞLU 0-5 KIRMA KUM ELEK ANALİZİ											
ELEK		MALZEME				1266		TS 706			
(mm)		E.Kal. (gr)		Kal. %		Geç. %		Min.%		Max.%	
8		12		0,9		99,1		100		100	
5,6		48		3,8		96,2		95		100	
4		256		20,2		79,8		60		85	
2		468		37,0		63,0		36		70	
1		605		47,8		52,2		21		57	
0,5		844		66,7		33,3		12		39	
0,25		1054		83,3		16,7		5		21	
0,125		1187		93,8		6,2		2		10	
0,063		1222		96,5		3,5		0		5	
Elek Altı (gr)		44								3,5	
Toplam (gr)		1266									
İNCELİK MODÜLÜ :						4,50					

Ek Tablo 2. Çavuşlu agregası granülometrisi tablo değerleri

ELEK mm	% Geçen				1	2	3	4	TOPLAM	ELEK mm	TSE MAX	İDEAL KRŞ.	TSE MIN	KARIŞIM
	10*25	5*10	0*5 KUM	0/5 DERE										
25	99,0	100	100	100	29,7	15,0	55,0	0,0	99,71					
22,4	92,4	99	100	100	27,7	14,9	55,0	0,0	97,6	25	100	100	100	100,0
16	56,9	91,0	100	100	17,1	13,7	55,0	0,0	85,7	22,4	95	92	83	97,6
11,2	11,9	61,7	100	100	3,6	9,3	55,0	0,0	67,8	16	89	80	67	85,7
8	0,4	10,9	99	100	0,1	1,6	54,5	0,0	56,2	11,2	83	71	50	67,8
5,6		0,7	96,2	98,9	0,0	0,1	52,9	0,0	53,0	8	78	62	43	56,2
4		0,0	79,8	83,4	0,0	0,0	43,9	0,0	43,9	5,6	74	54	37	53,0
2		0,0	63,0	66,3	0,0	0,0	34,7	0,0	34,7	4	70	47	30	43,9
1			52,2	51,2	0,0	0,0	28,7	0,0	28,7	2	58	37	18	34,7
0,5			33,3	41,5	0,0	0,0	18,3	0,0	18,3	1	46	28	10	28,7
0,25			16,7	22,3	0,0	0,0	9,2	0,0	9,2	0,5	31	18	6	18,3
0,125			6,2	15,6	0,0	0,0	3,4	0,0	3,4	0,25	17	9	3	9,2
0,063			3,5	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	1,9	0,125	12	6	2	3,4
% ORAN	0,3	0,15	0,55	0						0,063	6	5	0	1,9
TOPLAM				1										



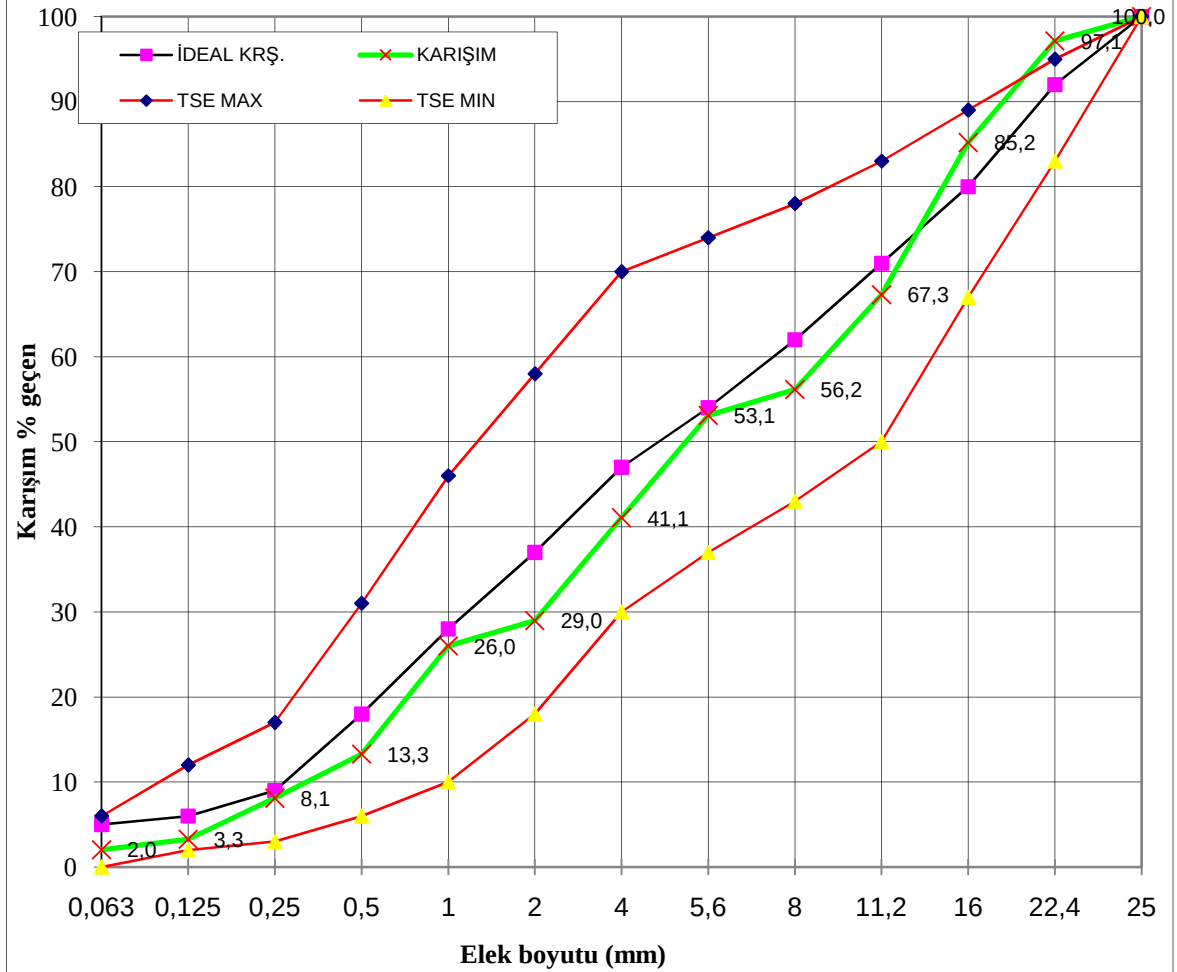
Ek Tablo 3. Domaçlı ocağı agregaları elek analizi tablo değerleri

<i>DOMAÇLI 10-25 AGREGA ELEK ANALİZİ</i>						<i>DOMAÇLI 5-10 AGREGA ELEK ANALİZİ</i>					
ELEK	MALZEME		4434	TS 706		ELEK	MALZEME		4085	TS 706	
(mm)	Kümülatif Elek Üstü(gr)	Kalan%	Geçen%	Min. %	Max. %	(mm)	Kümülatif Elek Üstü(gr)	Kalan%	Geçen%	Min. %	Max. %
25,00	38	0,9	99,1	98	100	16	30	0,7	99,3	100	100
22,40	405	9,1	90,9	85	95	11,2	372	9,1	90,9	80	99
16,00	1987	44,8	55,2	25	70	8	1687	41,3	58,7	25	70
11,20	3917	88,3	11,7	0	20	5,6	3656	89,5	10,5	3	20
8,00	4418	99,6	0,4	0	3	4	4071	99,7	0,3	0	3
Geçen (gr)	16				0,4	Geçen	14				0,34
Toplam (gr)	4434					Toplam (gr)	4085				

<i>DOMAÇLI 0-5 KIRMA KUM ELEK ANALİZİ</i>					
ELEK	MALZEME		1241	TS 706	
(mm)	Kümülatif Elek Üstü (gr)	Kalan %	Geçen %	Min. %	Max. %
8	12	1,0	99,0	100	100
5,6	44	3,5	96,5	95	100
4	314	25,3	74,7	60	85
2	587	47,3	52,7	36	70
1	654	52,7	47,3	21	57
0,5	941	75,8	24,2	12	39
0,25	1058	85,3	14,7	5	21
0,125	1167	94,0	6,0	2	10
0,063	1195	96,3	3,7	0	5
Geçen (gr)	46				3,7
Toplam (gr)	1241				
İNCELİK MODÜLÜ		4,81			

Ek Tablo 4. Domaçlı agregası granülometrisi tablo değerleri

ELEK mm	% Geçen				1	2	3	4	TOPLAM	ELEK mm	TSE MAX	İDEAL KRŞ.	TSE MIN	KARIŞIM
	10*25	5*10	0*5 KUM											
25	99,1	100	100		29,7	15,0	55,0	0,0	99,74	25	100	100	100	100,0
22,4	90,9	99	100		27,3	14,9	55,0	0,0	97,1	22,4	95	92	83	97,1
16	55,2	90,9	100		16,6	13,6	55,0	0,0	85,2	16	89	80	67	85,2
11,2	11,7	58,7	100		3,5	8,8	55,0	0,0	67,3	11,2	83	71	50	67,3
8	0,4	10,5	99		0,1	1,6	54,5	0,0	56,2	8	78	62	43	56,2
5,6		0,3	96,5		0,0	0,1	53,0	0,0	53,1	5,6	74	54	37	53,1
4		0,0	74,7		0,0	0,0	41,1	0,0	41,1	4	70	47	30	41,1
2		0,0	52,7		0,0	0,0	29,0	0,0	29,0	2	58	37	18	29,0
1			47,3		0,0	0,0	26,0	0,0	26,0	1	46	28	10	26,0
0,5			24,2		0,0	0,0	13,3	0,0	13,3	0,5	31	18	6	13,3
0,25			14,7		0,0	0,0	8,1	0,0	8,1	0,25	17	9	3	8,1
0,125			6,0		0,0	0,0	3,3	0,0	3,3	0,125	12	6	2	3,3
0,063			3,7		0,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,063	6	5	0	2,0
% ORAN	0,3	0,15	0,55	0										
TOPLAM				1										



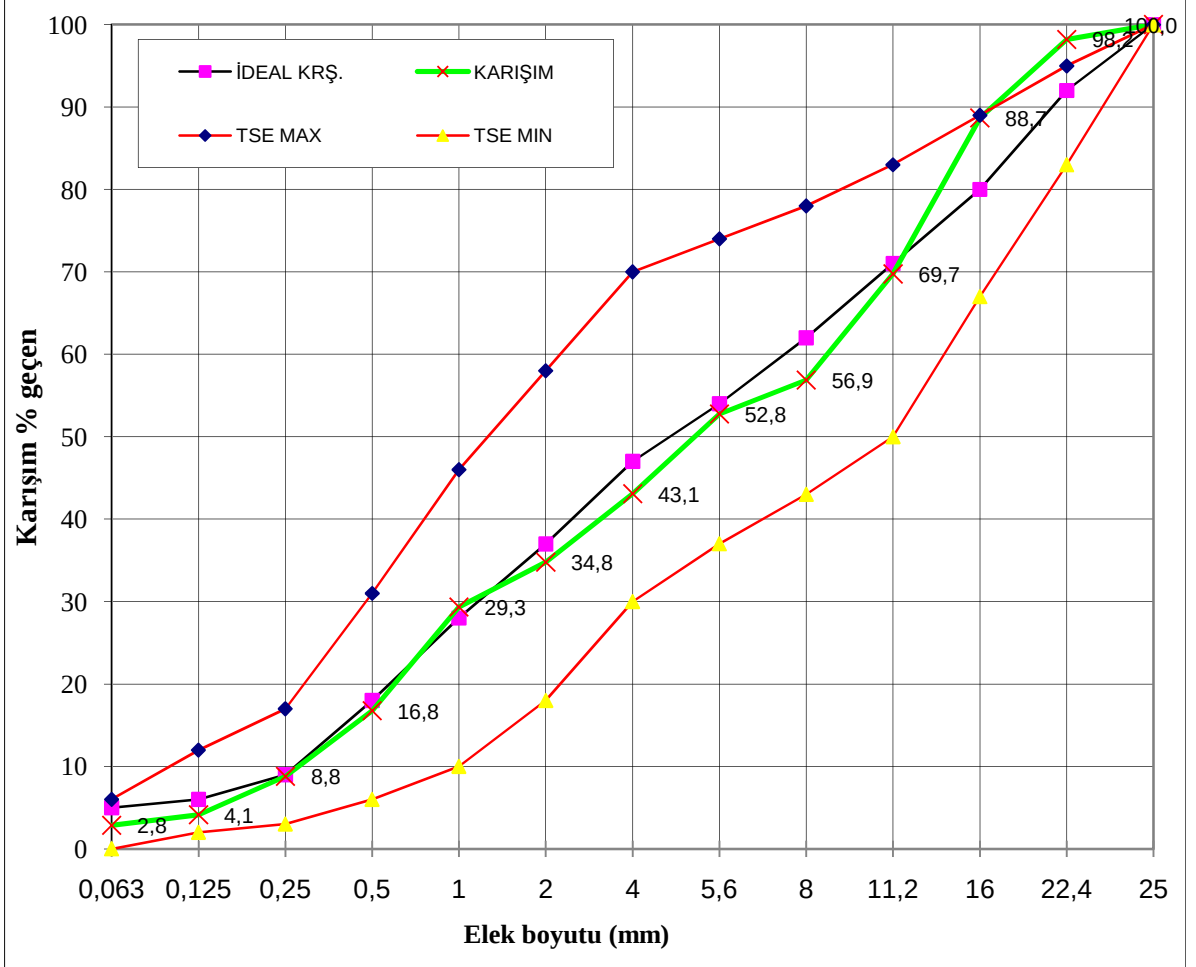
Ek Tablo 5. Doğankent ocağı agregaları elek analizi tablo değerleri

DOĞANKENT 10-25 AGREGA ELEK ANALİZİ						DOĞANKENT 5-10 AGREGA ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		3118	TS 706		ELEK	MALZEME		3839	TS 706	
(mm)	Kümülatif elek üstü(gr)	Kalan %	Geçen %	Min. %	Max. %	(mm)	Kümülatif elek üstü(gr)	Kalan %	Geçen %	Min.%	Max. %
25,00	52	1,7	98,3	98	100	16	0	0,0	100,0	100	100
22,40	189	6,1	93,9	85	95	11,2	125	3,3	96,7	80	99
16,00	1125	36,1	63,9	25	70	8	1429	37,2	62,8	25	70
11,20	2564	82,2	17,8	0	20	5,6	3351	87,3	12,7	3	20
8,00	3100	99,4	0,6	0	3	4	3817	99,4	0,6	0	3
Geçen (gr)	18				0,6	Geçen	22				0,57
Toplam (gr)	3118					Toplam (gr)	3839				

DOĞANKENT 0-5 KIRMA KUM ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		2685	TS 706	
(mm)	Kümülatif elek üstü(gr)	Kalan %	Geçen %	Min.%	Max. %
8	10	0,4	99,6	100	100
5,6	114	4,2	95,8	95	100
4	581	21,6	78,4	60	85
2	987	36,8	63,2	36	70
1	1253	46,7	53,3	21	57
0,5	1867	69,5	30,5	12	39
0,25	2255	84,0	16,0	5	21
0,125	2483	92,5	7,5	2	10
0,063	2546	94,8	5,2	0	5
Geçen (gr)	139				5,2
Toplam (gr)	2685				
İNCELİK MODÜLÜ		4,51			

Ek Tablo 6. Doğankent agregası granülometrisi tablo değerleri

ELEK mm	% Geçen				1	2	3	4	TOPLAM	ELEK mm	TSE MAX	İDEAL KRŞ.	TSE MIN	KARIŞIM
	10*25	5*10	0*5 KUM											
25	98,3	100	100		29,5	15,0	55,0	0,0	99,50					
22,4	93,9	100	100		28,2	15,0	55,0	0,0	98,2	25	100	100	100	100,0
16	63,9	96,7	100		19,2	14,5	55,0	0,0	88,7	22,4	95	92	83	98,2
11,2	17,8	62,8	100		5,3	9,4	55,0	0,0	69,7	16	89	80	67	88,7
8	0,6	12,7	100		0,2	1,9	54,8	0,0	56,9	11,2	83	71	50	69,7
5,6		0,6	95,8		0,0	0,1	52,7	0,0	52,8	8	78	62	43	56,9
4		0,0	78,4		0,0	0,0	43,1	0,0	43,1	5,6	74	54	37	52,8
2		0,0	63,2		0,0	0,0	34,8	0,0	34,8	4	70	47	30	43,1
1			53,3		0,0	0,0	29,3	0,0	29,3	2	58	37	18	34,8
0,5			30,5		0,0	0,0	16,8	0,0	16,8	1	46	28	10	29,3
0,25			16,0		0,0	0,0	8,8	0,0	8,8	0,5	31	18	6	16,8
0,125			7,5		0,0	0,0	4,1	0,0	4,1	0,25	17	9	3	8,8
0,063			5,2		0,0	0,0	2,8	0,0	2,8	0,125	12	6	2	4,1
% ORAN	0,3	0,15	0,55	0						0,063	6	5	0	2,8
TOPLAM				1										



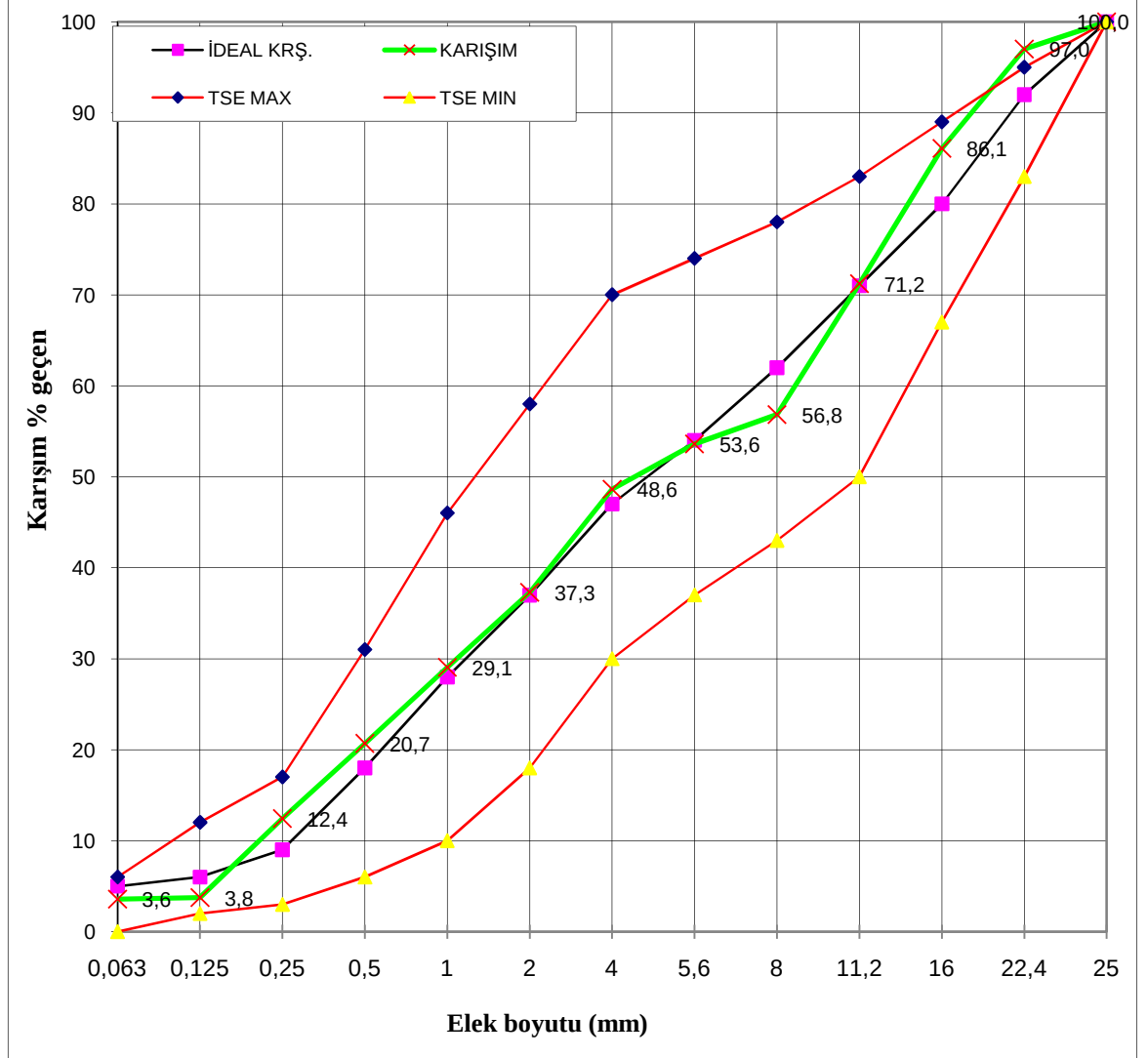
Ek Tablo 7. Mağara ocağı agregaları elek analizi tablo değerleri

MAĞARA 10-25 AGREGA ELEK ANALİZİ						MAĞARA 5-10 AGREGA ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		2376	TS 706		ELEK	MALZEME		3236	TS 706	
(mm)	Kümülatif elek üstü (gr)	Kalan %	Geçen %	Min. %	Max. %	(mm)	Kümülatif elek üstü (gr)	Kalan %	Geçen %	Min. %	Max. %
25,00	40	1,7	98,3	98	100	16	0	0,0	100,0	100	100
22,40	236	9,9	90,1	85	95	11,2	325	10,0	90,0	80	99
16,00	981	41,3	58,7	25	70	8	1098	33,9	66,1	25	70
11,20	1876	79,0	21,0	0	20	5,6	2899	89,6	10,4	3	20
8,00	2354	99,1	0,9	0	3	4	3212	99,3	0,7	0	3
Geçen	22				0,9	Geçen	24				0,74
Toplam (gr)	2376					Toplam(gr)	3236				

MAĞARA 0-5 KIRMA KUM ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		3599	TS 706	
(mm)	Kümülatif elek üstü (gr)	Kalan %	Geçen %	Min. %	Max. %
8	0	0,0	100,0	100	100
5,6	98	2,7	97,3	95	100
4	417	11,6	88,4	60	85
2	1158	32,2	67,8	36	70
1	1697	47,2	52,8	21	57
0,5	2245	62,4	37,6	12	39
0,25	2785	77,4	22,6	5	21
0,125	3353	93,2	6,8	2	10
0,063	3365	93,5	6,5	0	5
Geçen (gr)	234				6,5
Toplam(gr)	3599				
İNCELİK MODÜLÜ		4,20			

Ek Tablo 8. Mağara agregası granülometrisi tablo değerleri

ELEK mm	% Geçen				1	2	3	4	TOPLAM	ELEK mm	TSE MAX	İDEAL KRŞ.	TSE MIN	KARIŞIM
	10*25	5*10	0*5 KUM											
25	98,3	100	100		29,5	15,0	55,0	0,0	99,49	25	100	100	100	100,0
22,4	90,1	100	100		27,0	15,0	55,0	0,0	97,0	22,4	95	92	83	97,0
16	58,7	90,0	100		17,6	13,5	55,0	0,0	86,1	16	89	80	67	86,1
11,2	21,0	66,1	100		6,3	9,9	55,0	0,0	71,2	11,2	83	71	50	71,2
8	0,9	10,4	100		0,3	1,6	55,0	0,0	56,8	8	78	62	43	56,8
5,6		0,7	97,3		0,0	0,1	53,5	0,0	53,6	5,6	74	54	37	53,6
4		0,0	88,4		0,0	0,0	48,6	0,0	48,6	4	70	47	30	48,6
2		0,0	67,8		0,0	0,0	37,3	0,0	37,3	2	58	37	18	37,3
1			52,8		0,0	0,0	29,1	0,0	29,1	1	46	28	10	29,1
0,5			37,6		0,0	0,0	20,7	0,0	20,7	0,5	31	18	6	20,7
0,25			22,6		0,0	0,0	12,4	0,0	12,4	0,25	17	9	3	12,4
0,125			6,8		0,0	0,0	3,8	0,0	3,8	0,125	12	6	2	3,8
0,063			6,5		0,0	0,0	3,6	0,0	3,6	0,063	6	5	0	3,6
% ORAN	0,3	0,15	0,55	0										
TOPLAM			1											



ÖZGEÇMİŞ

1982 Yılında Giresun'un Tirebolu ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tirebolu da tamamladıktan sonra lise eğitime, Giresun merkezde devam etti. 2001 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Seramik Malzeme Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başlayarak 2005 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.