



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ-HARTLAP DOLOMITİ KATKILI
ÇİMENTOLARIN DAYANIM ve GENLEŞME ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

MEHMET EMİN İNCEER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2012

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ-HARTLAP DOLOMITİ
KATKILI ÇİMENTOLARIN DAYANIM ve
GENLEŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

MEHMET EMİN İNCEER

Bu tez,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2012

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mehmet Emin İNCEER tarafından hazırlanan “Kahramanmaraş-Hartlap Dolomiti Katkılı Çimentoların Dayanım ve Genleşme Özelliklerinin Araştırılması” adlı bu tez, jürimiz tarafından 24 / 05 / 2012 tarihinde oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ (DANIŞMAN)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ (Üye)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih MENGELOĞLU (Üye)

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hakkı ALMA

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Mehmet Emin İNCEER

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**KAHRAMANMARAŞ-HARTLAP DOLOMITİ KATKILI ÇİMENTOLARIN
DAYANIM ve GENLEŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

MEHMET EMİN İNCEER

ÖZ

Bu çalışmada; dolomit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve Poli Vinil Klorür (PVC) içeren harçların ve betonların dayanım ve dayanıklılığı araştırılmıştır. Çimento ve agrega yerine dolomit, yüksek fırın cürufu ve PVC farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Hamur numunelerin su gereksinimi, priz başlama ve bitiş süreleri ve hacim genleşmeleri gibi fiziksel etkileri araştırılmıştır. Hamur numunelerin 7 ve 28 gün için Scannig Elektron Microscope (SEM) taramaları incelenmiştir. Beton numunelerin basınç dayanımı, permeabilite ve donma-çözülme etkisi gibi mekanik ve fiziksel etkileri araştırılmıştır. 40x40x160 mm’lik harç numuneler üretilmiş, harçların basınç dayanımı deneyinde kullanılmıştır. Ayrıca, 25x25x285 mm’lik harç çubukları üretilmiş, alkali agrega reaksiyonu tespiti için harç çubuğu deneyinde kullanılmıştır. 7, 28, 56 ve 90 günlük boy değişim değerleri takip edilmiştir. Yapılan çalışmada, dolomit katkı oranı arttıkça betonda işlenebilirlik, basınç dayanımı, donma-çözülme etkisi ve su geçirimsizliği gibi birçok özelliğe olumsuz etkilerde bulunduğu deneysel olarak gözlenmiştir. Betonda kullanılan PVC katkısının ise daha esnek bir beton üretme dışında dayanım ve dayanıklılık özelliklerine ciddi bir katkısı olmadığı görülmüştür. Ancak, dolomit ve yüksek fırın cürufunun birlikte kullanıldığı hamur ve harç numunelerde; priz süresi, hacimsel genleşme, basınç dayanımı ve alkali agrega reaktivitesi yönünden sadece dolomit katkılı numunelere göre daha olumlu sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dolomit, Yüksek fırın cürufu, PVC, Dayanım, Genleşme

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs / 2012

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ

Sayfa sayısı: 107

**INVESTIGATION OF EXPANSION PROPERTIES AND STRENGTH OF
KAHRAMANMARAŞ-HARTLAP-DOLOMITE DOPED CEMENTS
(M.Sc. THESIS)**

MEHMET EMİN İNCEER

ABSTRACT

In this study, strength and durability properties of mortars and concretes incorporating dolomite, ground blast furnace slag and Polyvinyl Chloride (PVC) were investigated. Dolomite, ground blast furnace slag and PVC were substituted instead of cement and aggregate in different percentages. Physical properties of paste samples like water requirement, initial and final setting time and volume expansion values were investigated. Scanning Elektron Microscope (SEM) images of 7 and 28 days old paste samples were examined. For concrete samples, the physical and mechanical properties such as compressive strength, permeability and freeze-thaw tests were performed. 40x40x160 mm sized mortar samples were produced for testing the compressive strength. Also 25x25x285 mm sized mortar bars were produced and they were used for mortar bar method which was performed for testing the potential alkaline reactivity of mortars. Length change values were measured at 7, 28, 56 and 90 days. In the study, negative effects of dolomite ratio increase on compressive strength, permeability, freeze-thaw and other features has been observed experimentally. Strength and durability features were not increased by the PVC used in concrete. However, more flexible concrete can be produced by the addition of PVC. However, paste and mortar samples which a combination of dolomite and blast furnace slag used showed better results for setting time, volume expansion, compressive strength and alkaline-aggregate reactivity than just dolomite used samples were showed.

Key Words: Dolomite, Blast furnace slag, PVC, Strength, Expansion

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Civil Engineering, May / 2012

Supervisor: Associate Prof. Hüseyin TEMİZ

Page number: 107

KAHRAMANMARAŞ-HARTLAP DOLOMITİ KATKILI ÇİMENTOLARIN DAYANIM ve GENLEŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada; dolomit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve Poli Vinil Klorür (PVC) içeren harçların ve betonların dayanım ve dayanıklılığı araştırılmıştır. Çimento ve agrega yerine dolomit, yüksek fırın cürufu ve PVC farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Hamur numunelerin su gereksinimi, priz başlama ve bitiş süreleri ve hacim genleşmeleri gibi fiziksel etkileri araştırılmıştır. Hamur numunelerin 7 ve 28 gün için Scannig Elektron Microscope (SEM) taramaları incelenmiştir. Beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, permeabilite ve donma-çözülme etkisi gibi mekanik ve fiziksel etkileri araştırılmıştır. 40x40x160 mm'lik harç numuneler üretilmiş, harçların basınç dayanımı deneyinde kullanılmıştır. Ayrıca, 25x25x285 mm'lik harç çubukları üretilmiş, alkali agrega reaksiyonu tespiti için harç çubuğu deneyinde kullanılmıştır. 7, 28, 56 ve 90 günlük boy değişim değerleri takip edilmiştir. Yapılan çalışmada, dolomit katkı oranı arttıkça betonda işlenebilirlik, basınç dayanımı, donma-çözülme etkisi ve su geçirimliliği gibi birçok özelliğe olumsuz etkilerde bulunduğu deneysel olarak gözlenmiştir. Betonda kullanılan PVC katkısının ise daha esnek bir beton üretme dışında dayanım ve dayanıklılık özelliklerine ciddi bir katkısı olmadığı görülmüştür. Ancak, dolomit ve yüksek fırın cürufunun birlikte kullanıldığı hamur ve harç numunelerde; priz süresi, hacimsel genleşme, basınç dayanımı ve alkali agrega reaktivitesi yönünden sadece dolomit katkılı numunelere göre daha olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar, dolomitin beton ve çimentoya katkı olarak kullanımında, uygun dozaj, katkı çeşidi ve miktarının belirlenmesi ile çimento ve beton özelliklerinin daha da geliştirilebileceğini göstermiştir.

INVESTIGATION OF EXPANSION PROPERTIES AND STRENGTH OF KAHRAMANMARAŞ-HARTLAP-DOLOMITE DOPED CEMENTS

SUMMARY

In this study, strength and durability properties of mortars and concretes incorporating dolomite, ground blast furnace slag and Polyvinyl Chloride (PVC) were investigated. Dolomite, ground blast furnace slag and PVC were substituted instead of cement and aggregate in different percentages. Physical properties of paste samples like water requirement, initial and final setting time and volume expansion values were investigated. Scanning Elektron Microscope (SEM) images of 7 and 28 days old paste samples were examined. For concrete samples, the physical and mechanical properties such as compressive strength at 7 and 28 days, permeability and freeze-thaw tests were performed. 40x40x160 mm sized mortar samples were produced for testing the compressive strength. Also 25x25x285 mm sized mortar bars were produced and they were used for mortar bar method which was performed for testing the potential alkaline reactivity of mortars. Length change values were measured at 7, 28, 56 and 90 days. In the study, negative effects of dolomite ratio increase on compressive strength, permeability, freeze-thaw and other features has been observed experimentally. Strength and durability features were not increased by the PVC used in concrete. However, more flexible concrete can be produced by the addition of PVC. However, paste and mortar samples which a combination of dolomite and blast furnace slag used showed better results for setting time, volume expansion, compressive strength and alkaline-aggregate reactivity than just dolomite used samples were showed. These results suggest that the use of dolomite as concrete and cement additives, the appropriate dosage, type and amount of additives to determine the properties of the cement and concrete have shown improved further.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarına yapmış olduğu katkı ve yardımlar için değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ'ye ve Öğretim Görevlisi Ahmet Hayrullah Sevinç'e ayrıca teşekkür ederim. Laboratuar çalışmalarında her türlü yardımı ve emeği esirgemeyen İnşaat Teknikerleri Abdüsselim AKDAĞ'a ve Ünal CAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi destekte bulunan aileme ve K.S.Ü İnşaat Mühendisliği bölümünde bulunan hocalarıma sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2012
KAHRAMANMARAŞ

Mehmet Emin İNCEER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Betonların Sınıflandırılması	3
1.2. Betonun Dayanımı	4
1.3. Betonda Dayanıklılık (Durabilite)	5
1.3.1. Betonun durabilitesine donma-çözünmenin etkisi	6
1.3.2. Betonun durabilitesine geçirimsizliğin etkisi	8
1.3.3. Betonun durabilitesine boşluk yapısının etkisi	10
1.4. Pozolanik Katkılar	12
1.5. Hidratasyon	14
1.6. Konunun Önemi ve Amacı	18
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
2.1. Dolomit	20
2.2. Yüksek Fırın Cürufu	24
2.3. Poli Vinil Klorür (PVC)	28
3. MATERYAL ve METOT	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Dolomit	29
3.1.1.1. Dünya ve Türkiye dolomit rezervleri	30
3.1.1.2. Dolomitin kullanım alanları	33
3.1.2. Poli vinil klorür (PVC)	35
3.1.2.1. PVC'nin üretimi	36
3.1.2.2. PVC'nin kullanım alanları	37
3.1.3. Yüksek fırın cürufu	38
3.1.3.1. Yüksek fırın cürufunun üretimi	39
3.1.3.2. Yüksek fırın cürufunun kullanım alanları	41
3.1.3.2.1. Öğütülmüş GYFC'nun beton katkısı olarak kullanımı	42
3.1.3.2.2. Öğütülmüş GYFC'nun çimento üretiminde kullanımı	43
3.1.4. Agregat	44

3.1.4.1. Agregaların fiziksel özellikleri	47
3.1.4.2. Agregaların mekanik özellikleri	48
3.1.4.3. Agregaların granülometrisi	48
3.1.5. Çimento	51
3.1.5.1. Çimentoların özellikleri	51
3.1.5.2. Çimentoların sınıflandırılması	52
3.1.6. CEN standart kumu	53
3.1.7. Beton karışım suyu	54
3.2. Metot	55
3.2.1. Beton karışımların hazırlanması	55
3.2.2. Harç karışımların hazırlanması	57
3.2.3. Beton numunelerin basınç dayanımı	59
3.2.4. Beton numunelerde donma-çözülme etkisi	61
3.2.5. Permeabilite değerlerinin bulunması	62
3.2.6. Çimentolarda priz başlama ve bitiş sürelerinin tayini	64
3.2.7. Çimentolarda hacim sabitliği tayini	66
3.2.8. Harç numunelerin basınç dayanımı	68
3.2.9. Harç numunelerde boy değişim tespiti	70
3.2.10. Elektron mikroskop taramaları (SEM)	72
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	74
4.1. Çimentolarda Priz Başlama ve Bitiş Süreleri	74
4.2. Çimentolarda Hacim Sabitliği Değerleri	77
4.3. Elektron Mikroskop Taramaları (SEM)	79
4.4. Harç Numunelerin Basınç Dayanımları	82
4.5. Harç Numunelerde Boy Değişim Tayini	85
4.6. Beton Numunelerin Basınç Dayanımları	90
4.7. Beton Numunelerin Donma-Çözülme Etkisi	93
4.8. Permeabilite Değerleri	95
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	107

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
TS	: Türk Standardı
EN	: European Norm
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
PC	: Portland Çimentosu
MPa	: Mega Pascal (Basınç Dayanımı Birimi)
SiO₂	: Silis
Al₂O₃	: Alümin
SEM	: Scannig Electron Microscope
Fe₂O₃	: Demir Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Na₂O	: Sodyum Oksit
K₂O	: Potasyum Oksit
C₂S	: Dikalsiyum Silikat
C₃S	: Trikalsiyum Silikat
C₃A	: Trikalsiyum Alüminat
C₄AF	: Tetrakalsiyum Alümino Ferrit
CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat (C ₃ S ₂ H ₃)
CH	: Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH) ₂)
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat (Kireçtaşı)
CaMg(CO₃)₂	: Dolomit
Mg(OH)₂	: Magnezyum Hidroksit
PVC	: Polyvinyl Chloride
CEN	: The European Committee for Standardization
µm	: mikrometre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Çimentonun tipik gerilme-deformasyon eğrisi	5
Şekil 1.2. Geçirimlilik-hasar girişim diyagramı	9
Şekil 1.3. Sertleşmiş beton yapısının şematik gösterimi	11
Şekil 1.4. Doğal puzolan çeşitleri	13
Şekil 3.1. Türkiye dolomit, magnezyum ve barit yatakları haritası	33
Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan PVC	38
Şekil 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu	44
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan agregalar	49
Şekil 3.5. Karışımın referans granülometri eğrileriyle karşılaştırılması	50
Şekil 3.6. CEM I tipi çimento sınıfının kodlanması	52
Şekil 3.7. Harç numunelerinde kullanılan standart rılem kumu	54
Şekil 3.8. Numunelerin bekletildiği kür havuzu	57
Şekil 3.9. Slump deneyinin yapılışı	57
Şekil 3.10. Harç numunelerde kullanılan malzemeler	59
Şekil 3.11. Üretilen 10x10x10 cm beton numuneleri	60
Şekil 3.12. Basınç dayanım deneyinden bir görüntü	60
Şekil 3.13. Donma-çözülme cihazı ve numunelerin etüvde kurutulması	62
Şekil 3.14. Donma-çözülme etkisine maruz bir numune	62
Şekil 3.15. Permeabilite cihazı ve 150x300 mm silindir numune	63
Şekil 3.16. Permeabilite cihazına yerleştirilen ve çıkarılan numuneler	63
Şekil 3.17. Numunenin kırılması ve su işleme derinliğinin ölçülmesi	64
Şekil 3.18. Vicat aleti, normal kıvam tayini için kullanılan sonda ve vicat halkası	65
Şekil 3.19. Vicat aleti, iğnesi, priz başlangıç ve bitiş tayini deney numunesi	66
Şekil 3.20. Üzeri cam levha ile kapatılan hamur dolu silindir kalıp	67
Şekil 3.21. Numunelerin kaynama sıcaklığında bekletildiği deney aleti	68

Şekil 3.22. Herbir karışım türü için hazırlanan üç numuneye örnek	68
Şekil 3.23. Üretilen 40x40x160 mm harç numuneleri.....	69
Şekil 3.24. Harçların basınç mukavemeti deneyi cihazı ve numune	70
Şekil 3.25. Boy ölçümü yapılan bir harç çubuğu numunesi	71
Şekil 3.26. SEM cihazı (K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi-Üskim SEM Laboratuvarı)	73
Şekil 4.1. Hamur numunelerin priz başlangıç süreleri	74
Şekil 4.2. Hamur numunelerin priz sonu süreleri	75
Şekil 4.3. Hamur numunelerin priz başlangıç ve sona erme süreleri	76
Şekil 4.4. Hamur numunelerin hacim genleşmesi tayini için ilk ve son ölçüm değerleri	77
Şekil 4.5. Hamur numunelerin hacimsel genleşme değerleri	78
Şekil 4.6. Kontrol numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü	79
Şekil 4.7. 20D numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü	79
Şekil 4.8. 40D numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü	80
Şekil 4.9. 10D-10YFC numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü	80
Şekil 4.10. Kontrol numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü	81
Şekil 4.11. 20D numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü	81
Şekil 4.12. 40D numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü	82
Şekil 4.13. 10D-10YFC numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü	82
Şekil 4.14. 7 günlük harç numunelerin basınç dayanımları	83
Şekil 4.15. 28 günlük harç numunelerin basınç dayanımları	84
Şekil 4.16. Harç numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.....	85
Şekil 4.17. Harç çubuklarının 7 günlük boy değişim değerleri	86
Şekil 4.18. Harç çubuklarının 28 günlük boy değişim değerleri	87
Şekil 4.19. Harç çubuklarının 56 günlük boy değişim değerleri	87
Şekil 4.20. Harç çubuklarının 90 günlük boy değişim değerleri	88
Şekil 4.21. Harç çubuklarının günlere göre boy değişim değerleri	89
Şekil 4.22. Harç çubuklarının günlere göre boy değişim yüzdeleri	89

Şekil 4.23. 7 günlük beton numunelerin basınç dayanımları	90
Şekil 4.24. 28 günlük beton numunelerin basınç dayanımları	91
Şekil 4.25. Beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları	92
Şekil 4.26. Beton numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımları.....	93
Şekil 4.27. Beton numunelerin donma-çözülme sonrası basınç kayıp yüzdeleri	94
Şekil 4.28. Beton numunelerin su işleme derinliği.....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Türk çimento sektörü üretim ve tüketim miktarları	2
Çizelge 1.2. Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıfları	3
Çizelge 1.3. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları	15
Çizelge 1.4. Portland çimentosunun ana bileşenleri.....	16
Çizelge 1.5. Portland çimentosu ana bileşenlerinin özellikleri	18
Çizelge 1.6. Karakteristik değerlerle verilen fiziksel ve mekanik özellikler.....	18
Çizelge 3.1. Karbonatlı kayaç minerallerine ait fiziksel ve kimyasal özellikler	30
Çizelge 3.2. Dolomit üreticisi belli başlı ülkeler ve üretim miktarları	31
Çizelge 3.3. Türkiye dolomit yatakları ve rezervleri	32
Çizelge 3.4. Dolomitin kullanım alanları	34
Çizelge 3.5. Dolomitin kimyasal analizi	35
Çizelge 3.6. YFC'nun kimyasal analizi.....	44
Çizelge 3.7. YFC'nun fiziksel analizi	44
Çizelge 3.8. Kum ve iri agregalar için standart değerler	46
Çizelge 3.9. Agregaların fiziksel özellikleri.....	49
Çizelge 3.10. Beton numunelerde kullanılan agregalara ait elek analizi.....	50
Çizelge 3.11. CEM I tipi çimentonun bileşenleri	52
Çizelge 3.12. Çimentonun kimyasal analizi	53
Çizelge 3.13. Çimentonun fiziksel analizi.....	53
Çizelge 3.14. CEN Referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı.....	53
Çizelge 3.15. 1 m ³ beton karışımı için malzeme oranları ve numunelerin isimleri	56
Çizelge 3.16. Harç çubuğu deneyinde kullanılan harç karışımların malzeme oranları	58
Çizelge 3.17. Harçların basınç dayanımı deneyinde kullanılan harç karışım oranları	58
Çizelge 3.18. Priz sürelerinin tayininde kullanılan malzeme oranları.....	65
Çizelge 4.1. Hamur numunelerin priz başlangıç ve bitiş süreleri.....	74

Çizelge 4.2. Hamur numunelerin ilk ve son ölçümleri, hacim genleşmesi değerleri	77
Çizelge 4.3. Harç numunelerin basınç dayanımları	83
Çizelge 4.4. Harç numunelerin basınç dayanımlarının aynı gündeki kontrole oranı (%)	85
Çizelge 4.5. Harç çubuklarının günlere göre boy değişim değerleri	86
Çizelge 4.6. Beton numunelerin basınç dayanımları	90
Çizelge 4.7. Beton numunelerin basınç dayanımlarının aynı gündeki kontrole oranı (%) ..	92
Çizelge 4.8. Betonların donma-çözülme, su emme ve basınç değerleri	93
Çizelge 4.9. Beton numunelerin su işleme derinliği	95

1. GİRİŞ

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski medeniyetlerin günümüze kadar gelebilen eserlerinde önemli bir yere sahiptir. Piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcıların kullanılması, Pantheon ve Coliseum gibi yapıların doğal hidrolik bağlayıcı olan puzolanlarla yapılması ve Orta Asya ile Anadolu’da Horasan Harcı adı verilen bir bağlayıcının kullanılması, beton olarak nitelendirilebilecek malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. Çağdaş beton kronolojisinin ise 1800’lü yılların başında Louis Vicat’ın ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin’in “Portland Çimentosu”nun patentini almasıyla başladığı düşünülmektedir. Betonarme yapı sistemlerinin bulunmasıyla, beton yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1900’lü yılların başında ilk “hazır beton” patenti alınmış ve birbirini izleyen teknolojik yeniliklerin ardından beton kalitesi de yükseltilmeye başlanmış, özellikle kimyasal ve mineral katkıların, liflerin ve benzer malzemelerin betonda kullanılmasıyla farklı kullanım amaçlarına yönelik yüksek performanslı betonlar üretilmeye başlanmıştır (Karakule ve ark., 2004).

Günümüzde çok geniş bir kullanım alanı olan beton, sudan sonra dünyada en fazla tüketilen malzeme haline gelmiştir. Üretimi ve kullanımı kolay, uygun kullanımında güvenli, dayanıklı ve servis gerektirmeyen, temel yapı malzemesidir. Çok yaygın olarak kullanılan bu yapı malzemesi; baraj, kanal gibi su yapıları yanında yol, bina, köprü ve diğer yapıların inşaatında da kullanılmaktadır. Hem bir taşıyıcı eleman ve hem de dekoratif malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Yangına dayanıklılığı, su geçirmezliği ve ses yalıtımı bakımından da tercih edilmektedir. Modern yapılarda nükleer radyasyona karşı da kullanılmaktadır. Türkiye’de 2010 yılı itibarıyla yıllık yaklaşık beton üretimi 80 milyon m³’tür (THBB, 2011).

Betonu teşkil eden en önemli madde, bağlayıcı olan çimentodur. Çimento, su ile kimyasal reaksiyona girerek agrega tanelerini bağlar. Agregası, betonun yaklaşık % 75’ini meydana getirir. Tane boyutuna bağlı olarak iri ve ince diye isimlendirilir. İri veya kaba agregası çoğu zaman taş ocaklarından kırma suretiyle elde edilebildiği gibi tabii olarak da bulunabilir. Betonun teşkil eden diğer önemli bir madde de sudur. Suyun zararlı madde ihtiva etmemesi gerekir. Genellikle içilebilen su yeterlidir. Çimento, agregası ve sudan başka betona bazı katkı maddeleri de karıştırılabilir. Bunlar, fiziksel, kimyasal veya mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla katkı olarak ilave edilirler (Durmaz, 2007).

Değişik fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklere sahip katkı malzemelerinin çimentoya ilavesi çimento yapısında önemli ölçüde farklılıklara neden olmaktadır. Bu nedenle farklı çimentolar ile üretilen betonların farklı özelliklere ve performanslara sahip olmaları kaçınılmaz olmaktadır. Aslında, katkılı çimentolar modern toplumun ihtiyaçlarını karşılayan temel bir malzeme olarak tanımlanmaktadır (Çelik, 2005).

Çimento sektörü, Türkiye’de yıldan yıla artan ihracat hacmi ile GSMH’da önemli bir yer sahibi olmanın yanında, sağladığı önemli bir istihdam düzeyiyle de ekonomik yapı içindeki önemini korumaktadır. Makro ekonomik dalgalanmaların ve istikrarsızlıkların ilk etkisini gösterdiği sektörlerden biri olan çimento sektörü, yaşanan ekonomik krizlerden olumsuz yönde etkilenmekte olup, inşaat sektörünün ana girdilerinden birini sağlaması sebebiyle, bu sektördeki dalgalanmalardan doğrudan etkilenmektedir. İhracat hacmi de göz önünde bulundurulduğunda, yıllara göre çimento üretim ve tüketim miktarları Çizelge 1.1.’de gösterilmektedir (TÇMB, 2009)

Çizelge 1.1. Türk çimento sektörü üretim ve tüketim miktarları (TÇMB, 2009)

Yıllar	Üretim (x1000 ton)	Tüketim (x1000 ton)
1950	517	796
1960	2.038	1.973
1970	6.374	6.070
1980	12.976	12.087
1990	24.416	22.647
2000	35.953	31.515
2001	29.959	25.082
2002	32.758	26.811
2003	35.095	28.106
2004	38.796	30.671
2005	42.787	35.083
2006	47.400	41.610
2007	49.256	42.456
2008	51.432	40.574
2009	54.200	39.960

Betonda aranan özellikler; taze betonda, işlenebilme özelliği, uygun kıvam, taze betonun sıcaklığı, agrega maksimum tane büyüklüğü, homojenlik, kıvam kaybı, hava miktarı, ve birim ağırlık; sertleşmiş betonda ise, dayanım, hafiflik veya ağırlık, ısı ve ses yalıtımı, estetiklik, ekonomiklik ve dayanıklılıktır. Dayanıklılık, beton ve/veya betonarme yapının zaman içinde özelliklerini kaybetmemesidir. Betonun dayanıklılığında en önemli faktör, boşluksuz bir beton üretmektir. Boşluk ve çatlakların çapı ve dağılımı beton yüzeyindeki mikro iklime bağlıdır. Boşluk oranının kontrolü, en düşük değere indirilmesi, beton teknolojisinin kurallarına uymakla olanaklıdır. Betona dış ortam, fiziksel ve kimyasal

etkenlerle etki eder. Fiziksel etkenler, atmosfer koşullarında ıslanma-kuruma, donma-çözülme, aşınma, kum fırtınaları ve taşıt araçlarının etkisi şeklinde sıralanabilir. Kimyasal etkenler ise iç ve dış etkenler olarak belirlenir. İç etkenler beton içine giren malzemelerin (çimento, agrega, karma suyu ve katkı maddeleri) kimyasal yapısındaki bileşiklerin standartlardaki limit değerlerin dışında olmasından dolayı ortaya çıkar. Dış etkenler ise betonun çevresindeki dış ortamdır. Dış ortam etkisi, deniz, göl, ırmak, zemin suyu gibi sıvı ortam, hava kirliliği sonucu CO₂ ve SO₂ gazlarından, endüstri ve sanayiinin katı atıklarından kaynaklanabilir. Betona, sıcaklığın, güneş enerjisi ve radyasyonun etkisi de durabilite ile ilgili dış etkenler olarak değerlendirilmektedir (Kılınçkale, 2003).

1.1. Betonların Sınıflandırılması

Betonların uygulanması farklı iklim ve coğrafik şartlara sahip bölgelerde, farklı koruma seviyelerinde, farklı yerel tecrübe ve alışkanlıklar etkisinde olabilir. Bu farklı şartları kapsayacak şekilde beton sınıfları tasarlanmıştır. Betonlar, kullanılacağı yere göre bir veya birden fazla çevre şartına maruz kalabilirler, bu nedenle çevre etkileriyle ilgili etki sınıfları belirlenmiştir. Taze betonlar ise çökme, vebe, sıkıştırılabilme ve yayılabilme sınıflarına ayrılmışlardır. Sertleşmiş betonlar basınç dayanım sınıflarına göre sınıflandırılabilirler. Betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, Çizelge 1.2.'de dayanım değerleri verildiği üzere; çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,sil}$) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,küp}$) kullanılabilir (TS EN 206-1).

Çizelge 1.2. Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıfları (TS EN 206-1)

Basınç Dayanımı Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı $f_{ck,sil}$ (N/mm ²)	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı $f_{ck,küp}$ (N/mm ²)
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 45/55	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

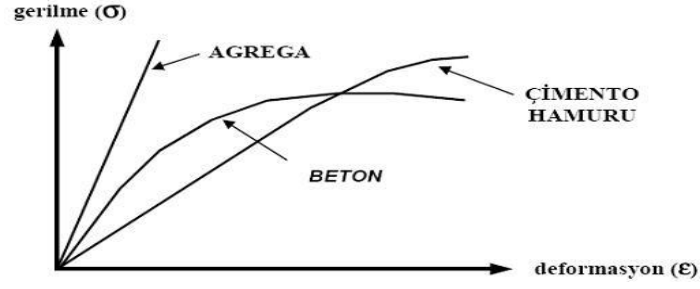
Sertleşmiş betonlar hafif betonun yoğunluğuna göre de sınıflandırılabilirler. Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar. Etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı 2000 kg/m³'ten büyük olup, 2600 kg/m³'ü geçmeyen beton, normal beton olarak isimlendirilir ve taşıyıcı amaçlarla en çok kullanılan beton türüdür. Yoğunluğu 2600 kg/m³'ten daha büyük olan betonlara ağır beton, 800 kg/m³ ile 2000 kg/m³ arasında olan betonlara ise hafif beton denir (TS EN 206-1).

1.2. Betonun Dayanımı

Beton basınç dayanımı, 28 günlük, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan standart beton silindir numunenin, uygulanan tek eksenli basınç altında taşıyabildiği en büyük gerilme değeridir. Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. İç faktörler; betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, agrega özellikleri, su/çimento oranı, kullanılan kimyasal ve mineral katkıları, beton boşluk yapısı iç faktörlere, basınç dayanımı deney koşulları ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir (Felekoğlu ve Türkel, 2004).

Basınç dayanımı, uygun numunelerin TS EN 12390-2'ye göre denenmesiyle elde edilir. Beton karakteristik basınç dayanımı f_{ck} , denenecek silindirlerden elde edilecek basınç dayanımlarının bu değerden düşük olma olasılığı belirli bir oran (genellikle %10) olan değerdir. Gerekğinde basınç dayanımı, küp deneylerinden de elde edilebilir. Böyle durumlarda, karakteristik basınç dayanımı f_{ck} , geçerliliği deneylerle kanıtlanmış katsayılarla dönüştürülür. Boyutları 150 mm 'den değişik küp numunelerinden elde edilen basınç dayanımları gereken düzeltme yapılarak dikkate alınmalıdır (TS 500).

Betonu oluşturan agrega ve çimento hamuru elastik davranış göstermesine karşın kompozit bir malzeme olan beton yüksek gerilme seviyelerinde, elastik bir malzeme değildir. Basınç dayanımının % 25-40'ından daha yüksek gerilmelerde elastik özelliğini kaybeder. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi çok büyük gerilme seviyeleri göz önüne alınmadığı takdirde betonu oluşturan bu iki temel malzemenin gerilme-deformasyon diyagramlarının doğrusal olduğu söylenebilir (Felekoğlu ve Türkel, 2004).



Şekil 1.1. Çimentonun tipik gerilme-deformasyon eğrisi (Felekoğlu ve Türkel, 2004)

Öte yandan betonu oluşturan agrega ve çimento hamurunun elastisite modülleri oldukça farklıdır. Betona uygulanan gerilmeye bu iki malzemenin farklı şekilde tepki vermesi, betonu yüksek gerilme mertebelerinde elastik olmayan bir davranışa itmektedir (Felekoğlu ve Türkel, 2004).

1.3. Betonda Dayanıklılık (Durabilite)

Betonun zaman içinde dış etkilere karşı gösterdiği dayanıklılık, durabilite olarak adlandırılmaktadır. Betonun durabilitesi 20. yüzyılın sonlarından itibaren dünya genelini ilgilendiren önemli bir konu olmuştur. Betonun özellikleri ise bileşenlerinin miktarına ve kalitesine bağlıdır. Çimento, betonun en aktif bileşeni ve genellikle en fazla birim maliyetine sahip olmasından dolayı, herhangi bir beton karışımı için çimentonun seçimi ve uygun kullanımı en ekonomik çözümü elde etmede önemli bir faktör olacaktır. Çimento hamurunun mikroyapısı ise betonun dayanım ve durabilite özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Su bağlayıcı oranı ile birlikte bağlayıcı malzemenin içeriği, hidrasyon reaksiyonu ile hamurun mikroyapısını belirlemektedir. Bu nedenle, portland çimentosu ve puzolanik malzemelerin farklı kombinasyonları ve onların birbirleriyle olan uyuşumu bu hususta çok önemli rol oynamaktadır (Güneyisi ve ark., 2002).

Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki betonarme donatıları paslanabilmekte, beton aşınabilmekte ve beton içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır. Bilindiği gibi, yapıların tasarımında, betonun hedeflenen dayanımdan daha düşük dayanıma sahip olmaması istenmektedir. Ancak, betonun, hizmet verdiği süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması, en az betonun dayanımı kadar, hatta beton dayanımından daha da önemlidir. Beton dayanıklılığı, “hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar

karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti“ olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, “durabilite” veya “kalıcılık” olarak da adlandırılmaktadır (Erdoğan, 2003).

Betonun durabilitesi, beton yapıya ait servis ömrünün belirlenmesinde önemli bir işleve sahiptir. Endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu bölgeler ile deniz atmosferi ve deniz suyu etkisindeki yapılar ve iklimi soğuk yörelerdeki beton yapılarda durabilitedeki yetersizlik önemli bir sorundur. Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması durabilite bakımından yararlıdır. Betonda durabilite ve geçirimsizlik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Betonun akışkan geçirimsizliği; basınçlı su geçirimsizliği, kılcal su emme, ve buhar geçirimsizliğinden oluşur. Geçirimsizlik bakımından gerekli önlemlerin alınmaması durumunda betonlarda bu üç geçirimsizlik aynı yönde ve olumsuz biçimde yüksek değerlere erişir ve sonuçta durabilite bakımından da sorunlarla karşılaşılır. Betonun çevre etkilerine karşı kalıcılığını sürdürmek için en önemli önlem geçirimsizliği sağlamaktır. Betonun geçirimsizliğinde en büyük etken dışı açık büyük boşluklar ile çatlaklardır. Bu boşluk ve çatlaklar betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde daha belirgindir. Su/çimento oranının yüksek olması dolayısıyla kılcal boşlukların artması durabiliteyi olumsuz yönde etkileyen en önemli nedenlerden biridir. Ancak aynı su/çimento oranına sahip betonlarda betonun özellikle ilk yedi gün içinde bakım ve kürüne özen gösterilmemesi halinde beton geçirimsizliği bakımından önemli sakıncalar ortaya çıkmaktadır. Özellikle puzolanlı çimentoların kullanılması durumunda betonun bakım ve kürüne daha çok özen gösterilmeli ve kür süresi normal çimento ile üretilen betonlara göre daha da uzatılmalıdır (Taşdemir ve Akyüz, 1999).

1.3.1. Betonun durabilitesine donma-çözünmenin etkisi

Cisimler boşluklu bir yapıya sahiptirler. Cisimlerin gözeneklerinde bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda donması, malzemenin dayanımının azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Bu etkiler, suyun donması sonucunda hacminin artmasından ileri gelmektedir. Su donduğunda hacminde % 9 oranında bir artış meydana gelir. Bu ifadeden de anlaşıldığı üzere donma olayı cisimlerde belirgin bir ölçüde genleşme meydana getirmektedir. Bu genleşmenin sonunda ise cisimlerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar biraz daha genişlemekte ve bunun sonucu olarak da cismin yüzeyinde önemli derecelerde çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir. Bilindiği gibi beton da

boşluklu bir malzemedir. Bulunduğu yere ve iklim koşullarına göre su ile temas halinde bulunabilir; hatta betonun su ile temas etmesi sonucu kılcallık, geçirimsizlik ve donma gibi fiziksel olaylara maruz kalabilir. Betondaki boşluklar, betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu veya betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye giren su ile dolmaktadır. Bu nedenle betonun donma olayının etkisi altında kalarak hasar görmeye elverişli bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Uygunoğlu ve Ünal, 2005).

Düşük sıcaklıklarda, betonun içerisindeki su yavaş yavaş donmaya başlamaktadır; yani, donma olayı aniden olmamaktadır. Kapiler boşluklar tamamen veya %91'den daha çok suyla dolu durumda olduklarında, donmanın başlaması ve suyun bir miktarının buz haline dönüşmesi ile ortaya çıkan hacim genleşmesi, boşluklardaki henüz donmamış su üzerinde hidrolik basınç oluşturmaktadır; henüz donmamış durumdaki su boşluklardan dışarıya itilmektedir. Boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanan su, boşlukların etrafındaki çimento hamurunun çatlamasına yol açacak büyüklükte gerilmeler oluşturmaktadır. Betondaki sıcaklığın artmasıyla, beton soğukken oluşmuş olan buzların çözülmesi ile betonun içerisindeki gerilmeler ortadan kalkmış durumdadır. Ancak, bir başka zamanda oluşacak soğuma karşısında aynı olaylar tekrar etmektedir. Kapiler boşluklarda henüz tamamen donmamış durumdaki suyun gösterdiği hidrolik basıncın artmasına neden olan iki olay daha bulunmaktadır. Bunların ilki; jel boşluklarındaki su ile buz arasındaki termodinamik dengesizliğin, jel suyunun bir miktarının kapiler boşluklara yönelerek donmasına neden olması, böylece, hidrolik basıncın artması; diğeri ise, kapiler boşluklardaki saf suyun dışarı çıkması sonucunda, geriye kalan sudaki tuz ve benzeri maddelerin konsantrasyonunun artması ve osmotik basıncın artmasıdır.

Betonun fazla su emme ve fazla iletkenlik özelliği, yüksek boşluklu yapının sonucudur. Don olayından betonun zarar görmesinde, beton içerisindeki özellikle orta büyüklükteki boşluklar önemli olmak üzere boşluk yapısı da etkili bulunmaktadır. Bununla beraber, hava sürükleyici katkı maddelerinin kullanımıyla betona % 2-6 oranında hava katılması, donma çözülmenin ayrıştırıcı etkilerine karşı betonun dayanımını artırır (Örüng, 1995).

Bu katkı maddeleriyle beton içinde homojen dağılmış, boyutları 10 mikrondan birkaç milimetreye ulaşabilen, birbirlerinden bağımsız küresel hava boşlukları oluşturulur. Bu boşluklar hem betonun kılcallık yoluyla su emmesini engeller, hem de kılcal boşluklarda su donduğu zaman buzun boşluk içine doğru oluşmasını sağlayarak donma etkisiyle kılcal boşluk çeperlerine basınç uygulanmasını önler (Şengül ve ark., 2003).

1.3.2. Betonun durabilitesine geçirimliliğin etkisi

Betonun dayanıklılık problemleri betonun geçirimliliği ile başlar. Betonun geçirimsiz olması durumunda birçok dayanıklılık problemine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez. Yani geçirimsiz ya da geçirgenliği çok düşük olan betonlarda don olayı veya betona kimyasal olarak zarar veren reaksiyonlar görülmez. Özellikle betonda tahribata yol açan kimyasal reaksiyonların, zararlı sıvıların beton içerisine sızması ya da beton tarafından emilmesi sonucu meydana geldiği düşünülecek olursa beton dayanıklılığında geçirgenliğin önemi anlaşılmış olur. Betonun boşluklu olması, sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan giren suyun akış göstererek daha iç bölgelere ulaşmasına ve sonuç olarak betonun hasar görmesine neden olmaktadır. Beton depolar ve barajların yapımında kullanılan betonlar başta olmak üzere, içerisinde su veya başka bir sıvı bulunduran bütün betonların, mümkün olabildiğince geçirimsiz olmaları gerekmektedir (Erdoğan, 2003).

Çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşmuş olan ve sertleşmiş çimento hamurunun yapısında bulunan kalsiyum hidroksit, dışarıdan sızan suların etkisi ile çözünerek yüzeye çıkmaktadır. Böylece, betondaki boşluk miktarı artmaktadır. Yüzeye çıkan kalsiyum hidroksitli ve tuzlu suyun buharlaşması ile beton yüzeyinde beyaz lekeler halinde kalsiyum karbonat ve tuz birikintileri yer almaktadır. Ayrıca, Kapiler boşlukları suyla dolu duruma gelen betonlarda, boşluklardaki suyun donması ile çok büyük genleşmeler oluşmaktadır (Sevinç, 2011).

Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması durabilite bakımından önemlidir. Beton numunelere yapılacak olan geçirimlilik deneyi ile betonun geçirgenlik katsayısı hesaplanabilir. Söz konusu geçirgenlik katsayısının hesaplanması Denklem 1.1 ve 1.2' deki gibidir (TS 3455).

$$K_{60} = \frac{V_s \times L}{t_s \times P \times A} \quad (1.1)$$

$$K_{60} = \frac{100 \times K_y}{F_y} \quad (1.2)$$

K_{60} = 60 günlük betonun geçirgenlik katsayısı (cm/sn)

V_s = t_s saat aralıklarla ölçülen toplam su miktarları farkı, $V_2 - V_1$ (cm³)

L = Numune yüksekliği (cm)

t_s = V_1 ve V_2 toplam su miktarları ölçümleri esnasında geçen zaman (sn)

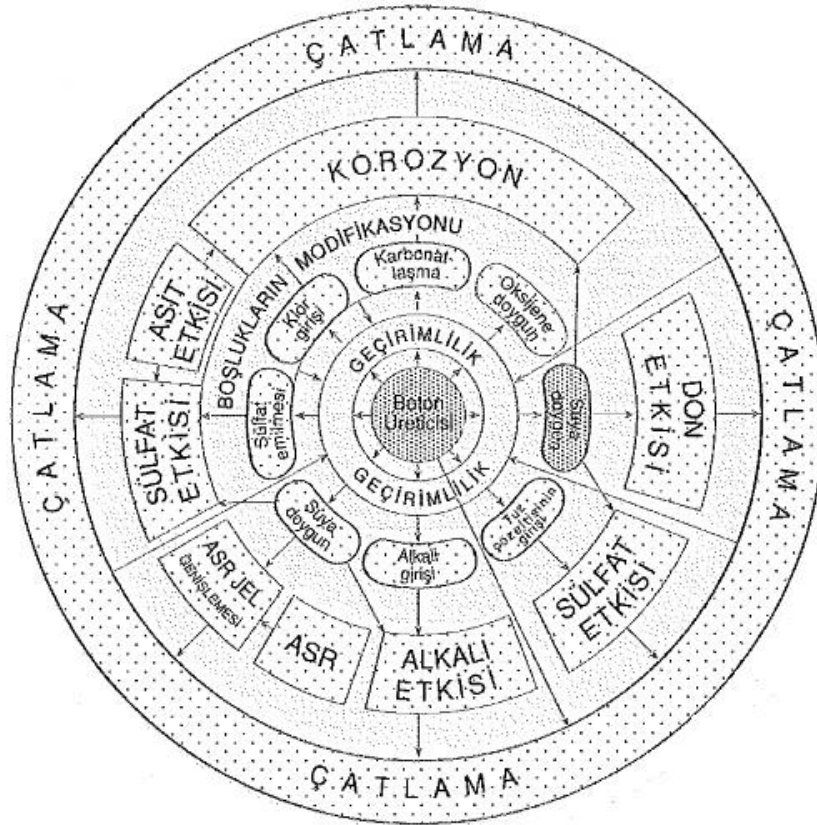
P = Uygulanan su basıncı (cm su sütunu)

A = Su basıncının uygulandığı deney numunesi yüzeyinin alanı (cm²)

$K_y = t$ günlük betonun geçirimsizlik katsayısı (cm/sn)

$F_y = 60$ günden farklı yaşlarda yapılan geçirimsizlik deneyi sonuçlarından K geçirgenlik katsayısını hesaplamak için kullanılan yaşa bağlı çevirme katsayısı

Hasar mekanizması betonun mikroyapısına bağlıdır. Betonun geçirimsizlik özellikleri ise doğrudan mikroyapıya bağlıdır. Böylece betonun durabilitesinin değerlendirilmesi, ölçülen geçirimsizlik özelliklerine bağlı biçimde yapılmalıdır. Hem doğal hem de yapay puzolanların betonun kimyasal dayanıklılığını artırmada önemli işlevleri vardır. Portland çimentolarına kıyasla puzolanlı çimentolar daha düşük geçirimsizliğe sahip beton elde edilmesine olanak sağlarlar. Daha yoğun bir kalsiyum silikat hidrate elde edilir. Bu da beton durabilitesinin artmasını sağlar. Puzolanlı çimentolar zararlı sularda kirecin yıkanmasına karşı koyar. Şekil 1.2.'de betonun geçirimsizliğinin sonucunda farklı hasar girişimleri diyagram halinde gösterilmektedir (Taşdemir ve Akyüz, 1999).



Şekil 1.2. Geçirimsizlik-hasar girişim diyagramı (Taşdemir ve Akyüz, 1999)

Betonun porozitesi ve permeabilitesi ne derece az ise, beton içine penetre olabilen klorür miktarı da o derece az olur, dolayısıyla korozyon oluşum hızı da azalır. Betonun bu özellikleri başta su/çimento oranı olmak üzere, beton yapımında kullanılan agrega granülometrisine, çimento dozajına, betonun kalıp içinde sıkıştırılmasına ve dökümden sonraki ilk günlerde uygulanan kür koşullarına bağlıdır (Doğan, 2009).

1.3.3. Betonun durabilitesine boşluk yapısının etkisi

Betonda kullanılan porozite kavramı, malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine oranı şeklinde tanımlanır. Hidrate çimento hamurundaki boşluklar üç sınıfa ayrılır. Bunlardan biri, katmanlar arası boşluklardır. Bu küçük boşlukların hidrate çimento hamuru dayanımına ve geçirimsizliğine olumsuz bir etkisi yoktur. Ancak, hidrojen bağları ile bu boşluklarda tutulan suyun belirli koşullarda kaybının, kuruma büzülmesi ve sünmeye katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bir diğer boşluk türü ise, kapiler boşluklardır. Bunlar, hidrate olmamış çimento taneleri veya hidratasyon ürünleri ile dolmayan boşluklardır. Hidrate çimento hamuru özelliklerinin değerlendirilmesinde, kapiler boşlukların boyut dağılımının, toplam poroziteden daha iyi bir kriter olduğu öne sürülmektedir. Özellikle yüksek su/çimento oranının sebep olduğu büyük kapiler boşlukların (makro boşluklar) dayanım ve geçirimsizliği olumsuz etkilediği kabul edilmektedir. Üçüncü boşluk türü ise, hapsolmuş hava boşluklarıdır. Bunlar, düzensiz şekilde olan kapiler boşlukların tersine, genelde küreseldir ve çapları 1-3 mm arasında değişebilir. Hidrate çimento hamurundaki hapsolmuş veya hava sürükleyici katkılarla sürüklenmiş hava boşlukları, kapiler boşluklardan çok daha büyüktür. Dayanımı ve geçirimsizliği olumsuz etkiler.

Porozitenin miktarı ve boşluklar arasındaki bağlantı, malzeme özelliklerini güçlü bir şekilde etkiler. Porozitedeki artış, çimentolu sistemlerdeki geçirimsizliğin artışına sebep olur. Böylece zararlı iyonların yapıya penetrasyonu artar ve sonunda malzemenin zamana bağlı fiziksel direnci azalır. Betonarme elemanda boşluk suyuyla taşınan klor iyonlarının yapıya difüzyonu arttıkça, betonarme donatıları üzerinde oluşan korozyon da artarak direk olarak malzemenin dayanım ve dayanıklılığının azalmasına sebep olur. Bu durum, özellikle köprülerde ve deniz yapılarında yüksek oranda görülmektedir. Ayrıca yapı elemanlarında meydana gelen geçirimsizliğin etkisiyle boşluklarda donma-çözülme etkisiyle içsel gerilmeler oluşur. Bu içsel gerilmeler sonucunda çimentolu sistemlerin dayanım ve dayanıklılığı azalır. Özellikle dış etkilere maruz beton yollarda, kaplamalarda ve köprü elemanlarında yoğun bir şekilde görülen donma-çözülme etkileri uzun vadede donatıda korozyonun da etkisiyle yapı elemanının yenilenmesini bile gerektirebilmektedir (Tekin ve ark., 2011).

Betonun dayanımı yanında durabilitesinin de yeterli olması istenir. Geçirimsiz olması istenen bir betonun durabilitesinin de yeterli olacağı beklenir. Geçirimli ve boşluklu bir beton, içindeki çeliği koruyamaz. Karbonatlaşma ve klor difüzyonu nedeni ile oluşan çelik

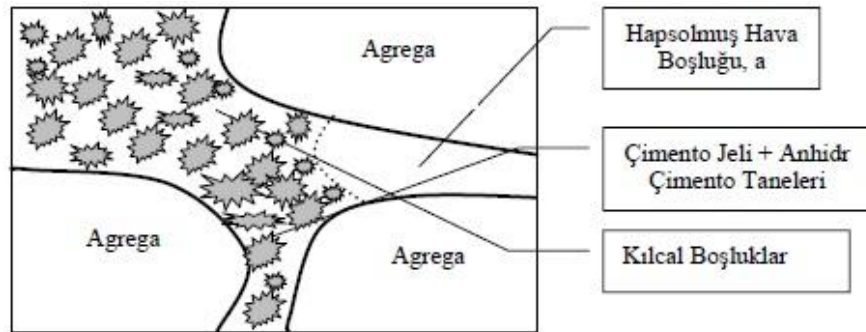
korozyonu betonarme yapıda dayanım azalmasına neden olur. Sismik yüklemeler sırasında bu tür çatlaklar ilerler ve kalan dayanım daha da azalır. Sertleşmiş betonun yapısında, hidrasyon sonucunda çimento tanelerinin yüzeylerinden başlayarak jelleşme oluşur. Hidratasyona uğrayan her 1 cm^3 çimento tanesi 2.06 cm^3 çimento jeli oluşturmaktadır. Oluşan bu jelleşmeden dolayı çimento taneleri arasındaki kılcal boşlukların hacimleri daralmaktadır. 1 m^3 sertleşmiş betondaki çimentonun hidrate olmamış haldeki hacmine c denirse, hidrasyon derecesi α olduğunda $2.06\alpha c$ kadar çimento jeli oluşur. Bunun αc kadarlık bir kısmı çimentonun hidrate olmamış haldeki sınırları içinde kalacağından kılcal boşluklardaki azalma, Denklem 1.3' teki kadar olacaktır. Kılcal boşlukların hacmi ise, Denklem 1.4' teki gibi olup, çimento hamurundaki toplam boşluk hacmi ise, Denklem 1.5' teki gibidir (Atahan ve ark., 2003)

$$2.06\alpha c - \alpha c = 1.06\alpha c \quad (1.3)$$

$$w - 1.06\alpha c \quad (1.4)$$

$$V = (w - 1.06\alpha c) + a \quad (1.5)$$

Burada hapsolmuş hava boşluğu (a) miktarının pratik olarak değişmediği kabul edilmektedir. Ayrıca, sertleşmiş betonun yapısı ise Şekil 1.3.'te şematik olarak gösterilmektedir (Atahan ve ark., 2003)



Şekil 1.3. Sertleşmiş beton yapısının şematik gösterimi (Atahan ve ark., 2003)

Geçirimsizlik ile betonun durabilitesi arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Geçirimsiz ve boşluksuz bir beton üretimi ile donatı korozyonuna, asit, sülfat, don ve alkali reaktivitesine karşı gereken önlem alınmış olunur. Maksimum su /çimento oranı ile minimum çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması

gereklidir. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle durabiliteye göre tasarımı bu iki etkene göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleşebileceği doğrusal olarak beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Su/çimento oranı olabildiğince düşük beton, geçirimsiz beton, kılcal boşlukları azaltılmış betondur (Bilgiç, 2009).

1.4. Puzolanik Katkılar

Kendi başına bağlayıcı olmayan, ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelere puzolan adı verilmektedir (Aruntaş, 2006).

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılık gösterebilmesi için, içerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalı, amorf yapıya sahip olmalı ve en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır. Puzolanik katkı içeren betondaki hidratasyon ısısı ve büzülme daha düşük olmaktadır. Hidratasyon ısısının açığa çıkma hızının düşük olması, baraj betonlarında ve diğer kütle betonlarda puzolan kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, puzolan katkılı betonun ilk zamanlardaki dayanımı, katkısız betonunkine kıyasla genellikle daha düşük olmaktadır. Ancak, puzolanik reaksiyonların gelişmesi ile nihai beton dayanımı oldukça yüksek olabilmektedir. Puzolanik malzemelerin maliyeti portland çimentosununkinden daha az olup, istenilen kalitedeki betonun puzolanik katkı ile daha ekonomik şekilde elde edilmesi sağlanmaktadır. Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Doğal puzolanlar, doğada volkanik kütlelerin bulunduğu yerlerde görülür. Her puzolanın kimyasal yapısı, aktivitesi, bulunduğu bölgeye göre değişir. Doğal puzolanlara örnek olarak; volkanik tüfler, tras, diatomit veya diyatome toprağı, pomza taşı verilebilir. Doğal puzolanların çoğu piroklastik kayalardır. Piroklastik kayalar, bir volkanik patlama sırasında volkan bacasından havaya fırlatılır. Havaya fırlatılan volkanik parçacıklar zamanla yatak oluştururlar. Boşluklu ve kabarcıklı bir yapı meydana gelir. Bu yapı ya olduğu gibi kalır veya serbest kalan gazların patlayıcı etkisiyle az çok bozularak kavisli ve iğnemsî bir yapı oluşur. Her iki durumda da özgül yüzey büyüktür. Doğal puzolanların çeşitleri Şekil 1.4.'te yer almıştır (Dayı, 2006).



Şekil 1.4. Doğal puzolan çeşitleri (Dayı, 2006)

Türkiye, doğal puzolan ya da yaygın olarak bilinen adıyla tras kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Geçen yıllarda ülkemizde üretilen çimentoların yaklaşık 1/3’ü “Traslı Çimento”dan oluşmaktadır. CaO, MgO ve SO₃ gibi bazı zararlı maddelerin varlığı, hacim genişlemesini tetikleyen etkenlerdendir. Bu zararlı maddelerin çimentoda belli sınırların altında tutulmaları gerekmektedir. CaO miktarı kütlece %3, MgO miktarı ise kütlece % 4.5’ ten fazla olmamalıdır. İşte bu noktada doğal puzolanlar, inceliklerine bağlı olarak bu zararlı maddelerle tepkimeye girmekte ve bunların çimento içerisindeki oranlarını düşürmektedir. Doğal puzolanlar ince öğütölme yetenekleri sayesinde çimento hamurundaki mikro boşluklara kolayca girmekte ve çimento hamurunun iskelet yapısını değiştirerek dayanıklılığını artırmaktadırlar. Buna ilaveten doğal puzolanlar, ince taneli olmaları sayesinde çimento harcı ve beton üzerinde kayganlaştırıcı bir etki de ortaya koymaktadırlar. Bu etki, taze betonun kıvamını ve dolayısıyla işlenebilirliğini iyileştirmektedir. Ancak doğal puzolanlar, çimentonun toplam özgül yüzeyini artırdıkları için su ihtiyacını da artırabilmektedirler (Yetgin ve Çavdar, 2005).

Yapay puzolanlar sanayi üretim atığıdır. Yapılarında doğal puzolanlardaki gibi oksit bileşenler (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO) içermelerinden dolayı puzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştukları için de yapay sıfatı verilerek yapay puzolan denilmiştir. Atıktaki silisin aktifliği, puzolanın aktifliğini belirler. Yapay puzolanlar, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür (Okucu, 1998).

Uçucu kül (UK) ’lerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir. Düşük kireçli UK’lerin ana aktif bileşeni, silis ve aluminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip UK’ler, rutubetli ortamda sönmüş kireç (CaOH₂) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kireçli UK’ler ise, hem puzolanik özellik gösterirler hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum aluminat,

amorf silis ve alumina vb. sebebiyle kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip olabilirler (Aruntaş, 2006).

Silis dumanı (SD), çok ince taneli olması ve yüksek oranda SiO₂ içermesi nedeni ile puzolanik reaksiyonların çok erken yaşlarda başlamasına neden olmaktadır. Puzolanik reaksiyonların çimentonun hidratasyonunun başlangıcından 1 gün sonra başladığını, 3. günden sonra belirgin hale geldiğini ve 28. günde büyük ölçüde tamamlandığını araştırmalar göstermiştir (Çelik ve ark., 2004).

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC), demir cevheri fırınında eritilip arıtılırken elde edilen uygun bileşimdeki ergimiş cürufun hızla soğutulması ile camsı yapıda bir katı eriyik şeklinde meydana gelir. Bu yarı kararlı camsı malzeme, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak, ince öğütülerek ve Portland Çimentosu (PÇ) 'nun hidratasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)₂ 'i kullanmak suretiyle hidrolik özelliğe sahip olur. Öte yandan, yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir (Tokyay ve Erdoğan, 1997).

Hem doğal hem de yapay puzolanları ihtiva eden çimentolarda oluşan bileşenlerin yapısıyla ilgili olarak, farklı oranlarda olmasına rağmen PÇ hidratasyonundaki oluşum ile aynı olduğu söylenebilir. Hidratlı pastalar genellikle, klinkerin hidratasyonu sırasında oluşan primer CSH'den ve puzolanik reaksiyonun etkisi ile başarılı bir şekilde oluşan CSH'den meydana gelmiştir. Oluşan diğer hidratlı fazlar, sertleşmiş PÇ pastalarında bulunan fazlara çok benzer. Puzolan ilavesi erken dönemlerde çimento ve beton dayanımını düşürür, ilave edilen puzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak nihai basınç dayanım değeri PÇ 'nun nihai değerini aşabilir. Puzolan ilavesi belli yüzdeleri aştığı zaman dayanım değerleri hızla düşmektedir. Çünkü tam bir reaksiyon için kireç miktarının yetersiz olması nedeniyle puzolan fazlası sertleşmeye katkıda bulunmaz (Çelik ve ark., 2004).

1.5. Hidratasyon

Çimentoların su ile yaptığı kimyasal reaksiyona hidratasyon adı verilir. Diğer bir ifade ile anhidro kristallerin hidrate kristallere dönüşümüdür. Çimento su ile birleşir birleşmez her ana bileşen su ile ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve hidratasyon sonunda her ana bileşen tarafından değişik hidratasyon ürünleri oluşmaktadır. Bu reaksiyonların etkisiyle çimento hamuru katılaşmakta (priz almakta) ve sertleşmektedir (dayanım kazanmaktadır). Çimento

hamurunun özellikleri, kimyasal reaksiyonlar sonunda ortaya çıkan değişik özelliklerdeki hidratasyon ürünlerinin çimento hamuru içerisinde ne oranda yer almış oldukları tarafından belirlenmektedir (Özkan, 2009).

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmesi ile ortaya çıkan ve “klinker” olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Portland çimentosu klinkeri, oksitler olarak ifade edilen CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve az miktarda diğer maddeler ihtiva eden ham maddelerin kesin şekilde belirlenmiş karışımının (farin, pasta veya çamur) sinterlenmesi ile hazırlanır. Farin, pasta veya çamur çok ince öğütülmüş, hassas şekilde karıştırılmış, dolayısıyla homojen olmalıdır (TS EN 197-1).

Portland çimentosu klinkeri, kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikatlardan ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ve $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ve geri kalanı alüminyum ve demir ihtiva eden klinker fazları ile diğer bileşiklerden oluşan hidrolik bir maddedir. Kütlece CaO/SiO_2 oranı 2,0’dan az olmamalıdır. MgO muhtevası kütlece % 5’ten fazla olmamalıdır. Çizelge 1.3.’te Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları verilmiştir (Özkan, 2009).

Çizelge 1.3. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları (Özkan, 2009)

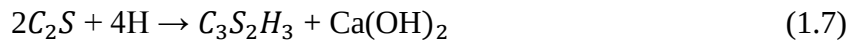
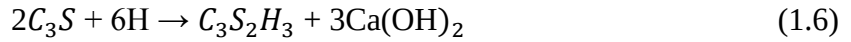
Oksitler	Yaygın Adı	Kısaltılışı	Miktarı (% Ağırlıkça)
CaO	Kireç	C	60-67
SiO_2	Silis	S	17-25
Al_2O_3	Alümin	A	3,0-8,0
Fe_2O_3	Demir oksit	F	0,5-6,0
SO_3	Kükürt Trioksit	S'	1,0-3,0
MgO	Magnezyum Oksit	M	1,0-4,0
$\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$	Alkaliler	N+K	0,2-1,3

Sıcaklığın etkisiyle hammadde karışımından açığa çıkan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi oksitler, sıcaklık arttıkça (yaklaşık 1200 °C) kendi aralarında kimyasal reaksiyona başlamaktadır. 1250–1300 °C sıcaklıkta, hammadde karışımının % 20- 30’u sıvılaşma göstermekte ve klinker denilen irili ufaklı katı tanecikler haline dönüşmektedir. Oksitlerin 1200–1450 °C civarındaki kimyasal reaksiyonlarından sonra, çimentoyu oluşturan ve birbirinden farklı özelliklere sahip dört ana bileşenin oluşumu tamamlanmış olur. Bunlar, Çizelge 1.4.’te belirtilmiştir (Özkan, 2009)

Çizelge 1.4. Portland çimentosunun ana bileşenleri (Özkan, 2009)

Mineral fazları	Kimyasal formülü	Sembolleri
Trikalsiyum silikat	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Dikalsiyum silikat	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Trikalsiyum alüminat	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetra kalsiyum alüminoferrit	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

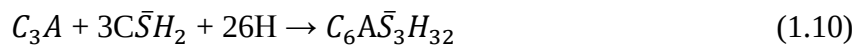
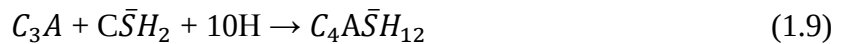
Trikalsiyum silikat (C_3S) ile su arasındaki reaksiyon Denklem 1.6’da ve dikalsiyum silikat (C_2S) ile su arasındaki reaksiyon Denklem 1.7’de gösterilmektedir (Erdoğan, 2003)



C_3S ’in hidratasyon ürünü mikrokristal hidrat olan $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ ve kristal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’ dir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CH olarak tanımlanır. C_2S ’in hidratasyonu sonucunda yine benzer ürünler oluşur. Kalsiyum silikat hidratlar C-S-H olarak tanımlanır (Erdoğan, 2003).

Kalsiyum silikat hidratlar ayrıca ‘Tobermorit’ olarak da adlandırılmaktadır. Tobermorit ismi bu hidratasyon ürününün, doğada aynı isimle anılan bir minerale benzediğinden dolayı verilmiştir. Son yıllarda ise sadece C-S-H (Kalsiyum-silikat-hidrat) jeli olarak adlandırılmaktadır. Çimento hamurunun dayanımı CSH jellerinin miktarına bağlıdır. Hidratasyon olayı devam ettikçe, CSH jellerinin üretimi de devam etmekte ve çimento hamurunun dayanımı artmaktadır. C_3S anabileşenin hidratasyonu, ilk zamanlarda C_2S anabileşenin hidratasyonundan daha hızlı yer aldığı için, çimentodaki dayanım artışına C_3S ’in ilk zamanlaraki katkısı daha çoktur (Neville, 1981).

C_3A ’nın suyla reaksiyonu çok hızlıdır ve ani prize sebep olur. Bu sorun, klinkerin öğütülmesi aşamasında alçıtaşı eklenmesi ile çözülür. C_3A ’nın alçıtaşı olmadığı durumdaki reaksiyonu Denklem 1.8’de; olduğu durumlardaki reaksiyonları Denklem 1.9 ve Denklem 1.10’da belirtildiği şekildedir (Neville ve Brooks, 2004).



C_3A , su ve alçıtaşının reaksiyonları ile çimento hamurunun içerisinde hem bir miktar $\text{C}_4\text{A}\bar{\text{S}}\text{H}_{12}$ hem de $\text{C}_6\text{A}\bar{\text{S}}_3\text{H}_{32}$ ürünleri oluşabilmektedir. $\text{C}_4\text{A}\bar{\text{S}}\text{H}_{12}$ (kalsiyum-alümino-

monosülfhidrat) ürünü, bünyesine 12 molekül su alarak oluşmaktadır. Bu kristalin oluşması, çimento hamurunun içerisinde bir miktar genişmeye yol açmaktadır. $C_6A\bar{S}_3H_{32}$ (kalsiyum-alümino-trisülfhidrat), ‘Candlot tuzu’ veya daha popüler ismi ile ‘Etrenjit’ olarak anılmaktadır. Etrenjit ismi, bu ürünün doğada aynı isimle anılan bir minerale benzerliğinden kaynaklanmaktadır. Hekzagonal kesitli ve çubuk şekilli etrenjit kristalleri oldukça kararlıdır. Bünyesinde 32 molekül su bulunduran etrenjitin oluşması, çimento hamurunun içerisinde çok büyük genişmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Çimento üretimi için klinkerle birlikte gereğinden daha çok alçı taşı kullanıldığı takdirde, fazla miktardaki SO_3 , çimento hamurunda etrenjit oluşmasına ve hasara yol açmaktadır (Bye, 1983).

C_4AF ana bileşenin hidrasyonunun, C_3A ana bileşenin gösterdiği hidrasyona benzer olduğu belirtilmektedir. C_3A ’nın hidrasyonundaki bir kısım alüminanın yerini demir oksit almaktadır. Ortaya çıkan kalsiyum – alümino – sülfhidrat ürünleri $C_4(A,F)SH_{12}$ ve $C_6(A,F)S_3H_{32}$ kompozisyonuna sahip olmaktadır. Ortamdaki demir oksitin fazlaşması, reaksiyonun daha yavaş yer almasına yol açmaktadır (Bye, 1983).

Çimento üretiminde alçı taşı kullanılmadığı veya gereğinden az kullanıldığı takdirde, C_4AF ana bileşenin göstereceği hidrasyon, C_3A ’nın hidrasyonu kadar şiddetli olmasa bile, oldukça hızlıdır ve büyük miktarda ısı açığa çıkaran türdür. Ani prize yol açabilmektedir. Bu olumsuz durum alçı taşı kullanılarak önlenmektedir (Erdoğan, 2003).

Kalsiyum silikatlar (C_3S ve C_2S) hidrate olmuş çimento hamurunun dayanımından sorumlu en önemli bileşenlerdir. Dayanıma katkısının çok az olmasına karşın, çimentoda C_3A varlığı çimento hamuru sülfat atağına maruz kaldığında kalsiyum sülfalüminat ve etrenjit oluşumuna neden olarak dayanıklılığı olumsuz etkilemesinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Ancak, kireç ve silikanın kombinasyonunu sağladığından çimento üretiminde C_3A oldukça gereklidir. C_4AF çimentoda çok düşük miktarlarda yer alır. Diğer anabileşenler ile kıyaslandığında çimento özelliklerini ciddi oranda etkilemez. Ancak, C_4AF alçıtaşı ile reaksiyona girerek kalsiyum sülfoterit oluşturur ve kalsiyum sülfoterit varlığı silikatların hidrasyonunu hızlandırabilir. Portland çimentosu anabileşenlerinin özellikleri Çizelge 1.5.’te belirtilmiştir (Erdoğan, 2003).

Çizelge 1.5. Portland çimentosu ana bileşenlerinin özellikleri (Erdoğan, 2003)

Bileşen	Reaksiyon Hızı	Hidratasyon Isısı	İlk Dayanıma Katkısı	Son Dayanıma Katkısı
Trikalsiyum silikat, (C ₃ S)	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Dikalsiyum silikat, (C ₂ S)	Yavaş	Düşük	Düşük	Yüksek
Trikalsiyum alüminat, (C ₃ A)	Hızlı	Çok Yüksek	Düşük	Düşük
Tetra kalsiyum alüminoferrit, (C ₄ AF)	Yavaş	Düşük	Düşük	Düşük

Çimentonun erken dayanımı EN 196-1'e göre tayin edilen 2 veya 7 günlük basınç dayanımıdır ve Çizelge 1.6.'da verilen özelliklere uygun olmalıdır. N ile belirtilen normal erken dayanım sınıfı ve R ile belirtilen yüksek erken dayanım sınıfı olmak üzere her bir standard dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanır. Karakteristik değerlerle verilen fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1.6'da belirtilmiştir (TS EN 197-1).

Çizelge 1.6. Karakteristik değerlerle verilen fiziksel ve mekanik özellikler (TS EN 197-1)

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)				Priz Başlama Süresi (dakika)	Genleşme (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük			
32,5 N	-	≥16,0	≥32,5	≤52,5	≥75	≤10
32,5 R	≥10,0	-				
42,5 N	≥10,0	-	≥42,5	≤62,5	≥60	
42,5 R	≥20,0	-				
52,5 N	≥20,0	-	≥52,5	-	≥45	
52,5 R	≥30,0	-				

1.6. Konunun Önemi ve Amacı

Dünyanın birçok yerinde gelişen beton teknolojisi, yeni hammadde arayışları, nakliye mesafeleri ve ekonomik nedenler, betonda farklı katkı maddelerinin kullanımını meydana getirmiştir. Dolomit rezerv potansiyeli içerisinde Türkiye'nin payına bakıldığında; birçok ülkeden geride olduğu, ülkenin bazı kısımlarında dolomit ocaklarının tespit edildiği ancak, ihtiyaçlar doğrultusunda çalışma ve araştırma yapıldıkça yeni yatakların tespit edileceği öngörülmektedir. Reaktivite potansiyeli yüksek olduğu düşünülen dolomitin, kullanım koşullarına göre tasarımda ve uygun dozajda betonda kullanımı üzerine yapılacak çalışmalar neticesinde de kullanım miktarı artabilecektir. Aynı zamanda sanayi gücünün yüksek olduğu Türkiye, sanayi yan ürünleri ve atıkları bakımından da yüksek bir potansiyele sahiptir. Çelik üretiminden oluşan bir atık madde olan yüksek fırın cürufu, hali

hazırda çimento ve beton sektöründe kullanılmaktadır. PVC sektöründen elde edilen atıkların da betonda kullanımı üzerine ise çalışmalar yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında, öncelikle Kahramanmaraş İlinin Hartlap bölgesinde sıklıkla kullanılan dolomit agregalarından standart yöntemlerle örnekler alınmıştır. Alınan dolomit numuneleri hem betonda agrega katkısı olarak kullanılmış hem de uygun şartlarda ve incelikte öğütülerek çimento katkısı olarak da kullanılmıştır. Ayrıca; yüksek fırın cürufu ve pvc atıkları farklı oranlarda kullanılarak harç, hamur ve beton karışımları hazırlanmış, elde edilen numuneler çeşitli deneylere tabii tutulmuştur.

Bu çalışmanın amacı; dolomit, yüksek fırın cürufu ve pvc kullanarak üretilecek betonların dayanım özelliklerinin yanı sıra geçirimsizlik, donma – çözülme, hacimsel genleşme, alkali reaktivitesi gibi durabilite özelliklerini geliştirmektir. Kahramanmaraş İli Hartlap bölgesinde betona agrega katkısı olarak katılan dolomitin betona etkileri üzerine çalışılmış ve kullanılan farklı dozajlar birbiriyle kıyaslanarak optimum dozaj tespiti üzerinde durulmuştur. Ayrıca elde edilen bulguların, ihtiyaca yönelik beton tasarımları için alternatif oluşturabileceği düşünülmüştür. Günümüzde imalatın olduğu birçok sektörde yeni hammadde arayışının mevcut olduğu düşünülecek olursa sektörler içerisinde önemli bir paya sahip olan inşaat sektörünün yapı taşlarından betonda da farklı katkıların kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışmada, dolomit rezervinden ve sanayi atıklarından faydalanarak, betonun ve çimento harçlarının dayanım ve çeşitli dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada dolomit, yüksek fırın cürufu ve PVC katkılı harçlar ve betonlar üretilmiştir. Üretilen numunelerin basınç dayanımı ve durabilite ile ilgili mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Bu konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalar; dolomit, yüksek fırın cürufu ve PVC ana başlıkları altında verilmiştir.

2.1. Dolomit

Gao ve ark. (2007a), genleşen kompozit malzemelerin kullanımı ile betondaki çatlak ve deformasyonların azaltılması yönünde yaptıkları çalışmalarında, Çin Devletinde önemli bir atık sorunu oluşturan ve genleşme özelliğine sahip dolomit, serpentin, magnezit gibi malzemelerin baraj betonlarında kullanılmasıyla rötre deformasyonlarının ve çatlakların azaltılabilirliğini test etmişlerdir. Dolomit, serpentin ve magneziti uygun oranlarda karıştırdıktan sonra 1150-1200 °C’de ısıtıp, doğal ortamda soğutmuş ve öğütmüşlerdir. Kompozit malzemenin MgO oranı %38,31 olup, kullanılan standart tip 42,5 Portland Çimentosundaki MgO oranı ise %3,81 olarak belirtilmiştir. Yapılan X-Ray taramalarında MgO esaslı genleşen karışımın anabileşenlerinin MgO, C₂S ve CaO olduğu tespit edilmiştir. Beton karışımında kullanılan malzemeler ise; 200 kg/m³ çimento, 96 kg/m³ su, 16 kg/m³ genleşen malzeme karışımı (çimentonun %8’i miktarınca), 635 kg/m³ ince agrega (2,5-10 mm), 803 kg/m³ iri agrega (10-20 mm), 720 kg/m³ kum ve 1,4 kg/m³ süperakışkanlaştırıcıdır. Elde edilen beton karışımı, 150 mm çapında 400 mm yüksekliğinde dışı çinko, içi paslanmaz çelik ve dış katmanıyla iç katmanı arasında yalıtım malzemesi bulunan tüp şeklindeki kalıplara konmuştur. Daha sonra, rötre ve genleşme deformasyonları ölçülmüştür. 20 °C’de 28 günlük kür uygulamasından sonra genleşen malzeme karışımının taneciklerinin etrafında yaklaşık 0,5-1 µm uzunluğunda brüsit oluşumu bulunmuştur. MgO esaslı karışımın hidrasyonunun çok yavaş ilerlediği ve 180 günlük kürden sonra MgO’nin %57’sinin brüsit oluşturduğu belirtilmiştir. Genleşen malzemenin kullanılmadığı beton numunelerinde 28 gün sonunda 20x10⁻⁶, 100 gün sonunda ise 40x10⁻⁶ miktarınca rötre deformasyonu olduğu tespit edilmiştir. Rötre ise, dayanım ve durabilitenin azalmasına sebep olmaktadır. Genleşen malzeme karışımının kullanıldığı beton numunelerinde ise, CaO’nin hidrasyonu yüzünden erken yaşlarda rötre olayı nadiren cereyan etmiştir. MgO esaslı genleşen malzemedeki CaO ve MgO’nin suyla olan reaksiyonu sonucunda Ca(OH)₂ ve Mg(OH)₂ oluşmakta, genleşmeye sebebiyet vererek erken ve geç yaşlardaki rötreyi karşılamaktadır. Genleşmelerin başlıca, malzeme

içeriğindeki CaO ve MgO'in hidratasyonundan kaynaklandığı, MgO'in yavaş hidratasyonu sonucunda geç dönem genleşmelerinin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, dolomit, serpentin ve magnezit gibi mineral katkıların baraj betonlarında kullanımıyla rötre deformasyonlarının azaltılabileceği, ancak MgO içeriğinin kontrol altında tutulması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Gao ve ark. (2007b), MgO esaslı, genleşen malzemelerin endüstriyel yan ürün olarak baraj betonlarında kullanılması yönünde yaptıkları çalışmalarında, yan ürün olarak bir önceki çalışmalarındaki gibi dolomit, serpentin ve magnezit kullanmışlardır. Endüstriyel yan ürünün kimyasal içeriğinin yanı sıra, beton numunelerdeki çimento, agrega ve süperakışkanlaştırıcı miktarı önceki çalışmalarıyla aynı olup, çimentonun % 4'ü, % 8'i ve % 12'si miktarınca yan ürün kullanmışlardır. Herbir grup için 3 çift olmak üzere 75x75x280 mm³ ölçülerinde beton numuneler üretmişlerdir. Numuneleri 50 Hz frekansında ve 20 kg ağırlıkta titreşim etkisi altında kalıplayarak sıkıştırılmış baraj betonu elde etmişlerdir. Beton numunelere üç farklı kür koşulu altında kür uygulanmıştır, bunlar: 20 °C'de 1 gün, 20 °C'de 28 gün ve 50 °C'de 1 gün şeklindedir. Yapılan elektron mikroskobu ve X-Ray taraması sonuçlarına göre; kür sıcaklığı ve süresi arttıkça betonda oluşan Mg(OH)₂ (Brüsit)'in miktarında ve boyutunda artış olduğu, çubuklu yapının daha net ortaya çıktığı görülmektedir. CaO'in hidratasyonunun 3 gün içinde tamamlandığı, MgO'in hidratasyonunun çok yavaş ilerlediği ve 20 °C'de 180 günlük kürden sonra MgO'in %57'sinin brüsit oluşturduğu belirtilmiştir. Yan ürün kullanılmayan numunelerde rötre oluştuğu, kullanılanlarda ise oran arttıkça genleşme miktarının arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak; MgO esaslı endüstriyel yan ürün katkılı baraj betonlarında, CaO'in su ile reaksiyona girerek Ca(OH)₂'i oluşturduğu hidratasyon ile erken dönem rötrelerinin; MgO'in su ile reaksiyona girerek Mg(OH)₂'i oluşturduğu hidratasyon ile de geç dönem rötrelerinin önlenebileceği hususu üzerinde durulmuştur.

Zarif ve ark. (2003), İstanbul'daki kireç taşlarını agrega kalitesi yönünden incelemişlerdir. Çalışmalarında kireçtaşlarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerinde durmuşlar ve dolomitik kireç taşlarının kimyasal yapısını belirtmişlerdir. Ömerli-Hüseyinli, Gebze-Tavşanlı ve Şile bölgesinden alınan dolomitlerle Na₂SO₄ 'a dayanıklılık, Los Angeles Aşınma Değeri, yassılık indeksi ve uzunluk indeksi tayini gibi deneyler yapmışlardır. Alkali agrega reaksiyonunun yanı sıra dedolomitizasyon reaksiyonunu da açıklamışlar ve dolomitik kireçtaşları üzerinde alkali agrega reaksiyonunu kimyasal yolla tayin etmişlerdir. TS 2517 (1977) standardına göre yaptıkları deney sonuçlarına göre; çözünen SiO₂

değerleri 10 mmol/lit'nin altında, alkali azalması ise 140 mmol/lit'nin altındadır. Çimento alkalinitesi % 0,6'yı geçen çimentolar kullanılsa bile İstanbul'un Anadolu yakasında yaygın olan dolomitik kireçtaşlarının agrega olarak beton üretiminde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Güleç (1971), yaptığı bir çalışmada genişleyen kayaçlar ve genişleme nedenleri üzerinde durmuş, dolomitin içeriğine ve tane boyutunun reaksiyon hızına etkisine değinmiş; dolomit esaslı agregaların betonda kullanımıyla alkali karbonat reaksiyonu oluşacağını, bu reaksiyonun ise betonda genişlemeye neden olacağını belirtmiştir. Bu durumun olmaması için yapılması gerekenleri sırasıyla; tane boyutu tayini, bileşim ve doku tespiti, alkalide genişleme testi ve beton testleri olarak açıklamıştır.

Kırca ve Şahin (2003), hazır beyaz beton üzerine yaptıkları bir çalışmada, beyaz betonda kullanılan malzemeler, üretim tekniği ve uygulama yerleri üzerinde durmuşlardır. Beyaz betonda, agrega olarak mermer agregası kullanıldığı gibi beyaz dolomitin de kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Gerek dayanım gerek dayanıklılık açısından beyaz betonun performansını artırmak için kullanılan mineral katkılardan biri olarak beyaz dolomit tozunun da betona katılmasını önermişlerdir.

Yüzer ve ark. (2001), yangına maruz yapılarda betonun basınç dayanımı-renk değişimi ilişkisini inceledikleri çalışmalarında; agregaların yüksek sıcaklıkta betona etkilerinin mineral yapılarına bağlı olduğunu, kalkerli ve dolomitli agregalarda karbonatların 800-900 °C'lerde CaO veya MgO'e dönüşeceğini, sıcaklık yükseldikçe kalker veya dolomitin genleşeceğini, CO₂'in ayrışması ve CaO'in veya MgO'in meydana gelmesi ile büzülme başlayacağını ve bu olaylardaki hacim değişikliklerinin betonda hasara neden olabileceğini belirtmişlerdir.

Mutlu ve ark. (2008), pompalanabilir C100/115 sınıfı beton tasarımı ile ilgili yaptıkları çalışmalarında beton numunelerinden bir kısmında agrega olarak TS 706 EN 12620'ye uygun, Ömerli bölgesi dolomiti de kullanmışlardır. Kalker, dolomit ve kuvarsit kullanılan 450 ve 500 dozlu numunelere uygulanan çökme testi sonuçlarına göre çökme yayılması değerlerinin pompalanabilir beton olarak kullanıma fazla katkı sağlamadığı, ancak aynı numunelere 56 gün sonra uygulanan basınç dayanımı deneyine göre 120-130 MPa aralığında değerler elde edildiği ve basınç dayanımlarının oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir.

Yıldırım ve Yılmaz (2002), Yıldız ırmağı çökeltilerinin beton agregası olarak kullanılabilirliklerini inceledikleri çalışmalarında, birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, aşınma deneyi gibi agrega deneylerinin yanı sıra X-Ray taraması da yapmışlardır. XRD-TK çözümlemesi sonuçlarına göre Yıldız ırmağı çökellerinde ortalama; % 0-5 dolomit, % 5-10 kalsit, % 15-35 kuvars, % 25-35 feldispat, % 0-20 piroksen, % 25-40 kil minerali tespit etmişlerdir. Dolomit ve kalsit minerallerinin Porsuk kireçtaşlarından, kuvars ve feldispat minerallerinin ise çevrede bulunan volkanik ve metamorfik kayalardan geldiğini öngörmüşlerdir. Çökellerdeki dolomit miktarının betona önemli ölçüde zarar vermeyecek düzeyde olduğu, ancak agregaların su emme değerlerinin yüksek, dona dayanıklılık değerlerinin düşük olduğu ve bu yönde önlem alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yaşar ve Erdoğan (2003), Ceyhan (Adana) dolomitik kireçtaşlarıyla üretilen betonda tek eksenli basınç dayanımı üzerine yaptıkları çalışmada, öncelikle Ceyhan yöresi dolomitik kireçtaşlarının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde durmuşlardır. Söz konusu kireçtaşının % $0,64 \pm 0,5$ 'lik porozite değeri ile “çok kompakt” kaya sınıfında yer aldığı ve $49,20 \pm 1,70$ lik Schmidt çekici değeri ile “çok sert kaya” sınıfında bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi için su/çimento oranı %30, %40 ve %50 olarak alınmış ve her su/çimento oranı için agrega boyutu 0-5, 0-10, 0-20, 5-10 ve 10-20 mm olan farklı numuneler hazırlanmıştır. Her bir tür numunenin 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Su/çimento oranı 0,4 olan numunelerin 28 günlük kür sonuçlarında %20 basınç dayanımında artış olduğu ve su/çimento oranı azaldıkça basınç dayanımında artış olduğu ancak işlenebilirliğin azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, agreganın incelik modülü düştüğünde incelik oranının arttığı ve özgül yüzey arttığından işlenebilirliği etkilediği, tane yüzeyinin ıslatılması ve kolay işlenebilirlik açısından ihtiyaç duyulan suyun ince taneli agregalarda arttırıldığı belirtilmiştir.

Konak ve ark. (1999), yapmış oldukları çalışmada, çok kırıklı mermer sahalarının agrega olarak kullanılabilirliğini teknik açıdan incelemişlerdir. İzmir-Torbalı-Tulum mermer sahasının baz alındığı çalışmada; ocağın çok kırıklı, blok vermeyen ve mermer imalatına uygun olmayan bir ocak olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu ocaktan alınan numuneler üzerinde elek analizi, kimyasal analiz ve X-ray taraması deneyleri yapılmıştır. Elek analizi sonuçlarının TSE 706'ya uygun olduğu, kimyasal analiz sonuçlarına göre suda çözünen klorun 1,5 ppm olduğu, asitte çözünen sülfatın bulunmadığı, beton kalitesini düşüren Cl ve SO_4 'ün istenilen değerlerin altında olduğu, ayrıca MgO, Fe_2O_3 gibi oksidasyona açık bileşenlerin numune içindeki oranlarının oldukça düşük olduğu belirtilmiştir. X-Ray

taraması sonuçlarına göre ise, numunenin % 3-5 oranında dolomit içerdiği ve kil minerallerine rastlanmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre mermer olarak kullanılması mümkün olmayan malzemenin betonda agrega olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

2.2. Yüksek Fırın Cürufu

Dorum ve ark. (2009), yüksek fırın cürufunun çimento yüzey özelliklerine ve hidratasyona etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, Ereğli Demir Çelik Tesisinden temin edilen yüksek fırın cürufu katkılı ve portland çimentolu harçlar üretmişlerdir. Portland çimentosuna ağırlıkça %20 oranında YFC ikame edilmiş; PÇ ve YFC'nun fiziksel analizleri TS EN 196-6'ya göre, kimyasal analizleri X-Ray Spektrometresine göre yapılmış ve minerolojik özellikleri ise XRD cihazı ile belirlenmiştir. Çimento hamuruna uygulanan XRD ile hidratasyon gelişimi deneyine göre, özellikle 2. ve 7. hidratasyon günlerinde CH miktarının YFC katkılı çimento ile hazırlanan numunelerde PÇ ile hazırlanan numunelerdekinden daha az olduğu tespit edilmiştir. TS-EN 196-1'e göre yapılan basınç dayanım deneyi ve TS EN 196-3'e göre yapılan priz süresi tayini deneylerine göre, YFC katkılı çimento ile hazırlanan numunelerde priz başlama ve bitiş sürelerinin PÇ ile hazırlanan numunelere göre arttığı, erken dayanımın ise yine PÇ ile hazırlanan numunelere nazaran düşük olduğu görülmüş, bu dayanımın daha sonraki yaşlarda artacağı öngörülmüştür.

Gesoğlu ve ark. (2008), kendiliğinden yerleşen betona mineral katkıların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında; uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC) ve metakaolinin (MK) çimento ile tek, ikili ve üçlü olarak yer değiştirdiği 22 farklı karışım tasarlamışlardır. UK ve YFC % 20, 40 ve 60, metakaolin ise %5, 10 ve 15 oranlarında çimento ile ağırlıkça ikame edilerek kullanılmış, taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun portland çimentosu ile tek ve ikili kullanımının KYB'ların taze özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdikleri görülmüş, MK'in tek kullanımlardaki olumsuz etkisi UK ve YFC ile ikili ve üçlü kullanımlarda giderilebilmiştir. UK ve YFC'nun portland çimentosu ile tek kullanımlarının KYB'ların priz başlangıç ve bitiş sürelerini kontrol betonuna göre önemli ölçüde uzattığı, aynı durumun MK kullanılan tekli sistemlerde de görüldüğü, fakat priz sürelerindeki artışın UK ve YFC kullanılan betonlara oranla çok daha az olduğu belirlenmiştir.

Binici ve ark. (2010), barit, kolemanit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza içeren betonların dayanım ve dayanıklılığını inceledikleri çalışmalarında, katkıların

çimento ile yer değiştirme yüzdelere göre 13 farklı numune hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde basınç, sülfat, aşınma dayanımı, donma-çözülme direnci ve permeabilite özellikleri araştırılmıştır. YFC katkılı betonlar sülfat etkisine karşı önemli ölçüde direnç göstermiş, aşınma dayanımında ise olumlu sonuçlar alınmıştır. YFC katkılı betonlarda ise agrega çimento ara yüzeyi daha homojen ve yoğun olduğundan, bağlantılar daha kuvvetli ve boşluk miktarı daha az olması, permeabilite değerlerinin düşük olmasını sağlamıştır.

Özkan (2006a), granüle yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu ve klinker-alçı karışımı kullandığı çalışmada, farklı ve birlikte ikame edilmiş çimento karışımları üretilmiştir. Üretilen çimentoların fiziksel, mekanik ve kimyasal etkileri araştırılmıştır. Beton numuneleri üretilerek farklı günlerdeki basınç dayanımları test edilmiştir. İki katkının da birlikte ya da ayrı ayrı kullanılmasıyla priz süresini geciktirdiği görülmüştür. Granüle yüksek fırın cürufunun ileri yaşlarda daha fazla dayanım kazandırdığı, çelikhane cürufunun ise dayanım kaybına uğradığı görülmüştür. Her ikisi de sülfat etkisine karşı daha dayanıklı sonuçlar vermiştir.

Özkan (2006b), iki farklı renkte camın tek başlarına ve yüksek fırın cürufu ile çimentonun farklı oranlarda yer değiştirilmesiyle harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen harçların ASR yönünden genleşme ölçümleri, basınç dayanımı, NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları araştırılmıştır. Basınç dayanımında % 10 renksiz cam-yüksek fırın cürufu yer değiştirmesinde en yüksek sonuç elde edilmiştir. Diğer dayanıklılık deneylerinde ise bütün yer değiştirme oranlarında referanstan yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Canpolat ve Yılmaz (2002), farklı türde puzolan katkılı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığını inceledikleri çalışmalarında; zeolit, silis dumanı ve volkanik cüruf, yüksek fırın cürufu gibi puzolanların bünyesindeki aktif silisyumdioksit (SiO₂) sayesinde çimento hidratasyon ürünlerinden serbest kireci bağlayacağını, suda erimeyen kalsiyumsilikathidrate (C-S-H) jeli oluşturacağı ve CH'in erimesini önleyeceği belirtilmiştir. Külün, çok ince oluşu nedeni ile çimento hamuru-agrega arayüzünü ve kılcal boşlukları tıkayacağı, boşlukların küçülmesine ve kılcal boşlukların kesilmesine neden olacağı, ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştireceği; bunun sonucu olarak su veya sülfat iyonlarının kütle içine difüzyonunun zorlaşacağı, su ve sülfat etkisine karşı dayanıklılığın artacağı tespit edilmiştir.

Erdoğdu ve Kurbetci (2003), kimyasal ve mineral katkı maddelerinin betonun performansına sağladıkları etkileri araştırdıkları çalışmalarında, Yüksek fırın cürufunun; esas itibariyle silis, kalsiyum aluminosilis ve bazık esaslı bileşikler içeren ve yüksek fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir atık ürünü olduğu belirtilmiştir. Yüksek fırın cüruflarının kimyasal bileşimlerinin ve özelliklerinin elde edildikleri ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak farklılık göstereceği; ayrıca, kalsiyum içeriklerine ilave olarak, tane boyutu ve karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranı, yüksek fırın cüruflarının aktivitelerinde etkin olan temel faktörler olarak ifade edilmiştir. Tane boyutu kldk, betonun erken dayanım gelişimine sağladıkları katkının artacağı, tane boyutu 45  m'den daha büyük olan cüruf taneciklerinin hidratasyonu zorlaştığı için betonun dayanım gelişimine katkı sağlamalarının doğal olarak mümkün olmayacağı tespit edilmiştir.

Bilim (2006), yüksek fırın cürufu katkısının imento tabanlı malzemelerde kullanılabilirliğini araştırmıştır. 350, 400 ve 450 kg/m³ imento dozajı ve 0.30, 0.40 ve 0.50 gibi üç ayrı su/bağlayıcı oranlarında hazırlanan beton karışımları için sırası ile %0 (kontrol betonu), %20, %40, %60 ve %80 oranlarında cüruf yer değişimi yapılarak birbirinden farklı 45 beton karışımı elde edilmiş ve beton deneyleri yapılmıştır. Harç karışımlarının kum/bağlayıcı oranı 2.75 olup, su/bağlayıcı oranları ise sırasıyla 0.30, 0.40 ve 0.50'dir. Yüksek fırın cürufunun, ağırlıkça imento ile yer değişim oranları da, her bir su/bağlayıcı oranı için beton numunelerdekiyle aynı seçilmiştir ve harç numuneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Cüruf katkılı betonların ilk zamanlardaki mukavemet gelişimleri yavaş olmakla birlikte, cüruf katkısının beton basınç dayanımına olumlu etkisi, ilerleyen yaşlarda daha da belirginleşmekte olduğu ve normal bakım koşullarında bu etkinin, 28. günden sonra kendini gösterdiği belirtilmiştir. Kr şartlarının artan su/bağlayıcı oranı ile daha da belirginleştiği, düşük su/bağlayıcı oranlı kuru kür edilmiş cüruf numuneler ile kıyaslandıklarında, yüksek su/bağlayıcı oranına sahip kuru kür edilmiş cüruf katkılı numunelerin kendi şahitlerine oranla daha fazla dayanım kaybı gösterdiği tespit edilmiştir. Su/bağlayıcı oranı 0.30 olan harçlarda, yapılan %20 ve %40 cüruf ikamelerinin, 28. günden sonra karbonatlaşma değerlerinde şahitlerine oranla düşüşler meydana getirdiği, öte yandan, 0.40 ve 0.50 su/bağlayıcı oranlarına sahip harçların karbonatlaşma değerlerinin ise, tüm ikame oranları için şahitlerine göre daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Beycioğlu ve ark. (2008), endüstriyel atıkların inşaat sektöründeki kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, Türkiye'de demir-elik üretimi esnasında elde edilen atık granüle

yüksek fırın cürufu miktarının, yaklaşık olarak 690.000 ton/yıl olduğunu, bunun yüksek fırında kok kömürünün karbonu, cevherinin demir oksitindeki oksijenle birleşerek CO ve CO₂ gazları olarak fırını terk ederken, sıcaklık 1400-1600 °C dereceyi bulduğunda hafif olmasından dolayı ham demirin üzerinde yer alan demir filizi gangi, kok ve kireç taşının yanma sonrası atıklarından oluşan puzolanik malzeme olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek fırın cürufunun taze betonda işlenebilmeyi, sertleşmiş betonda sülfat dayanıklılığını artırdığını; taze betonun priz süresini uzatıp, betondaki terlemeyi, hidrasyon ısısını ve su geçirimsizliğini azalttığını tespit etmişlerdir.

Aşık ve ark. (2005), alkali agrega reaksiyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında, çimento pastasında bulunan alkali hidroksitlerle agregada mevcut aktif minerallerin reaksiyonu sonucu oluşan alkali-silika reaksiyonunun beton yapılarda çatlaklara ve deplasmanlara yol açabilecek genişleyebilen bir jel oluşturacağı üzerine durmuşlar ve ASR'nin oluşum reaksiyonlarını açıklamışlardır. Portland çimentosu (PÇ 42,5) ile uçucu kül, tras, pomza ve cüruf, çimento miktarının %10, %20 ve %30 'u oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Ayrıca PKÇ/B 32,5 R ve PÇ 42,5 çimentolarıyla katkısız üretimler yapılmıştır. Harç çubuklar Kanada CSA A23.2-25A Hızlandırılmış Harç Çubuk Metoduna göre 25*25*285 mm boyutunda, su/çimento oranı 0,47 ve agrega/çimento oranı 2,25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Örnekler dökümden 24±2 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. İlk boy ölçümleri yapıldıktan sonra 80 °C'deki saf suya yerleştirilmiştir. Suda 24±2 saat bekledikten sonra tekrar boy ölçümleri yapılmıştır. Bu aşamadan sonra örnekler hazırlanan 80°C° 1 N NaOH çözeltisi içinde 14 gün bekletilmiştir. 14 gün sonunda yapılan son ölçüm alınarak, genleşme miktarı hesaplanmıştır. Cüruf ve tras kullanımı durumunda %20-30 kullanım yüzdelerinin faydalı sonuçlar sağladığı, mineral katkı kullanımı durumunda kullanım yüzdesinin artmasıyla ASR'nin olumlu yönde etkilendiği tespit edilmiştir.

Erdoğan ve ark. (2004), Karabük cürufu kullanarak yaptıkları çalışmalarında, portland çimento klinkeri, alçı taşı, Karabük cürufu, kolemanit konsantratör atığı ve sodyum karbonat kullanarak farklı karışım yüzdelerinde çimentolar hazırlamış, harçlar üretmişlerdir. Le Chatelier halkası ile hacim genleşmesine bakılmış, TS 24'e göre normal kıvam suyu ve priz süreleri araştırılmıştır. Sodyum karbonatın çimentoya katkı maddesi olarak ilavesinin uygun olmadığı, kolemanit konsantratör atıklarının ve Karabük cürufunun çimento katkı maddesi olarak belli oranları aşmamak kaydıyla değerlendirilebileceği, çimento üretiminde enerjiyi ve maliyeti düşürebileceğini belirtmişlerdir.

2.3. Poli Vinil Klorür (PVC)

Şahin ve ark. (2007), atık pvc katkılı hafif betonlarla ilgili yaptıkları çalışmada, agrega olarak Van-Erciş yöresinden elde edilen volkanik kökenli, beyaz ve kirli beyaz renkte olan pomza taşı ile pvc atıklarını kullanmışlardır. PVC atıkları, karışımdaki toplam iri hafif agrega ağırlığına oranla % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında kullanılarak 200 ve 250 kg/m³ dozajlı, 150x300 mm ölçülerinde, her seriden 3'er adet olmak üzere silindirik beton örnekleri üretilmiştir. Hazırlanan karışımlar silindirik kalıplara yerleştirilerek laboratuvar koşullarında 1 gün saklanıp kalıptan çıkarıldıktan sonra, kür havuzuna konulmuş ve üretim tarihini izleyen 28 günün sonunda birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve su emme gibi fiziksel ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Sertleşmiş beton örneklerinin basınç dayanımları, 200 ton yükleme kapasitesine sahip kalibrasyonlu hidrolik pres kullanılarak belirlenmiştir. Atık PVC agregasının 200-250 kg/m³ çimento dozajıyla düşük ve orta dayanımlı yalıtım ve dolgu betonu üretimi için uygun olduğu, aynı zamanda PVC agregasının ilave edilmesiyle elde edilen malzemenin tarımsal yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlarda kullanılarak bazı yapı malzemelerine oranla daha iyi ısı yalıtımı elde edilebileceği belirtilmiştir. Çünkü PVC agregası ilavesi ile su emme miktarı azaldığından, malzemenin mekanik ve ısı özellikleri de olumlu yönde etkilenecektir. Elde edilen örneklerin basınç dayanımları duvar malzemesi için yeterli düzeyde olduğundan, tarımsal yapılarda fazla dayanımın gerektirmediği uygulamalarda, ısı yalıtımını yükseltmesi nedeniyle özellikle çevre koşulları kontrolünün önemli olduğu hayvan barınaklarında, depolama yapılarında ve konutlarda kullanılmasının yarar sağlayabileceği üzerinde durulmuştur. Atık PVC'nin betonda kullanılmasıyla çevreye olumsuz etkisinin bu şekilde azaltılarak yararlı hale getirilmesi, hem ekonomik olarak hem de çevre kirliliği yönünden önemli olduğu tespit edilmiştir.

Choi ve ark. (2005), beton üretiminde hafif agrega olarak Pet (Polyethylene terephthalate) şişesi atıklarını kullandıkları çalışmalarında; su/çimento oranını %45, %49 ve %53 olarak almışlar ve her oran için ince agrega yerine, %0, %25, %50 ve %75 oranlarında pet şişe atıklarını kullanmışlardır. Slump değerinin artışının, su/çimento oranının artışı ve ikame oranına bağlı olduğunu; basınç dayanımındaki artışın ise agrega ikame oranıyla ve su/çimento oranıyla ters orantılı olduğu belirtilmiştir. Yarmada çekme dayanımındaki artışın da basınç dayanımındaki gibi, agrega ikame oranıyla ve su/çimento oranıyla ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. %50 ikameli numunenin eğilme dayanımının referans numunesinin dayanımının %32.8'i değerinde olduğu da belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3. 1. Materyal

3.1.1. Dolomit

“Dolomite” terimi 18. yüzyılda yaşamış ve bu mineral hakkında çalışmalar yapmış olan Fransız Mühendis D. Dolomieu’nun anısına verilmiştir. Dolomit; kireçtaşı (CaCO_3), Ca ile beraber Mg’un yer alması ile oluşan bir mineraldir. Özgül ağırlığı Mg oranına bağlı olarak 2,71 ile 2,87 ton/m³, sertliği ise 3,5-4 arasındadır.

Dolomit, hem bir minerali ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) hem de bu minerali ana bileşen olarak içeren kayacı tanımlarda kullanılan bir sözcüktür. Dolomit minerallerinin oluşturduğu kayalara “Dolotaşı” adı da verilmektedir. Bu kayaların oluşumu dolomitlerin doğrudan kimyasal bir çökeltme ile değil kireçtaşlarının magnezyum bakımından zengin suların etkisi altında oluştuğu bilinmektedir. Aşırı buharlaşmanın olduğu denizden bir yükselti ile ayrılmış yarı kapalı ortamlarda suyun magnezyum bakımından giderek zenginleşmesi, tabana çökmüş kalsitten ibaret çamurun bu yoğun çözeltilerle etkileşmeye girerek dolomitleşmesi mümkün olabilir.

Kalker, en çok rastlanan CaCO_3 mineralidir. Kendisine çok benzeyen aragonitten kristal sistemi ile ayrılır. Kristal sistemindeki farklılıktan dolayı da iki mineral arasında yoğunluk ve sertlik farklılıkları oluşmuştur. Dolomit ise kalkerlerden CaO’in yerini kısmen veya tamamen MgO’in almasıyla oluşur. Bu yüzden bileşimi açısından kireçtaşları ile ilişkili olup yanarda ve düşeyde daima kireçtaşları ile geçişlidir. Karbonatlı kayalar, bünyesindeki kalker ve dolomit oranlarına göre sınıflandırılırsa:

- %10’dan az kalker, %90’dan fazla dolomit; dolomit,
- %10-50 kalker, %50-90 dolomit; kalkerli dolomit,
- %50-90 kalker, %10-50 dolomit; dolomitik kalker,
- %90-95 kalker, %5-10 dolomit; Mg’lu kalker,
- %95’den fazla kalker, %5’den az dolomit; kalker şeklinde sınıflandırılmaktadır (DPT Raporu, 2001).

Dolomit, eşkenar üçgen kristal yapısındadır. Kristal yapısında, Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları, bir eksen üzerinde farklı biçimlerde dizilirler. Dolomit kafes yapısı tıpkı kalsit kafes yapısı

gibidir, yalnız Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları eksen boyunca değişerek dizildikleri için simetri azalmıştır. Bir mineralin dolomit olup olmadığını anlamak için kafes yapısı araştırılmalıdır.

Dolomit safsızlık olarak %3-4 oranında Mn^{+2} da içerebilir. Fakat buna her zaman rastlanmaz; ayrıca safsızlık olarak Co^{+2} ve Ba^{+2} da dolomitte bulunabilir. Co^{+2} , Mg^{+2} , un yerini alır ve bazı dolomitlerde %7.5'a kadar ulaşabilir. Ba^{+2} içeriği ise %1'den fazla değildir. Bazı dolomit yataklarında safsızlık olarak Zn^{+2} ve Pb^{+2} 'a rastlanır. Bu durumda $(\text{Ca,Pb}) (\text{Mg,Zn,Fe,Co,Mn}) (\text{CO}_3)_2$ formülünde görüldüğü gibi Pb^{+2} , Ca^{+2} 'un yerini; Zn^{+2} , Fe^{+2} , Co^{+2} , Mn^{+2} da Mg^{+2} 'nin yerini almıştır. Dolomitin kimyasal bileşimi genelde CaO : % 30.4, MgO : % 21.9, CO_2 : % 47.7 şeklindedir. CaO ve MgO içeriği dar sınırlar içinde değişir. Dolomit yapısında, SiO_2 ve türevlerini safsızlık olarak içerir. Bunlar başlangıçta, yani kalker evresinde daha çoktur. Fakat bunlar kararsız bileşikler olduğu için, dolomitleşme sırasında bozunur ve yapıdan kısmen ayrılır. Karbonatlı kayaç minerallerine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Karbonatlı kayaç minerallerine ait fiziksel ve kimyasal özellikler (Dal, 2005)

Mineraller	Kimyasal Formülü	CaO %	CO ₂ %	MgO %	Sertlik -	Yoğunluk g/cm ³	Renk -
Kalker	CaCO_3	56,0	44,0	-	3,0	2,7	Beyaz-gri
Aragonit	CaCO_3	56,0	44,0	-	3,5-4,0	2,9	Beyaz
Dolomit	$(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$	30,4	47,7	21,9	3,5-4,0	2,8-2,9	Beyaz-gri

3.1.1.1. Dünya ve Türkiye dolomit rezervleri

Sedimanter (tortul) kayaçlar yeryüzünün yaklaşık % 75'ini kaplamaktadır. Böylesine geniş bir yayılım gösteren sedimanter kayaç grubunun ne kadarını karbonat kayaçların oluşturduğu bilinmemektedir. Bunun yanında karbonat kayaçların oluşumunun Prekambrien (yeryüzü tarihinde birinci çağdan daha eski dönem) 'den başlayıp günümüze kadar devam ettiği düşünülecek olursa bu tip kayaçların, dolayısıyla dolomit mevcudiyetinin çok büyük boyutlarda olduğu ortaya çıkmaktadır.

Dolomit, Dünya'da ve Türkiye'de oldukça geniş bir yayılıma sahip olup rezerv problemi olmayan bir mineraldir. 120 milyon ton civarında olan dünya üretiminin yarıya yakını ABD'de gerçekleştirilmektedir. ABD'nin dışında İngiltere, Avusturya, Belçika, Japonya, Polonya, İspanya, Kanada, Brezilya, Almanya ve Avustralya yılda 1 milyon tonun üzerinde dolomit üreten ülkelerdir. Dünyanın farklı yörelerinde dolomit ithalatı ve ihracatı yapılmaktadır. Belli başlı dolomit ihracatçısı ülkeler arasında; Belçika, Kanada, Güney

Kore, Tayvan, Tayland gelmektedir. Dünya'da 3 milyon tonun üzerindeki ihracatın 2 milyon tonunu Belçika ve Kanada yapmaktadır. 2 milyon ton civarındaki ithalatın ise 1,3 milyon tonu Japonya tarafından yapılmaktadır. Japonya'yı Fransa, İngiltere, İspanya gibi ülkeler takip etmektedir. Dünyadaki belli başlı üreticiler ve üretim miktarları Çizelge 3.2.'de verildiği gibidir (DPT Raporu, 1995).

Çizelge 3.2. Dolomit üreticisi belli başlı ülkeler ve üretim miktarları (DPT Raporu, 1995)

Ülke	Üretim (x1000 Ton)
Polonya	6.361
Belçika-Lüksemburg	3.300
Hindistan	1.887
Macaristan	1.200
Avustralya	750
Arjantin	324
Mısır	500
İspanya	3.150
Çin	489
İngiltere	15.800
Almanya	5.000
Çek C. - Slovakya	3.000
Fransa	1.500
İtalya	1.000
Danimarka	25
Finlandiya	1.290
İsveç	550
Norveç	480
ABD	48.000
Kanada	538
Meksika	454

Dolomit Türkiye'de kambrien (birinci çağ)'den tersiyer (üçüncü çağ)'e kadar oldukça uzun bir yaş aralığında bulunur. Coğrafik olarak da oldukça yaygındır. Hemen hemen her yörede az veya çok miktarda dolomite rastlamak mümkündür. Dolomit, kireçtaşlarında Ca'un yerini kısmen Mg'un alması ile oluşur. Bu yüzden bu iki kayaç grubu daima birarada bulundukları gibi birinden diğerine de kolaylıkla geçiş gösterirler. İyi bir dolomitte MgO miktarı % 20 civarında olmaktadır. Türkiye'de bulunan dolomitler sanayide kullanılabilir nitelikte olup genellikle demir içerikleri düşüktür.

Ülkemizde dolomit, coğrafik olarak oldukça geniş bir yayılım göstermektedir. Buna rağmen dolomit etüdleri devam ettirildiği sürece ortaya daha çok sayıda dolomit yataklarının çıkacağı da açıktır. En azından mevcut yataklar ülke ihtiyacını uzun yıllar

rahatlıkla karşılayabilecek durumdadır. Günümüzde üretim yapılan veya yapılmayan değişik büyüklükte birçok dolomit yatağı mevcuttur. Çizelge 3.3'te Türkiye dolomit yatakları ve rezervleri verilmektedir (DPT Raporu, 2001).

Çizelge 3. 3. Türkiye dolomit yatakları ve rezervleri (DPT Raporu, 2001)

Bölge	MgO (%)	Rezerv (x10 ³ ton)
Kırklareli-Dereli	18-21	10920 (Görünür+Muhtemel)
Malatya-Hekimhan-Zorbehan	20-21	122 (Görünür)
Zonguldak-Alaplı-Ormanlı	16-20	393 (Muhtemel)
Zonguldak-Eflani		95 (Görünür+Muhtemel)
Zonguldak-Devrek		20 (Görünür+Muhtemel)
Marmara Adası	20-21	40 (Görünür+Muhtemel)
Hatay-Harbiye	19	880 (Görünür+Muhtemel)
Gaziantep-Fevzipaşa	18	
İçel-Gülnar-Aydıncık	19-20	
İçel-Kurudere		
Konya-Yunak-Kocayazı		10 (Muhtemel)
İzmir-Karaburun-Çeşme	20-21	684000 (Görünür+Muhtemel)
İzmir-Torbalı-Cumaovası	17-21	7919 (Görünür+Muhtemel)
Antalya-Akseki	19-20	500 (Görünür+Muhtemel)
İstanbul-Şile		9932 (Görünür+Muhtemel)
Kocaeli-Gebze		621455 (Görünür+Muhtemel)
Çankırı-Eskipazar-Sofular	18-21	236520 (Görünür+Muhtemel)
Bartın-Kurucası	15-21	335000 (Görünür+Muhtemel)
Hatay-Payas	20	24500
Antalya (Komdullak)		50000
Aydın-Karataş		200000
Bursa-Köybaşı		5000
Eskişehir-Kaşhöyük		3000
Gümüşhane-Spelea deresi		1000000
Zonguldak-Balıkısık		4000

Türkiye’de dolomit açısından en zengin bölgeler Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz bölgeleridir. İşletilmekte olan en zengin dolomit ocağı İçel’dedir. Bunun dışında Hatay, Malatya, Muğla ve Kırklareli illerinde de çok zengin dolomit yatakları bulunmaktadır. Dolomit açısından en fakir bölgeler, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleridir. Fakat bu bölgelerde yeteri kadar ön araştırma yapılmış değildir. (Dal, 2005).

Dolomitin kullanım alanları arttıkça, yeni dolomit yatakları da araştırılıp bulunacaktır. Türkiye’deki önemli dolomit yatakları Şekil 3.1.’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Türkiye dolomit, magnezyum ve barit yatakları haritası (www.mta.gov.tr)

3.1.1.2. Dolomitin kullanım alanları

Fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak dolomitin 30'dan fazla kullanım alanı vardır. Dolomitin kullanım alanlarından en önemlisi refrakter malzeme imali ve kalsine edildikten sonra çelik üretiminde istenmeyen safsızlıkların cürufa geçmesini sağlamak amacıyla flux olarak kullanımıdır. Bu nedenle dolomitin en çok kullanıldığı endüstriler cam, refrakter ve demir-çelik sanayidir. Dolomit; çimento üretiminde, dolomitik sönmemiş kireç, cam ve soda üretiminde hammadde; demir çelik sanayiinde sinter; yüksek fırınlarda refrakter malzeme ve cüruf artırıcı eleman olarak birçok sanayi dalında bileşenlerine bağlı olarak kullanılmaktadır.

Dolomit, fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak endüstride birçok alanda kullanılır. Isıl işlem görmüş dolomit refrakter sanayinde tuğla ve harç üretiminde kullanılırken, ham dolomit;

- Yol inşaatlarında mıcır ve beton yapımında dolgu maddesi olarak,
- Ziraatte, gübre yapımında dolgu maddesi olarak ve toprak ıslahında,
- Cam ve soda sanayinde üretimde MgO kaynağı olarak,
- Boya sanayinde dolgu maddesi olarak,
- Seramik sanayinde seramik bünye ve sırlarında,
- Kimya sanayinde beyazlatıcı ve ferrosilikon imalinde,
- Suyun filtrasyonunda,

- Deniz suyundan MgO üretimi sırasında katkı maddesi olarak,
- Demir-Çelik sanayinde demir cevherinin sinterleştirilmesinde, çelik üretiminde cüruf yapıcı ve refrakter tuğlaları koruyucu olarak kullanılmaktadır (Kurt, 2010).

Son zamanlarda refrakter olarak yüksek fırınların astarlanmasında ateşe dayanıklı tuğla yapım sırasında manyezitin yerini dolomit almış bulunmaktadır. Yurtiçinde ise refrakter malzeme olarak dolomit, ilk olarak 1954 yılında T.D.Ç. İşletmelerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise bu maksatla bazik usulle çalışan bütün dökümhanelerde kullanılmaktadır. Demir-Çelik sanayiinde flux olarak kullanıldığında cüruf yapıcı özelliğinin yanında başta kükürt olmak üzere istenmeyen empüritelerin cürufa geçmesini temin etmesi ile çok önemli bir hammadde özelliğindedir. Çizelge 3.4.'te dolomitin kullanım alanları gösterilmiştir (Kurt, 2010).

Çizelge 3.4. Dolomitin kullanım alanları (Kurt, 2010)

Ana Sektör	Kullanım Alanı	Kireç Cinsi	Kullanma Amacı	Türkiye’de Kullanımı
Seramik	Refrakter	Sinter dolomit, sönmüş kireç	Dolomit tuğla üretiminde, silisli tuğla üretiminde	Var
	Cam	Dolomitik kireç	Cam üretiminde flux olarak	Var
	Diğer	Sönmüş ve sönmemiş kireç	Emaye, porselen eşya üretiminde	Var
Metal	Demir dışı metaller	Dolomitik kireç	Metalik magnezyum üretiminde	Yok
Kimya	MgO	Dolomitik kireç	Deniz suyundan MgO üretiminde	Yok
	CMA	Dolomitik kireç	Yollarda buzlanmayı önleyen kalsiyum magnezyum asetat üretiminde	Yok
Çevre	İçme suyu arıtma	Dolomitik sönmüş kireç	Sudaki silisin, manganın, floridlerin ve organik taninin giderilmesinde	Yok

Dolomitin betonda kullanımıyla ilgili olarak; dolomit, serpentin, magnezit gibi genleşen malzeme karışımının kullanıldığı beton numunelerinde, CaO’ın hidratasyonu yüzünden erken yaşlarda rötre olayının nadiren cereyan edeceği öngörülür. MgO esaslı genleşen malzemedeki CaO ve MgO’ın suyla olan reaksiyonu sonucunda Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 oluşmakta, genleşmeye sebebiyet vererek erken ve geç yaşlardaki rötreyi karşılamaktadır. Rötre ise, dayanım ve durabilitenin azalmasına sebep olmaktadır. Genleşmelerin başlıca, malzeme içeriğindeki CaO ve MgO’ın hidratasyonundan kaynaklandığı, MgO’ın yavaş

hidratasyonu sonucunda geç dönem genleşmeleri ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, dolomit, serpentin ve magnezit gibi mineral katkıların baraj betonlarında kullanımıyla rötre deformasyonları azaltılabilir, ancak MgO içeriğinin kontrol altında tutulması gerekmektedir (Gao ve ark., 2007a).

Deneysel çalışmalarda kullanılan dolomit, Kahramanmaraş İlinin Hartlap bölgesinden temin edilmiştir. Beton numunelerde elenmiş şekilde agrega katkısı olarak kullanılan dolomit, harç numunelerde öğütülmüş şekilde çimento yerine farklı oranlarda katılarak kullanılmıştır. Öğütme işlemi, Kipaş holding KÇS çimento tesisi laboratuvarlarında 1150-1200 °C'de ısıtıldıktan sonra 3500 blaine (cm²/gr) inceliğinde yapılmıştır. Dolomitin kimyasal analizi ise yine KÇS Çimento tesisi laboratuvarlarında yapılmıştır (Çizelge 3.5.).

Çizelge 3.5. Dolomitin kimyasal analizi

Bileşenler (%)	Dolomit
SiO ₂	1,76
Al ₂ O ₃	0,82
Fe ₂ O ₃	0,46
CaO	30,8
MgO	20,34
Kızdırma Kaybı	45,2
Ölçülemeyen Değer	0,62

3.1.2. Poli vinil klorür (PVC)

PVC, yaygın deyiimi ile "vinil" , (Polyvinyl Chloride) kelimesinin kısaltılmış şeklidir ve polimer zincirinde klor atomu taşıyan ender termoplastiklerdendir. Klor içermesi nedeni ile PVC'nin alev alma sıcaklığı yüksektir, alev tuttuğunda kendiliğinden hemen söner. PVC çok yüksek sıcaklıklarda termal olarak kolaylıkla bozulur ve korozif bir gaz olan hidroklorik asit çıkartır. PVC, diğer polimerlere kıyasla daha fazla miktarda ve çeşitte katkı maddesi ile karıştırılabilir. Bu nedenle de, PVC plastik malzemenin maliyeti nispeten düşüktür; genel ve çok amaçlı kullanım sağlar. PVC, Polietilen'i takiben en çok kullanılan bir polimer türüdür.

PVC'nin de dahil olduğu termoplastik polimerler, ısıtıldıkları zaman yumuşar ve akar, soğutulunca sertleşirler, katılaşır. Bu olay termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Bu şekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Genel de polimerizasyon adı verilen kimyasal işlemle elde edilirler. Yüksek sıcaklıklarda zincirler arası bağlar zayıflar. Pek çok termoplastik yapıdaki polimer'ler lineer polimer şeklindedir ve bir miktar da dallı yapıdadırlar. Epoksi reçine gibi malzemelerin dahil olduğu termoset

polimerlerde ise, ısıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelir. Bir daha asla tekrar tekrar ısıtılıp sertleştirilemezler. Bu durum, yumurtanın pişirildikten sonra katılaştırılıp yeniden yumuşatılamaması durumuna benzerdir. Genelde, polikondenzasyon yöntemi ile üretilirler. Isıtma esnasında kovalent çapraz bağlanma oluşmuştur. Bu tip bağlanma eğme ve dönme hareketlerini engeller. Daha sert ve aynı zamanda gevrektiler (Saçak, 2005).

3.1.2.1. PVC'nin üretimi

PVC, petrol (veya doğalgaz) ile tuz'dan petrokimya tesislerinde üretilen, formülü $-(CH_2-CH_2)$ olan bir polimer türüdür. Bu polimer, çeşitli katkı maddeleri ile harmanlandıktan sonra yüksek sıcaklıklarda şekillendirilerek plastik haline getirilir ve kullanılır.

PVC, 19. yüzyılda iki farklı halde; 1835'te Henri Victor Regnault ve 1872'de Eugen Baumann tarafından kaza eseri keşfedilmiştir. 20. yüzyılın başlarında, Rus kimyacı Ivan Ostromislensky ve Fritz Klatte, Alman kimya şirketi Griesheim-Elektron ile PVC'yi ticari ürünlerde denemiştir, fakat katı halde işlem görme zorlukları ve polimerin gevrekliği çabaları durdurmuştur. 1926'da, B.F. Goodrich şirketinden Waldo Semon, PVC'yi farklı katkı maddeleri ile karıştırıp, plastikleştirme metodu geliştirmiştir. Bu sonuç, daha esnek ve daha kolay işlenebilir malzemeyi vermiş ve ticari alandaki yaygın kullanım bundan yakın bir zaman sonra başarılmıştır. PVC, ilk kez 1920'li yıllarda sentezlenmiş, ancak 1930'lu yıllardan sonra kullanılmaya başlanmış ve kullanımı özellikle II. Dünya Savaşı yıllarında artmıştır. Son 20-30 yıllık süreçte ise en yaygın kullanılan polimer türlerinden biri olmuştur.

Plastikleştiricilerin oranıyla oynayarak daha sert veya yumuşak PVC, imal edilebilir. Sert PVC daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları gibi alanlarda kullanılır. Bunlar, hava şartlarına dayanıklı, mukavemeti yüksek, sert ve kendi kendine yanmamazlık özelliklerine sahiptirler. Yumuşak veya fleksible PVC türleri ise daha çok kablo sanayi, yer döşemeleri, oyuncak ve eldiven yapımında kullanılmaktadır. Özellikle, düşük ısı stabilitesine sahip olan PVC'nin, ısıtıldığı zaman metal yüzeylere yapışma özelliği çok yüksektir. Hava şartlarına olan yüksek dayanıklılığı, kolay işlenebilmesi, metal yüzeye yapışma özelliğinin olması ve iyi elektriksel özelliklerinin bulunması nedeni ile kablo imalatında geniş yer almıştır (Aydın, 2004).

PVC, direkt olarak ısıya maruz kaldığında HCL (Hidrojen Klorür) açığa çıkar ve renginde sararmalar meydana gelir. Bozunma derecesine bağlı olarak PVC renginde sırası ile

sararma, kızıllaşma, kahverengi ve siyah renkler görülür. Bununla birlikte ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimler görülür. Proses sırasında meydana çıkan atık gazlar ve nem, vakum ile ortamdan uzaklaştırılarak bertaraf edilir. Genel olarak bir PVC formülasyonunda; PVC reçinesi (vinil klorür), plastifiyanlar, stabilizatörler, kaydırıcılar, dolgu maddeleri, mukavemet artırıcılar, proses yardımcıları ve pigmentler bulunur. Bunlara ek olarak; alev önleyiciler, optik beyazlatıcı gibi katkı maddeleri de kullanılmaktadır.

3.1.2.2. PVC'nin kullanım alanları

Polivinil klorür, oldukça geniş kullanım alanı olan bir plastiktir. Kimyasal endüstrisinde en değerli ürünlerden biridir. Dünyada PVC'nin % 50'den fazlası yapı sektöründe kullanılır. Bina malzemesi olarak, PVC ucuz ve kolay monte edilebilirdir. Son yıllarda, PVC geleneksel yapı malzemeleri olan ahşap, beton ve kilin birçok alanda yerini almıştır. PVC'nin kullanım alanları arasında, kapı ve pencere profilleri, vinil cephe kaplaması, boru ve tesisat malzemeleri, elektrik kabloları, döşeme malzemeleri sayılabilir.

Esnek ve ucuz olması nedeni ile malzeme su ve atık su endüstrisinde boru hatları için çok yaygın olarak kullanılır. Son 50 yıldır sağlık sektöründe de kullanıma girmiştir. Parenteral kullanılan sıvıların, kan ve kan ürünlerinin torbalarında ve transfüzyon setlerinde, kateter, kanül ve drenlerde, stoma ürünlerinde ve daha birçok yerde PVC'ye rastlanılmaktadır.

PVC atıklar, kağıt ve cam atıklar gibi, toplanıp değerlendirilebilir. Vinil cam profili veya diğer plastik malzeme üretim hattına belli oranlarda eklenerek tekrar kullanılabilir, hatta elyaf haline getirilerek tekstil sanayiinde değerlendirilebilir.

PVC'nin betonda kullanımıyla ilgili olarak, atık PVC agregası, 200-250 kg/m³ çimento dozajıyla düşük ve orta dayanımlı yalıtım ve dolgu betonu üretimi için uygundur. Aynı zamanda PVC agregasının ilave edilmesiyle elde edilen malzemenin tarımsal yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlarda kullanılarak bazı yapı malzemelerine oranla daha iyi ısı yalıtımı elde edilebilir. Çünkü PVC agregası ilavesi ile su emme miktarı azaldığından, malzemenin mekanik ve ısı özellikleri de olumlu yönde etkilenecektir. Elde edilen örneklerin basınç dayanımları duvar malzemesi için yeterli düzeyde olacağından, tarımsal yapılarda fazla dayanımın gerektirmediği uygulamalarda, ısı yalıtımını yükseltmesi nedeniyle özellikle çevre koşulları kontrolünün önemli olduğu hayvan barınaklarında, depolama yapılarında ve konutlarda kullanılmasının yarar sağlayabileceği düşünülmektedir. Atık PVC'nin betonda kullanılmasıyla çevreye olumsuz etkisinin bu

şekilde azaltılarak yararlı hale getirilmesi, hem ekonomik olarak hem de çevre kirliliği yönünden oldukça önemlidir (Şahin ve ark., 2007).

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık PVC'ler çerçeve imalatında kullanılmak üzere kesilen PVC profillerinin fire malzemelerinin rendelenerek inceltilmesi sonucunda elde edilmiştir. Betonda agrega ilavesi olarak kullanılan PVC, Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan PVC

3.1.3. Yüksek fırın cürufu (YFC)

Ham demirin üretimi esnasında atık madde olarak ortaya çıkan cüruflar, çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen yan ürünlerden birisidir. Cürufların kimyasal kompozisyonları ve özellikleri, elde edildikleri sanayi kuruluşlarının ürettiği ana ürün tipine ve üretim tekniğine de bağlı olarak birbirinden çok farklılık gösterir. Örneğin, yüksek fırın cüruflarının kendi başına da bağlayıcılık özelliği olmasına karşın, bakır ve nikel cürufları sadece puzolanik özellik gösterirler (Tokyay, 2003).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özellikli malzeme olarak kullanımı, 1774 yılında Lariot tarafından öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile söndürülmüş kirecin birleştirilmesiyle hazırlanan malzeme karışımının üzerinde yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının hidrolik bağlayıcılığı ise 1862 yılında Emil Langen tarafından Almanya'da keşfedilmiştir. Portland çimentosu klinkerinin granüle yüksek fırın cürufu ile birlikte öğütülmesi ile elde edilen Portland

yüksek fırın cürufu çimentosunun üretimi de 1892 yılında Almanya'da başlamıştır (Erdoğan, 1995; Tokyay, 2003).

Cürufların, çimento ve beton sektörlerinde çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Geleneksel çelik üretim teknikleriyle elde edilen cüruflar, kristal yapıda olduklarından ya hiç kullanılmaz ya da dolgu malzemesi olarak yollarda ve betonda kullanılır. Buna karşılık, modern çelik üretimi yapan tesislerden elde edilen cüruflar, camsı (amorf) yapıya sahip olduklarından, bunları çimentolu sistemlerde kullanmak mümkündür. Tüm cüruflar arasında en önemlisi ve en yaygın kullanım alanına sahip olanı yüksek fırın cüruflarıdır.

Yüksek fırın cüruflarının kimyasal kompozisyonu yüksek fırının şartlarına ve ham maddelerin kaynağına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kimyasal yapılarında başta; kireç, silika ve alümin olmak üzere az miktarlarda da demir, magnezyum ve kükürt bulunmaktadır. Granüle yüksek fırın cüruflarında kimyasal kompozisyon, hidrolik bağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Bir granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcılık özelliği, belirli bir sınır değere kadar CaO/SiO_2 oranının artmasıyla artar. Ancak bu sınır aşıldığında, yani CaO miktarının çok yüksek olması durumunda granülasyon güçleşeceğinden hidrolik özellikte bir azalma ortaya çıkar. Sabit CaO/SiO_2 oranında, Al_2O_3 miktarının artması ise cüruf aktivitesini artırır. Cüruf içinde yer alan demir ve mangan oksitler dayanım özelliğini olumsuz yönde etkiler. %10'a kadar MgO bulunmasının dayanıma kötü bir etkisi bulunmaz. Ancak daha yüksek MgO miktarları zararlı etkiler yaratabilir (Tokyay, 2003).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufları, su ile birleştirildiği takdirde, küçük bir miktar bağlayıcı özellik göstermektedir. Ancak, cürufların kendi başlarına suyla olan reaksiyonları, Portland çimentolarının hidratasyonu ile karşılaştırıldığında, oldukça yavaş geliştiğinden, cürufun bu tarz kullanımı pratikte çok yaygın değildir. Cürufun hidratasyonu, cürufun su içerisinde kısmi olarak erimesiyle C-S-H, hidrate alüminatlar, hidrate silika alüminatların çökmesi olarak tanımlanabilir. Cüruf hidratasyonunun başlangıç aşamasında, silikat iyonları eriyiğe geçer, daha sonra, ilk C-S-H çökmesinin ardından, eriyiğin kireç konsantrasyonu artar ve son olarak da alümina konsantrasyonunda, hidrate alüminat kristallerinin oluşumuna kadar, artış görülür. (Tokyay, 2003).

3.1.3.1. Yüksek fırın cürufunun üretimi

Yüksek Fırın cürufları, yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında endüstriyel bir yan ürün olarak üretilir. Demir cevherleri, hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), limonit ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

ve siderit (FeCO_3) gibi demiroksit bileşenlerinin yanı sıra aynı zamanda küçük bir miktar silis, alümin, kil, kükürt, fosfor, mangan gibi yabancı maddeleri de bünyesinde barındırmaktadır. Cevher içerisindeki demirin elde edilebilmesi için cevherin, içerdiği yabancı maddelerden arındırılması ve demiroksitin ayrıştırılarak içerisindeki oksijenin çıkartılması gerekmektedir. Bu nedenle demir cevherleri, yüksek fırın adı verilen fırınlarda yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp, eritilirler (Bilim, 2006).

Fırınlarda en yaygın olarak kullanılan yakıt kok kömürü olup, cevherin yabancı maddelerden arındırılmasına yardımcı olması için flux madde olarak bir miktar kalker taşı da cevherle birlikte üst uçtan fırına girmektedir. Kok kömürünün karbonu, cevherin içerisindeki demiroksitin oksijeniyle birleşerek karbondioksit ve karbonmonoksit olarak fırından ayrılır. Böylece, geride eriyik durumdaki demir ile birlikte, kireç, kok kömürünün külü, silis, alümin, karbon, mangan, fosfor ve sülfür gibi yabancı maddelerden oluşan ve “cüruf” adı verilen malzeme topluluğunu bırakır. Yoğunluk farkından dolayı, demir ve cüruf ayrı çıkışlarla dışarı alınmaktadır.

Fırından çıkarılan cüruf yaklaşık olarak 1400–1600 °C sıcaklıkta olduğu için, kullanılmadan önce soğutulması gerekmektedir. Uygulanan soğutma tekniklerine de bağlı olarak cüruf farklı özellikler kazanmaktadır. Cürufun uygun bir forma getirilmesi ve bağlayıcı bir malzeme olarak kullanılması için granülasyon ve peletleme (hava granülasyonu) olmak üzere iki farklı yöntem mevcuttur. Her iki yöntemde de cürufun düzensiz bir camsı yapı kazanması için hızlı bir şekilde soğutulması esastır. Cürufun yavaş bir şekilde soğumasına izin verilmesi durumunda ise, bağlayıcılık değeri olmayan kristal bir yapı ortaya çıkmaktadır. Taş gibi sert bir malzemeye dönüşen gri renkli ve kristal yapılı bu cüruf, kırılarak agrega haline getirildiğinde, hidrolik bağlayıcılık özellikleri bulunmadığından, ancak yol dolgu malzemesi ya da beton agregası olarak kullanılabilir (Newman ve Choo, 2003).

Granülasyon yönteminde, camsı yapıdaki granüle yüksek fırın cürufun elde edilebilmesi, eskiden, basit olarak, eriyik cürufun su içerisine aniden daldırılması ile mümkün olmaktadır. Ancak, en modern granülasyon yöntemlerinde ise, erimiş haldeki cüruf, yüksek basınçlı su fışkıyellerinin içinden geçmeye zorlanır. Bu da, cürufun hızlı bir şekilde en büyük tane büyüklüğü yaklaşık 5 mm olan camsı granüllere dönüşüp soğumasına neden olur. Buradaki su sıcaklığı yaklaşık olarak 50°C'nin altında olup soğutma işlemi çok miktarda suyun püskürtülmesi (kütleye suyun cürufa oranı 10) ile yapılmaktadır. İşlem sonucunda cürufun içerdiği su miktarı yaklaşık olarak %30 civarındadır (Tokyay, 2003).

Peletleme yönteminde ise, eriyik cüruf bir vibrasyon plakası üzerine dökülmekte ve bu işlemle genleşen cüruf, bir miktar su püskürtülerek soğutulmaktadır. Buradan da yaklaşık 1 m çapında ve yüzgeç gibi çıkıntılara sahip dönen bir tambura aktarılan cüruf, bu tambur vasıtasıyla havaya fırlatılmakta ve havada, çok çabuk soğutulma nedeniyle, granülasyon elde edilmektedir. Bu yöntemde kullanılan su miktarı, 1 ton cüruf için yaklaşık 1 m³'tür. İşlem sonunda cüruf içinde kalan su miktarı ise %10'un altındadır (Tokyay, 2003).

Granülasyon metodu, yüksek camısı yapıya sahip cüruf üretiminde en etkili yöntemdir. Ancak, maliyetinin peletleme yönteminden 6 kat daha fazla olması, bu yöntemin kullanımını sınırlandırmaktadır (Newman ve Choo, 2003).

Ani olarak suya daldırma, basınçlı su püskürtülmesi veya peletleme yöntemleriyle granüle duruma getirilen cürufların içinde bulunan su, kurutucu değirmenler ya da filtreli havuzlar yardımıyla süzülme ve cüruflar, bağlayıcılık özelliği gösterebilmesi için de geleneksel çimento öğütme değirmenlerinde çimento inceliğine kadar öğütülmektedir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufları, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörlerle bir araya getirildiğinde ya da Portland çimentosunun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan Ca(OH)₂ ile birleştirildiğinde hidrolik özelliğe sahip olur. Bu özellikleri nedeniyle, öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarını, cürufli çimentoların üretiminde veya beton yapımında mineral katkı maddesi olarak kullanmak mümkün olmaktadır (Bilim, 2006).

Cüruf, bağlayıcılık özelliğini ancak ani soğutma yoluyla elde edilen camısı yapı sayesinde kazanmaktadır. Bu şekilde soğutulduğu takdirde atomlar kristal yapı oluşturacak zaman bulamadan düzensiz bir sistem, yani amorf (camısı) bir yapı oluştururlar (Bilim, 2006).

Granüle yüksek fırın cüruflarının hidrolik bağlayıcılığı, ne kadar ince öğütülürse o kadar iyi olacağından, Portland çimentosundan daha ince olacak şekilde en az 400 m²/kg inceliğe kadar öğütülmelidir. (Newman ve Choo, 2003).

3.1.3.2. Yüksek fırın cürufunun kullanım alanları

Kontrollü miktarda su ile soğutulan ve içerisinde buhar hapsolması nedeniyle, genleşmeye uğrayarak gözenekli bir yapıya kavuşan cüruflar, kırıldıkları takdirde hafif agrega olarak, hafif beton yapımında kullanılabilir. Genleştirilmiş yüksek fırın cürufu agregalarının özgül ağırlığı, normal agregalarınkinden daha düşüktür. Bunun yanında, ısı yalıtımı, işlenme kolaylığı, ateşe ve donmaya karşı dayanıklılık özellikleri de vardır. Bu avantajlarıyla, yapı türüne göre toplam maliyette %10–15 oranında tasarruf sağlanabilmektedir (Çevik, 1993).

Havada soğutulmuş cüruflar, içerdikleri kristal yapı nedeniyle hidrolik bir bağlayıcılık değerine sahip olmadıklarından, kırılmaları durumunda, temel stabilizasyonu, dolgu, asfalt betonu agregası, buzlanmada kaymayı önleyici kum, demiryolu balastı, yol temel altı ve temel malzemesi gibi birçok yerde kullanılmaktadır (Bilim, 2006).

3.1.3.2.1. Öğütülmüş GYFC ‘nun beton katkısı olarak kullanımı

Cürufllu betonlar, Portland çimentosunun bir miktarının azaltılıp, yerine öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun katılması ile elde edilir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılmasının sağladığı bir takım yararlar vardır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır (Erdoğan, 2003):

Ayrı öğütme, tanelerin istenilen inceliğe getirilmesinde büyük randıman sağlamaktadır. Granüle yüksek fırın cürufu, Portland çimentosu klinkerinden daha sert bir malzemedir. Cürufllu çimento üretimi için cüruf ve klinker birlikte öğütülmeye tabi tutulduğunda, klinker daha ince taneli, cüruf ise daha kalın taneli bir durum kazanmaktadır. Klinkerle birlikte öğütülen cürufu optimum inceliğe getirebilmek zordur.

Ayrı öğütülme işlemi, üretilen malzemenin daha iyi kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır. Farklı kaynaklardan elde edilen cüruflar değişik sertliğe ve öğütülme kapasitelerine sahiptir. Cürufun ayrı öğütülmeye tabi tutulmasıyla, istenilen incelikte cüruf elde edilebilmektedir.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun depolanma özelliği, cürufllu çimentonun depolanma özelliğinden daha iyidir. Cürufllu çimento depolanma esnasında nem aldığı takdirde veya depoda uzun süre tutulduğunda, prehidratasyon ve karbonatlaşma göstermekte, bağlayıcılık özelliği azalmaktadır. Cürufların depolanmasında bu tür sorunlar yoktur.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, değişik koşullarda kullanılacak beton karışımlarının hazırlanmasına da esneklik getirmektedir. Beton katkı maddesi olarak kullanılacak cürufu, istenilen inceliğe kadar öğüterek ve istenilen miktarda kullanarak, arzu edilen kalitede beton karışımı elde edebilmek mümkündür.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun katkı maddesi olarak kullanılması, taze betonun işlenebilmesini arttırmaktadır. O nedenle, belirli bir kıvam için gerekli olan karışım suyu ihtiyacı azalacağından dayanım artmakta, büzülme ise azalmaktadır.

3.1.3.2.2. Öğütülmüş GYFC ‘nun çimento üretiminde kullanımı

Cürüflu Portland çimentolarının üretimi, granüle yüksek fırın cürufunun, ya öğütülüp Portland çimentosuna ayrıca katılmasıyla, ya da Portland çimentosu klinkerine öğütülmeden katılarak bu malzemelerin birlikte öğütülmesiyle yapılmaktadır. Ama cürüflu Portland çimentolarının üretimi genellikle, granüle yüksek fırın cürufunun küçük bir miktar alçıtaşı ve Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülmesiyle gerçekleştirilmektedir.

Cürüflu Portland çimentolarının üretiminde kullanılacak granüle yüksek fırın cürufunun uygun özellikte olması gerekmektedir. Ancak, Türk Standartları da dahil, bazı standartlarda, cürüflu çimento üretimi için kullanılacak granüle yüksek fırın cürufunun özellikleri belirtilmemektedir. Bu nedenle, önceleri, çimento üretimi için kullanılacak cürufun uygunluğu, $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 1$ koşulu olarak göz önünde tutulmuş, son yıllarda ise, cüruf-aktivite indeksinin tayin edilerek cüruf özelliklerinin uygunluğunun araştırılması ağırlık kazanmıştır. ASTM C 595 (1993)’e göre, cürüflu çimentoların üretiminde kullanılacak granüle yüksek fırın cürufunun aktivite indeksi, 28 günlük numuneler için, en az %75 olmalıdır (Erdoğan, 1995).

Portland çimentosu ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun su ile karıştırılması neticesinde, önce; Portland çimentosu klinkerinin (ve Portland çimentosunun) yapısında bulunan C_3S ve C_2S gibi kalsiyum silikatlı ana bileşenler reaksiyona başlayarak, çimentoya hidrolik bağlayıcılık özelliği kazandıran $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, kısaca C-S-H (kalsiyum silikat-hidrat) jelleri ile birlikte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsiyum hidroksit) üretmeye başlamaktadır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, hidrolik bağlayıcılık kazanabilmek için ihtiyaç duyduğu bir miktar kalsiyum hidroksiti, Portland çimentosunun hidratasyon ürünü olarak ortaya çıkan bu kalsiyum hidroksitten sağlamaktadır. Granüle yüksek fırın cürufunun amorf yapıdaki silisi ve alümini, kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek, aynı Portland çimentosunun hidratasyonu sonucunda olduğu gibi, bağlayıcı özellikteki yeni C-S-H jelleri gibi çok güçlü bağlayıcı karakteristiğe sahip hidratasyon ürünlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun Portland çimentosu ve su ile karıştırılması durumunda meydana gelen hidratasyon ürünlerinin, aslında Portland çimentosunun hidratasyona uğradığında gelişen esas ürünü ile aynı olduğu kabul edilmektedir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kalsiyum hidroksitle hidratasyon reaksiyonları, puzolanlarınkine oldukça benzerdir (Erdoğan, 1997).

Deneysel çalışmada kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu, İskenderun Oysa çimento fabrikasından, temin edilmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu

Yüksek Fırın Cürufu'nun kimyasal içerikleri Çizelge 3.6.'da, fiziksel analizleri Çizelge 3.7. 'de verilmiştir. Kimyasal içerikler; Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu için İskenderun Oysa Çimento tesislerinde yapılmıştır.

Çizelge 3.6. YFC'nun kimyasal analizi

Bileşenler (%)	YFC
SiO ₂	37,89
Al ₂ O ₃	10,29
Fe ₂ O ₃	0,95
CaO	35,86
MgO	7,38

Çizelge 3.7. YFC'nun fiziksel analizi

	YFC
Özgül Ağırlık	2,87
Boyut	4950 Blaine

3.1.4 Agregalar

Yapılarda kullanılan taneli malzemeler, agregalar olarak tanımlanmaktadır. Agregalar; doğal, yapay veya geri kazanılmış tipte olabilir. Doğal agregalar, mekanik işlem dışında herhangi bir işleme tabi tutulmamış olan mineral kaynaklardan elde edilen agregalardır. Yapay agregalar, ısıtıl veya diğer uygulamaları ihtiva eden bir endüstriyel işlem sonucunda elde edilen mineral kökenli agregalardır. Geri kazanılmış agregalar ise, önceden yapılarda kullanılmış olan inorganik malzemelerin işleminden geçirilmesi sonucunda elde edilen

agregalardır. Ayrıca; karışık (tuvenan) agregalar da, iri ve ince agrega kısımlarına ayırmaksızın veya iri ve ince agrega kısımları ayrıca hazırlandıktan sonra bunların birleştirilmesi suretiyle üretilen agregalar şeklinde tanımlanmaktadır (TS 706 EN 12620+A1).

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm' yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm' yi geçmeyen büyüklüklerdeki) kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır. Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen uçucu kül agregası. Beton yapımında kullanılan agregaların özgül ağırlıkları genellikle 2,55- 2,70 arasında yer almakta ve beton hacminin %70 - %75 kadarı agregalar tarafından oluşturulmaktadır.

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun 'hacim değişikliğini' önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun 'aşınmaya karşı dayanımını' arttırması, çevre etkilerine karşı 'dayanıklılığını' arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı 'dayanımı' sağlayabilmesi gelir. Betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok özellik, beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir (AGÜB, 2004).

Betonda kullanılacak agregaların bazı önemli özelliklere sahip olması zorunludur. Agreganın suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Agreganın kullanma şekli ve amacına göre, granülometrisi, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, donmaya dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından standartlarda öngörülen limitler içerisinde olmalıdır. Agregalar genel olarak, elde edilmiş şekillerine, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekline, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilir. Yoğunluğu 2000 ile 3000 kg/m³ arasında olan agregalar normal agrega, yoğunluğu 2000 kg/m³'ten küçük olanlar hafif agrega, yoğunluğu 3000 kg/m³'ten büyük olan agregalar da ağır agrega şeklinde

tanımlanır. Ayrıca; tane büyüklüğü 4 mm'den küçük olan agregalar ince agregalar, tane büyüklüğü 4 mm'den büyük olan agregalar ise iri agregalar olarak tanımlanır (AGÜB, 2004).

Agreganın beton yapımında teknik ve ekonomik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agregalar betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir. Betonda agregaların kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Agregalar, kaba ve ince agregalar olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agregalar “mıcır” ya da “çakıl”, ince agregalar “kum” olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyutudur. 4 mm'den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agregalar, 4 mm'den küçük boyuttaki kısma ince agregalar denir.

Agregaların kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik analiz, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, donatı dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 EN 12620+A1 standardının gereklerini yerine getirmelidir. Kum ve agregalar için tanımlanan standart değerler Çizelge 3.8.'de verilmektedir.

Çizelge 3.8. Kum ve iri agregalar için standart değerler

Standartlar	Kum	İri Agregalar
Gevşek Birim Ağırlık (TS 3529)	Min 1350 kg/m ³	Min 1350 kg/m ³
Su Emme Miktarı (TS EN 1097-6)	Maksimum % 2	Maksimum. % 2
Özgül Ağırlık (TS EN 1097-6)	Min 1350 kg/m ³	Min 1350 kg/m ³
Organik Madde (TS EN 1744-1)	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan örneğin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan örneğin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.
Donatı Dayanıklılık (TS EN 1367-1)	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan donatı dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok % 1,5 olmalı.	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan donatı dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok % 1,5 olmalı.
Çamurlu Madde Miktarı (TS 3527)	Çökeltme deneyi sonunda çamurlu madde miktarı hacimce % 5'den küçük olmalı.	63 m'den daha ince kil, silt veya taşunun gibi malzemelerin miktarı, yıkama deneyine göre % 1,5 değerini aşmamalı.
Alkaliye Duyarlı Taneler (TS 2517)	Çimentoda eşdeğer alkali oksit değeri % 0,6'dan büyükse kumda, alkaliye duyarlı taneler ağırlıkça % 0,5'den az olmalı.	-

3.1.4.1. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agregada tanelerindeki boşluk, su emme deneyi yapılarak belirlenir. İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de artırılabilir.

Agregadaki su miktarı, agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agregada su emme yüzdesinin limiti, kum ve çakıl için % 1’dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması, beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır.

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa “gevşek birim ağırlık” ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise “sıkışık birim ağırlık” denir. Birim ağırlıktan agrega içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir.

Özgül ağırlık, belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir.

Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür. Agreganın sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan yerleştirilmesi sonucunda kompasite 0,40 – 0,70 arasında değer alır. Agreganın kompasitesi küçük olması sonucunda; betonun mukavemeti düşük olur, kullanılan çimento miktarı artar, maliyet yükselir, kusurlu malzeme miktarı artarak işlenebilmeyi etkiler ve mukavemet düşer, dış etkilere karşı dayanıklılık azalır.

3.1.4.2. Agregaların mekanik özellikleri

Agregalarda aranılan en önemli özelliklerinden biri mekanik mukavemetleri içerisinde özellikle basınç mukavemetinin yüksek olmasıdır. Basınç mukavemetinin malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması agrega mukavemetini artırır. Agreganın jeolojik bakımdan durumu bize mekanik mukavemeti ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımlarının en az 600 kgf/cm² olması istenir.

Yol ve hava meydanlarındaki beton çarpma ve aşınma etkisi altındadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı büyük mukavemete sahip olması gerekir. Basınç dayanımının 1000 kgf/cm² 'den az olması halinde, kuşkulu durumlarda veya yapay agregalarda aşınmaya dayanıklılık deneyleri sonuçlarına bakılır. Bilyalı Tanburla (Los angeles aşınma cihazı) yapılan aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde 100 devir sonunda %50'den az, darbe ile aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde aşınmaya maruz beton yapımında kullanılacak agregalar için %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'ten az kayıp bulunmuş ise, agrega yeterli olarak kabul edilebilir. Aşınmaya karşı mukavemetleri yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksek olur.

Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Basınç deneyinden pek farklı olmayan çarpma deneyinde agrega çelik bir silindir içine yerleştirilir ve belirli bir mesafeden belirli bir ağırlık belirli sayıda düşürülmek suretiyle malzeme çarpma etkisi altında tutulur. Elekten elenmek suretiyle çarpma etkisi altında agreganın dayanıklılığı hakkında fikir edinilebilir.

3.1.4.3. Agrega granülometrisi

Agrega yığınındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Granülometrik bileşim, agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agrega içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da agrega üzerinde granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agrega granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri betonun kompasesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların, özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir.

Agrega tane boyutunun ayarlanmasında; çimento kumun boşluklarını, kum da çakılın boşluklarını dolduracak şekilde olmalıdır. Beton mukavemetini dolaylı şekilde etkilerken, işlenebilmeyi doğrudan etkilemektedir. Agreg granülometrisi ile beton karışım elemanları ve betonun fiziksel özellikleri arasında bağıntılar mevcuttur.

Deneysel çalışmalarda Çimko Beton Kahramanmaraş Tesisinden temin edilen, yıkanmış ve elenmiş 0-4 mm arası Aksu kumu ve 4-32 mm çakıl kullanılmıştır (Şekil 3.4.). Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 32 mm olup, yıkanmış ve etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Agregaların su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS 3526 'ya göre iri çakıl için Arşimet terazisi ve kum için ise piknometre yöntemine göre rastgele alınmış numuneler üzerinde yapılmıştır. Özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi bulguları her grup agregalar için bulunmuştur (Çizelge 3.9.). TS 706 EN 12620+A1 'de beton agregalarının özgül ağırlığı için bir limit değeri getirilmemiştir. Ancak, betonda kullanılacak agregaların özgül ağırlığının 2,55 kg/dm³'ten büyük seçilmesinin iyi sonuçlar verdiği daha önce yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Ayrıca, TS 3529'a göre sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneyleri de yapılmış; sonuçların standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.9. Agregaların fiziksel özellikleri

Özellik	İnce Agreg	Kaba Agreg
Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	2,75	2,68
Sıkışık Birim Ağırlık (gr/cm ³)	1,95	1,62
Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm ³)	1,75	1,47
Su Emme Kapasitesi (%)	1,10	0,25

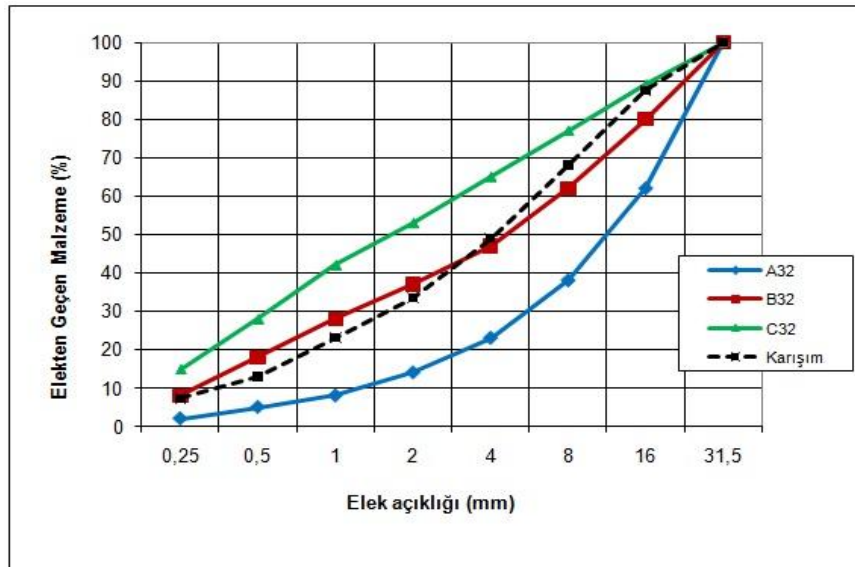


Şekil 3. 4. Deneylerde kullanılan agregalar

Agrega numuneleri, elek analizi yapılmak üzere, TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak etüve konulmuş, 24 saat sonra etüvden çıkarılmıştır. Deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Kurutulup tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konmuş ve eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme tartılmıştır. Karışımında kullanılan ve %30'u dolomit agregasından oluşan agrega karışımının eleklerden geçen yüzde değerleri, Çizelge 3.10.'da sunulmuştur. Ayrıca, karışımın granülometri eğrisinin referans eğrileriyle kıyaslandığı grafik, Şekil 3.5.'te görülmektedir. Agregas karışımının granülometri eğrisi, referans eğrileri aralığındadır (TS 706 EN 12620+A1).

Çizelge 3.10. Beton numunelerde kullanılan agregalara ait elek analizi

Standart elekler (mm)	Elek üstü kalan Miktar (gr)	Elek üstü kalan yüzdesi (%)	Elek üstü kalan yığılımlı yüzdesi (%)	Elekten geçen miktarı (%)
31,5	0	0,00	0,00	100,00
16	375	12,50	12,50	87,50
8	583	19,43	31,93	68,07
4	572	19,07	51,00	49,00
2	467	15,57	66,57	33,43
1	310	10,33	76,90	23,10
0,5	304	10,13	87,03	12,97
0,25	170	5,67	92,70	7,30
Pan	219	7,30	100,00	0,00
Toplam	3000			



Şekil 3.5. Karışımın referans granülometri eğrileriyle karşılaştırılması

3. 1. 5. Çimento

Döner fırınlarda yüksek sıcaklıkta pişirilerek meydana gelen klinkerin alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen malzeme çimentodur. Çimento, su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır.

TS EN 197-1 standardına uygun çimento, CEM çimentosu diye adlandırılır. Agregası ve su ile uygun şekilde harmanlanıp karıştırıldığında, yeterli süre işlenebilirliğini muhafaza eden ve belirlenmiş periyotlarda belirli dayanım seviyelerini kazanan ve uzun süre hacim sabitliği gösteren, beton veya harç üretilebilen çimentodur. CEM çimentosunun hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu nedeniyle olur. Diğer kimyasal bileşenler, mesela alüminatlar da, sertleşme işlemine iştirak edebilirler. CEM çimentosunda oranlar EN 196-2'ye göre tayin edildiğinde, reaktif kalsiyum oksit (CaO) ve reaktif silisyum dioksit'in (SiO_2), oranlarının toplamı kütlece en az % 50 olmalıdır (TS EN 197-1).

3. 1. 5. 1. Çimentoların özellikleri

Çimentonun standart dayanımı EN 196-1'e göre tayin edilen 28 günlük basınç dayanımıdır. Üç standart dayanım sınıfı belirlenmiştir, bunlar; 32,5 sınıfı, 42,5 sınıfı ve 52,5 sınıfıdır. Çimentonun erken dayanımı EN 196-1'e göre tayin edilen 2 veya 7 günlük basınç dayanımıdır. N ile belirtilen normal erken dayanım sınıfı ve R ile belirtilen yüksek erken dayanım sınıfı olmak üzere her bir standart dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanır. Priz başlama süresi ve hacim genleşmesi, EN 196-3+A1'e göre tayin edilir.

Birçok uygulamada, özellikle şiddetli çevresel şartlarda, çimentonun seçimi, beton, harç ve şerbetlerin donatıya dayanıklılık, kimyasal direnç ve donatının korunması gibi dayanıklılık özelliklerine etkisi vardır. Bu standarttan uygun çimentonun seçimi, farklı uygulamalar ve çevre şartları için özellikle tip ve dayanım sınıfı açısından, kullanım yerindeki beton ve harç için yürürlükte olan uygun standart ve yönetmeliklere (şartname) göre yapılır.

Standartlar, çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerine sınırlamalar getirmektedir. Bu sınırları sağlayamayan çimentolar beton üretiminde kullanılamaz. Öte yandan hangi tür yapıda hangi tip çimentonun kullanılacağına karar verebilmek için çimentonun kimyasal özelliklerinin yanı sıra fiziksel ve mekanik özelliklerini de bilmek gerekir. Bu nedenle

çimentoların özelliklerinin belirlenmesi beton teknolojisi açısından çok önemlidir (Özkul ve ark., 2004).

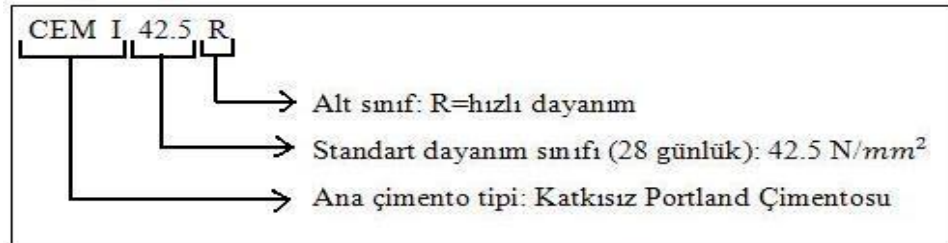
3. 1. 5. 2. Çimentoların sınıflandırılması

Çimentolar, TS EN 197-1’de “CEM çimentosu” olarak adlandırılır. CEM çimentosu ise CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V şeklinde sınıflandırılmaktadır. CEM I, portland çimentosunu, CEM II, portland kompoze çimentoyu, CEM III, portland yüksek fırın cürufu çimentoyu, CEM IV, puzolanik çimentoyu, CEM V ise, kompoze çimentoyu ifade etmektedir. CEM ibaresi çimentosunun simgesi olup; 32,5, 42,5 ve 52,5 rakamları 28 günde istenen minimum mukavemet değerini göstermektedir. TS EN 197-1’e göre 27 farklı genel çimento bileşimi bulunmaktadır. CEM I tipi çimentonun bileşenleri Çizelge 3.11.’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. CEM I tipi çimentonun bileşenleri

Ana Tip	Genel Çimento Tipi		Bileşim (kütlece % olarak)										
			Ana Bileşenler									Minör İlave Bileşen	
			Klinker	Yüksek Fırın Cürufu	Silis Dumanı	Puzolan		Uçucu Kül		Pişmiş Şist	Kalker		
						Doğal	Doğal Kalsine Edilmiş	Silissi	Kalkersi		L		LL
CEM I	Portland Çimento	CEM I	K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL	0-5
			95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Deneysel çalışmalarda, Çimsa Çimento Sanayi A.Ş. Mersin Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42,5 R Portland Çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimento sınıfının kodlanması Şekil 3.6.’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. CEM I tipi çimento sınıfının kodlanması

Portland çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler ise Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13’te verilmektedir. Kullanılan Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi Mersin Çimsa çimento tesislerinde yapılmıştır.

Çizelge 3.12. Çimentonun kimyasal analizi

Bileşenler (%)	Çimento
SiO ₂	18,85
Al ₂ O ₃	4,80
Fe ₂ O ₃	2,40
CaO	62,80
MgO	2,5
Na ₂ O+K ₂ O	1,14
SO ₃	3,69
Serbest CAO	0,90
Kızdırma Kaybı	3,5

Çizelge 3.13. Çimentonun fiziksel analizi

Çimento Tipi	Özgöl Ağırlık (kg/cm ³)	Özgöl Yüzey (cm ² /g)
CEM I 42,5	3,12	3250

3. 1. 6. CEN standart kumu

Harç numunelerinin hazırlanmasında TS EN 196-1'e uygun Rilem – Cembureau standart kumu kullanılmıştır. Standart kum, Kırklareli Limak Batı Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilmiştir. CEN Standart kumu, CEN referans kumuna göre standardize edilmelidir. CEN referans kumu, tercihen yuvarlak tanecikli ve silisyum dioksit miktarı en az %98 olan doğal silis kumu olmalıdır. Kumun elek analizi temsili numune üzerinde yapılır. Eleme işlemine her elekten geçen kum miktarı 0,5 g/dakikadan az oluncaya kadar devam edilir. CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı Çizelge 3.14.'te verilmistir (TS EN 196-1).

Çizelge 3.14. CEN Referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı (TS EN 196-1)

Kare göz açıklığı (mm)	Kümülatif elekte kalan (%)
2,00	0
1,60	7±5
1,00	33±5
0,50	67±5
0,16	87±5
0,08	99±1

Temsili kum numunesinin, 105°C-110°C'da 2 saat kurutulduktan sonra tayin edilen rutubet oranı, % 0,2'den az olmalı ve kurutulmuş numunenin kütlesinin yüzdesi cinsinden belirtilmelidir. CEN Standart kumu her tanecik büyüklüğüne göre ayrı ayrı veya önceden

karıştırılmış deneye hazır halde (1350 ± 5) g'lık plastik torbalar içinde teslim edilir. Harç numunelerinde kullanılan standart Rilem kumu Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Harç numunelerinde kullanılan standart rilem kumu

3. 1. 7. Beton karışım suyu

Beton imalinde kullanılan karma suyunun kalitesi, betonun priz süresini, dayanım kazanma hızını ve donatının korozyona karşı korunmasını etkileyebilir. Kalitesi bilinmeyen bir suyun, beton imali için karma suyu olarak uygunluğunun tayininde, suyun bileşimi ve imal edilecek betonun kullanım yeri dikkate alınmalıdır. Beton imalinde kullanılan suyun uygunluğu, genellikle kaynağına (orijinine) bağlıdır. İçilebilen sular beton yapımında kullanım için uygun kabul edilir. Bu tip sularda deney yapmaya gerek duyulmaz. Ancak, içme suyu standartlarına uygun olmayan bazı suları da kullanarak beton üretmek gerekiyorsa, kullanılacak suyun TS EN 1008'de bahsedilen ön muayene kriterlerine ve diğer deneylere tabii tutulması gerekmektedir (TS EN 1008).

Deney standartlarına uygun olmayan bir suyun karışımında kullanılması beton kalitesini olumsuz etkileyebilir. Çoğunlukla, zaman içinde, betonda dayanım gelişmesi en öncelikli dikkat edilecek husus olmakla birlikte, karışım suyunda bulunabilecek safsızlıklar; priz süresini, rötreyi, dayanıklılığı da olumsuz etkileyebilir, betonda çiçeklenmeye neden olabilir. Bu nedenle, fazla miktarda askıda katı madde, erimiş madde, erimiş tuzlar veya diğer katkıları ve organik madde içeren sular karışım suyu olarak kullanılmamalıdır.

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır. Bunlardan birincisi; kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmektir. İkincisi

ise; çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamaktır. Kısacası; beton karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidratasyonunu sağlamak için kullanılan çok hassas ve önemli bir hammadDEDİR. Hassas ve önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkileyebilmesidir.

Çimento, hidratasyon için ağırlığının % 25'i kadar su miktarına ihtiyaç duyar. Bu miktarın üzerinde kullanılan su miktarı sadece işlenebilirliği arttırma amacına yöneliktir. Bu zamanla betonun bünyesini terk ederek yerini boşluklara bırakmaktadır. Karma suyu miktarı ne kadar fazla olursa boşluklar da o kadar fazla olur ve bu durum sadece dayanımı olumsuz yönde etkilemekle kalmaz, betonun durabilitesini de olumsuz yönde etkiler. Beton karışım dizaynı hesabında, hedeflenen ve üretimde gerçekleştirilen kıvamı daha da arttırmak için, betona fazladan su ilave etmek ise hem dayanımı hem de dayanıklılığı (durabiliteyi) yok eder. Üretilen numunelerde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü şebeke suyu, beton karışım suyu olarak kullanılmıştır.

3. 2. Metot

3. 2. 1. Beton karışımların hazırlanması

TS 802'ye uygun olarak yapılan beton karışımında agrega (çakıl ve kum) yerine ağırlıkça % 20, % 30 ve % 50 oranında dolomit (D) ikame edilmiş ve karışıma ilave olarak çimento ağırlığının % 3'ü ve % 5'i oranlarında PVC (P) katılmıştır. Kontrol örneği (K) dahil olmak üzere 10 örneğin karışım hesabı yapılmıştır. TS 802'ye göre en büyük agrega boyutu ve su/çimento oranı tespit edildikten sonra maksimum çökme değeri ve bu değere göre su miktarı belirlenmiştir. Daha önce belirlenen su/çimento oranında, su miktarı yerine koyularak çimento miktarı da belirlenmiştir. Belirlenen su miktarına göre ilgili tablodan hava miktarı da tayin edilmiştir. Su, çimento ve hava miktarı tespit edildikten sonra bulunan değerler birim hacim denkleminde (Denklem 3.1) yerine koyularak agrega miktarı da belirlenmiştir. Son olarak, bulunan toplam agrega hacmi içerisindeki agrega sınıfı yüzdelere göre her agrega sınıfının miktarı hesaplanmıştır. 1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı Denklem 3.1 ile bulunmuştur (TS 802).

$$\frac{C}{\delta_c} + W + \frac{W_a}{\delta_a} + A = 1000 \text{ dm}^3 \quad (3.1)$$

C = Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)

δ_c = Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³)

W = Karışıma girecek suyun hacmi (dm³)

W_a = Karışıma girecek agreganın yüzdesi (kg)

δ_a = Agreganın yoğunluğu (kg/dm^3)

A = Betondaki toplam hava miktarı (dm^3)

Elde edilen beton karışımları, farklı kalıplara dökülerek slump, basınç dayanımı, donma-çözülme ve permeabilite (geçirimsizlik) deneyleri yapılmıştır. Agregaya yerine % 30 ve daha fazla dolomit kullanılması halinde beton karışımının işlenebilirlik özelliği çok düşmekte ve numunelerin su emme potansiyeli artmaktadır. Bu durum optimum dolomit katkısının agregaya ağırlığının % 20'si civarında olduğunu göstermektedir.

Numunelerin isimleri, karışım oranları ve kullanılan malzemeler Çizelge 3.15.'te verilmiştir. Bulunan karışım ağırlıklarına göre agregalar ve çimento hassas bir şekilde tartılarak karılmıştır. Taze betonun işlenebilirliğini, akıcılığını tespit etmek amacıyla slump hunisi yardımıyla çökme deneyi yapılmıştır. Dolomit, D; PVC, P harfiyle adlandırılmıştır.

Çizelge 3.15. 1 m^3 beton karışımı için malzeme oranları ve numunelerin isimleri

Numune Adı	Beton Bileşenleri							
	Su (kg/m^3)	Çimento (kg/m^3)	Çakıl (kg/m^3)	Kum (kg/m^3)	Dolomit (kg/m^3)	PVC (kg/m^3)	Toplam Miktar (kg/m^3)	Slump (mm)
K	185	350	1105	740	-	-	2380	150
20D	185	350	885	590	370	-	2380	65
20D3P	185	350	885	590	370	10	2390	50
20D5P	185	350	885	590	370	17	2397	20
30D	185	350	775	515	555	-	2380	40
30D3P	185	350	775	515	555	10	2390	20
30D5P	185	350	775	515	555	17	2397	15
50D	185	350	555	370	920	--	2380	20
50D3P	185	350	555	370	920	10	2390	10
50D5P	185	350	555	370	920	17	2397	5

Slump deneyinde standart slump hunisi kullanılmıştır. Beton, bu huninin üzerine yerleştirilen doldurma başlığından 3 tabaka şeklinde yerleştirilmiş ve her bir tabaka 25 defa şişlenmek suretiyle sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra huninin üst yüzeyi mala yardımıyla düzeltilmiş ve 5-10 saniyelik bir süre içerisinde huni çekilerek yığının yanına koyulmuştur. Huninin üst yüzeyinden beton yığınının üst yüzeyi arasındaki mesafe bir

cetvel yardımıyla ölçülmüş, bu “h” mesafesi taze betonun çökme değeri olarak alınmış ve Çizelge 3.14.’ te verilmiştir. Slump deneyi Şekil 3.9.’da verildiği gibidir. Hazırlanan deney örnekleri aynı şartlarda, normal sıcaklıkta çeşme suyu dolu kür havuzunda saklanmıştır. Şekil 3.8.’de beton numunelerinin bekletildiği kür havuzu görülmektedir.

Numuneler için hazırlanan beton karışımları TS EN 12390-2’deki esaslar dikkate alınarak yapılmıştır. TS EN 12390-2’de öngördüğü şekilde hazırlanan beton harmanlarından alınan deney örneklerinin betonun tüm özelliklerini taşımasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.8. Numunelerin bekletildiği kür havuzu



Şekil 3.9. Slump deneyinin yapılışı

3. 2. 2. Harç karışımların hazırlanması

ASTM C 227 'ye uygun olarak yapılan ve harç çubuğu deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan harç karışımlarında, çimento yerine kütlece % 10, % 20 ve % 40 oranlarında

öğütülmüş dolomit ikame edilmiştir. Ayrıca, her farklı oranda dolomit katkılı numunede kullanılan dolomitin % 50'sinin yerine de yüksek fırın cürufu ikame edilmiştir. Numunelerde, agrega/çimento oranı 2,25 olarak alınmıştır. Üretilen kontrol numunesi de dahil olmak üzere 7 çeşit karışım hesabı yapılmıştır. Numunelerin isimleri, karışım oranları ve kullanılan malzemeler, Çizelge 3.16.'da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Harç çubuğu deneyinde kullanılan harç karışımların malzeme oranları

Numune Adı	Harç Bileşenleri				
	Su (g)	Çimento (g)	Rilem Kumu (g)	Dolomit (g)	YFC (g)
K	300	600	1350	-	-
10D	300	540	1350	60	-
20D	300	480	1350	120	-
40D	300	360	1350	240	-
5D-5YFC	300	540	1350	30	30
10D-10YFC	300	480	1350	60	60
20D-20YFC	300	360	1350	120	120

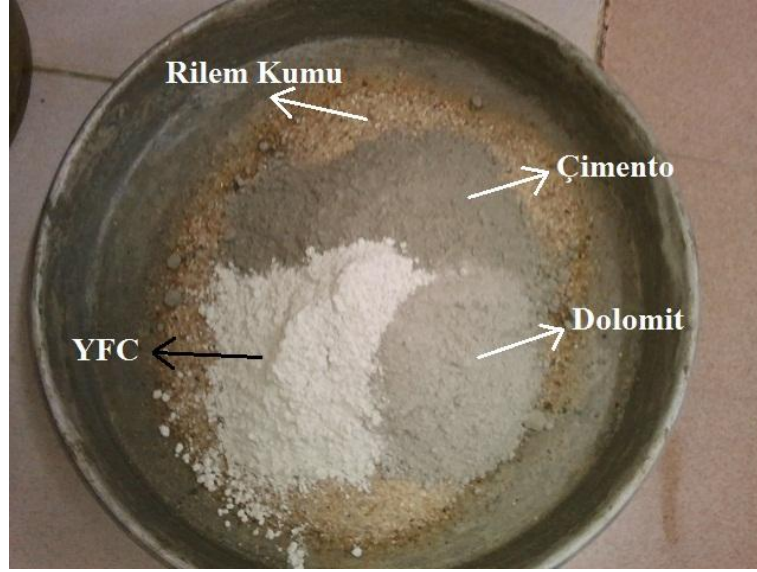
TS EN 196-1 'e uygun olarak yapılan ve harçların basınç dayanımı deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan harç karışımlarında, çimento yerine kütlece % 10, % 20 ve % 40 oranlarında öğütülmüş dolomit ikame edilmiştir. Ayrıca, her farklı oranda dolomit katkılı numunede kullanılan dolomitin % 50'sinin yerine de yüksek fırın cürufu ikame edilmiştir. Numunelerde, agrega/çimento oranı 3, su/çimento oranı ise 0,50 olarak alınmıştır. Numunelerin isimleri, karışım oranları ve kullanılan malzemeler, Çizelge 3.17.'de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Harçların basınç dayanımı deneyinde kullanılan harç karışım oranları

Numune Adı	Harç Bileşenleri				
	Su (g)	Çimento (g)	Rilem Kumu (g)	Dolomit (g)	YFC (g)
K	225	450	1350	-	-
10D	225	405	1350	45	-
20D	225	360	1350	90	-
40D	225	270	1350	180	-
5D-5YFC	225	405	1350	22,5	22,5
10D-10YFC	225	360	1350	45	45
20D-20YFC	225	270	1350	90	90

Karışım ağırlıklarına göre kullanılan malzemeler hassas bir şekilde tartılarak karılmıştır. Herbir deney için farklı oranlarda hazırlanan numunelere, aynı şartlarda kür uygulaması

yapılmıştır. Harç numuneler hazırlanırken kullanılan malzemeler, Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Harç numunelerde kullanılan malzemeler

3.2.3. Beton numunelerin basınç dayanımı

Beton basınç dayanımı, 10x10x10 cm boyutlarındaki standart küp numuneler kullanılarak tayin edilmiştir (Şekil 3.11.). Numuneler TS EN 12390-2'ye göre hazırlanmıştır. Taze beton kalıplara konmadan kalıpların iç yüzeyi hafifçe yağlanmış, beton küp kalıplara iki tabaka halinde doldurulup sıkıştırma işlemi, prizmatik çubuk ile yapılmıştır. Darbelerin, numune kalıbının en kesit alanına düzgün şekilde dağılmasına özen gösterilmiştir. İlk tabakanın sıkıştırılmasında, çubuğun numune kalıbının tabanına sertçe çarpması, diğer tabakaların sıkıştırılması esnasında da bir önceki tabakaya fazla miktarda girmesi önlenmiştir. Her tabaka, sıkıştırma çubuğu ile 25 kez şişlenmiştir.

Her tabakanın sıkıştırılmasından sonra, sıkışmış hava ceplerinin tahliyesini sağlamak, ancak sürüklenmiş hava kabarcıkları korunacak şekilde, beton yüzeyine büyük hava kabarcıkları çıkışı duruncaya ve sıkıştırma çubuğu darbelerinden geri kalan boşlukların dolması sağlanıncaya kadar, kalıbın dış kenarlarına tokmak ile hafifçe vurulmuştur. Beton, kalıplara konup sıkıştırıldıktan sonra numunenin üst yüzeyi master yardımı ile düzeltilmiştir. 24 saat süreyle hava cereyanından uzak bir yerde bekletildikten sonra örnekler kalıptan çıkarılıp musluk suyu bulunan kür havuzunda deney zamanına kadar 23 ± 2 °C sıcaklıkta bekletilmiştir.



Şekil 3.11. Üretilen 10x10x10 cm beton numuneleri

Beton numunelerin basınç dayanımları TS EN 12390-3'e göre belirlenmiştir. Her karışım oranındaki örnek için musluk suyunda bekletilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, Denklem 3.2 yardımıyla belirlenmiştir (TS EN 12390-3).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.2)$$

f_c = Basınç dayanımı MPa (N/mm²)

F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c = Numunenin üzerine basınç yükü uygulandığı en kesit alanı (mm²)

Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemek üzere her yaş grubundan üçer adet numune üretilmiş ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Şekil 3.12.'de deney anından görüntü verilmektedir.



Şekil 3.12. Basınç dayanım deneyinden bir görüntü

3.2.4. Beton numunelerde donma-çözülme etkisi

Su donduğunda hacminde yaklaşık % 8 oranında bir artış meydana gelir. Bu ifadeden de anlaşıldığı üzere donma olayı cisimlerde belirgin bir ölçüde genleşme meydana getirmektedir. Bu genleşmenin sonunda ise cisimlerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar biraz daha genişlemekte ve bunun sonucu olarak da cismin yüzeyinde önemli derecelerde çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir. Bilindiği gibi beton da boşluklu bir malzemedir ve bulunduğu yere ve iklim koşullarına göre su ile temas halinde bulunabilir ve hatta betonun su ile temas etmesi sonucu kılcallık, geçirimsizlik ve donma gibi fiziksel olaylara maruz kalabilir. Betondaki boşluklar, betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu veya betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye giren su ile dolmaktadır. Bu nedenle betonun donma olayının etkisi altında kalarak hasar görmeye elverişli bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Uygunoğlu ve Ünal, 2005).

Kapiler boşluklar tamamen veya % 91'den daha çok suyla dolu durumda olduklarında, donmanın başlaması ve suyun bir miktarının buz haline dönüşmesi ile ortaya çıkan hacim genleşmesi, boşluklardaki henüz donmamış su üzerinde hidrolik basınç oluşturmaktadır; henüz donmamış durumdaki su boşluklardan dışarıya itilmektedir. Boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanan su, boşlukların etrafındaki çimento hamurunun çatlamasına yol açacak büyüklükte gerilmeler oluşturmaktadır. Betondaki sıcaklığın artmasıyla, beton soğukken oluşmuş olan buzların çözülmesi ile betonun içerisindeki gerilmeler ortadan kalkmış durumdadır. Ancak, bir başka zamanda oluşacak soğuma karşısında aynı olaylar tekrar etmektedir.

Donma-çözülme deneyinde TS 3449 standardına uygun olarak, numuneler önce değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde 105 °C'de kurutulmuştur (Şekil 3.13.). Etüvden çıkartılıp oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra, 0,1 g hassasiyetle tartılarak (W_0) bulunmuştur. Bu şekilde kurutulmuş olan deney numuneleri normal atmosfer şartlarında suya doymun hale getirilmiş ve su emme değerleri bulunmuştur. Numuneler tekrar etüvde kurutulup soğutulduktan sonra donma-çözülme cihazına konulmuştur. Soğutma hızı yaklaşık 4 saat zarfında -20 °C'ye düşecek şekilde ayarlanmıştır. Donma-çözülme cihazında 4 saat -20 °C ve 4 saat +20 °C olmak üzere toplam 30 çevrim ayarlanmıştır. Bu şekilde donma-çözülme işlemi 30 kez tekrarlanan deney numuneleri 105 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup soğutulduktan sonra 0,1 g duyarlılıkta tartılmıştır (W_n). Bu

numunelerin kütle kayıpları hesaplanmış ve donma-çözülme sonrası örneklerin basınç ve kütle kayıpları bulunmuştur. Donma-çözülme etkisine maruz bir numune Şekil 3.14.'te görülmektedir.



Şekil 3.13. Donma-çözülme cihazı ve numunelerin etüvde kurutulması



Şekil 3.14. Donma-çözülme etkisine maruz bir numune

3.2.5 Permeabilite değerlerinin bulunması

Geçirimsiz ya da geçirgenliği çok düşük olan betonlarda don olayı veya betona kimyasal olarak zarar veren reaksiyonlar görülmez. Özellikle betonda tahribata yol açan kimyasal reaksiyonların, zararlı sıvıların beton içerisine sızması ya da beton tarafından emilmesi sonucu meydana geldiği düşünülecek olursa beton dayanıklılığında geçirgenliğin önemi anlaşılmış olur (Erdoğan, 2003).

Beton permeabilite deneyi geçirgenlik katsayısına karar vermek amacıyla yapılır. Bu çalışmada Darcy Kanunu kullanılarak silindirik örnekler üzerinde su geçiş miktarı ölçülerek geçirgenlik katsayısının bulunması amaçlanmıştır ve bu amaçla deney, 28 günlük örnekler üzerinde yapılmıştır.

TS 3455'e göre yapılan deneyde; hazırlanan karışımlar 15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde ve ortasında 20 mm çapında delik bulunan kalıplara yerleştirilmiştir. Her karışım için 3'er adet hazırlanan örnekler, 24 saat kalıpta bekletildikten sonra, kalıptan alınmış, ortasında bulunan çelik çubuk çıkarıldıktan sonra kür tankına yerleştirilmiştir. 28 gün sonra kür tankından alınan numuneler etüvde kurutulduktan sonra özenle yalıtılıp cihazdaki yerlerine yerleştirilmiştir. Permeabilite cihazı ve üretilen silindir numunelerden biri Şekil 3.15.'te görülmektedir.

Geçirimsizlik değeri bulunacak numunelere, basınç artışı dakikada, 0,1 atm olacak şekilde artırılarak erişilen 3 atmosfer basıncı uygulanmıştır. Bu basınç altındaki örneklerden günde 2 kez durum tespiti yapılmıştır. Bu işlem, 7 gün sürdürülmüş ve bu süre sonunda deney tamamlanmıştır (Şekil 3.16.). Numuneler, cihazdan çıkarılmış ve orta kısımlarından kırılarak su derinliği ölçülmüştür. Deney sonucu, betona işleyen su derinliğine göre veya geçen su miktarlarına göre yorumlanmıştır (Şekil 3.17.).



Şekil 3.15. Permeabilite cihazı ve 150x300 mm silindir numune



Şekil 3.16. Permeabilite cihazına yerleştirilen ve çıkarılan numuneler



Şekil 3.17. Numunenin kırılması ve su işleme derinliğinin ölçülmesi

3.2.6. Çimentolarda priz başlama ve bitiş sürelerinin tayini

Çimentonun priz süresi, su ile birleştirildiği zaman ile çimento hamurunun katılaşıp plastiklik özelliğini kaybettiği zaman arasındaki süredir. Katılaşma süresi olarak ta bilinir. Priz başlangıç ve bitiş süresi tayinine geçmeden önce çimentonun hangi oranda suyla karıştırılacağını bulmak amacıyla normal kıvam tayini deneyi yapılmıştır. Deneyde 500 gr çimento kullanılmıştır. Su oranını belirlemek için vicat aleti sonda ile birlikte kullanılmıştır. Sonda, etkili uzunluğu $50 (\pm 1)$ mm ve çapı $10,00 (\pm 0,05)$ mm olan dik silindir şeklinde, korozyona dayanıklı metalden yapılmıştır (Şekil 3.18.). Hareketleri, önemli derecede sürtünme oluşturmaksızın tam düşey olan ve eksenleri sondanın eksenleriyle çakışan hareketli parçaların toplam kütlesi $300 (\pm 1)$ gramdır.

500 gram çimento için su/çimento oranı 0,25 seçilen, yani 125 gram çimento kullanılarak hazırlanan çimento pastası ile başlanılan deneyde; pasta, sert lastikten yapılmış vicat kalıbına konmuştur. Vicat kalıbı, derinliği $40,0 (\pm 0,2)$ mm, üst iç çapı $70 (\pm 5)$ mm ve alt iç çapı $80 (\pm 5)$ mm olan kesik koni şeklindedir. Halka, düz yüzeyli bir cam levha üzerine konmuştur. Camın üst yüzeyi ve halkanın iç yüzeyi yağlanmıştır. Çimento ve suyun karıştırılma işlemi biter bitmez en çok bir dakika içerisinde vicat halkası içerisine çimento hamuru yerleştirilmiştir.

Sondanın ucu, hazırlanmış olan vicat halkasının ortasında, çimento hamurunun üst yüzeyine dokunacak kadar indirilmiş ve serbest bırakılmıştır. Sonda, kendi ağırlığı ile çimento hamurunun içerisine girmiştir. Normal kıvamlı hamur için kullanılan su yeterli ise sondanın, yarım dakika içerisinde cam levhaya 6 ± 1 mm kalıncaya kadar inmesi gerekmektedir. Bu işlem değişik miktarlardaki su ile tekrar edilerek 500 gram çimento için gerekli su miktarı 150 gram olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Vicat aleti, normal kıvam tayini için kullanılan sonda ve vicat halkası

Priz başlama ve sona erme sürelerinin tayini deneyi, belirlenen su/çimento oranına göre hazırlanmış karışımın, (su + çimento) karıştırıldıktan sonra, yani su ile çimento reaksiyona girdikten sonra ne kadar zamanda mukavemetini almaya başladığını ve ne kadar zamanda tamamladıklarını tespit etmek için TS EN 196-3+A1'e göre yapılmıştır. Deneyde kullanılan su, çimento, öğütülmüş dolomit ve YFC'nun karışım oranları, Çizelge 3.18.'de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Priz sürelerinin tayininde kullanılan malzeme oranları

Numune Adı	Malzeme Oranları			
	Su (g)	Çimento (g)	Dolomit (g)	YFC (g)
K	150	500	-	-
10D	150	450	50	-
20D	150	400	100	-
40D	150	300	200	-
5D-5YFC	150	450	25	25
10D-10YFC	150	400	50	50
20D-20YFC	150	300	100	100

Priz başlangıç ve bitiş sürelerini belirlemek için vicat aleti vicat iğnesi ile birlikte kullanılmıştır. İğnenin, etkili uzunluğu 50 (± 1) mm ve çapı 1,13 ($\pm 0,05$) mm olup, korozyona dayanıklı metalden yapılmıştır (Şekil 3.19.). Çimentoya su ilavesinin tamamlandığı an, sıfır zamanı olarak kaydedilmiştir. Hazırlanan karışımla doldurulmuş vicat kalıbı uygun bir süre sonra vicat cihazına ve iğnenin altına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.19. Vicat aleti, iğnesi, priz başlangıç ve bitiş tayini deney numunesi

İğne, pasta ile temas edinceye kadar yavaşça indirilmiştir. Hareket eden parçaların hızla inmesini önlemek için iğne, bu durumda 1-2 saniye tutulmuştur. Sonra, hareket eden parçalar birden bırakılmış ve iğnenin düşey olarak pastanın içine girmesi sağlanmıştır. İğnenin pastaya batması tamamlandıktan sonra veya iğnenin serbest bırakılmasından 30 saniye sonra (hangisi daha önce olmuşsa) taksimatlı göstergede okuma yapılmıştır. Bu işlem, her defasında vicat iğnesi temizlenmek şartıyla belirli aralıklarla tekrarlanarak; sıfır olarak kabul edilen başlangıç zamanından itibaren iğne ile taban plakası arasındaki mesafe $4 (\pm 1)$ mm oluncaya kadar geçen süre en yakın 5 dakikaya yuvarlatılarak priz başlangıç süresi olarak kaydedilmiştir.

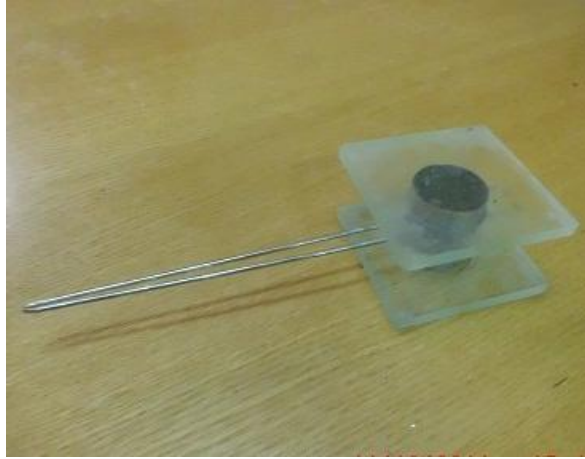
Priz başlamasından sonra da iğnenin numuneye batırılma işlemine devam edilmiş ve iğnenin ucunun 0,05 mm kadarlık kısmının pastaya battığı an ile sıfır olarak kabul edilen zaman arasındaki süre, priz sonu süresi olarak kaydedilmiştir. Gereken doğruluğu yakalama adına, priz başlangıcı ve bitişine yakın ölçüm aralıkları sıklaştırılmış, ara dönemlerde seyreltilmiştir.

3.2.7. Çimentolarda hacim sabitliği tayini

Durabilite özelliklerini etkilemesi açısından önemli bir yere sahip olan çimentodaki hacim değişimini incelemek adına TS EN 196-3+A1'e göre hacim genleşme tayini deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılacak numunelerdeki su/çimento oranı için daha önce yapılan normal kıvam tayini deneyi baz alınmış ve 500 gram çimento için 150 gram su kullanılmıştır. Çimentoda azaltmaya giderek hazırlanan diğer numuneler ve karışım oranları priz başlama ve bitiş süresi tayini deneyindeki gibi alınmıştır.

Deneye başlamadan önce silindir (le chatelier aleti) halkanın esnekliği kontrol edilmiştir. Bu amaçla le chatelier kalıbı, 300 gram ağırlık asıldığında kalıcı deformasyon olmadan çubuk uçları arasındaki açıklık en az 15 mm, en fazla 20 mm olacak şekilde tespit edilmiştir. Doldurma esnasında, silindirin yarık kısımlarının açılmaması için çubuklar bir halka yardımıyla birbirine tutturulmuştur. Daha sonra; silindir kalıplar, yağlanmış olan cam levhalar üzerine oturtulup, hamur el ile döndürülerek kalıpların içine doldurulmuştur. Bu işlem sırasında, vibrasyon ve sıkıştırma yapılmamıştır.

Doldurma işleminden sonra, silindir kalıpların üstü farklı cam levhalarla kapatılmış, çubukları tutan halkalar çıkarılmıştır (Şekil 3.20.). Üzeri kapatılan silindir kalıplar, 20 ± 1 °C'deki suyla dolu kaba zaman kaybetmeden yerleştirilmiştir. $24 \pm 0,5$ saat bu suda bekletilen silindir numuneler sudan çıkarılmış ve çubuk uçları arasındaki mesafe (A) kumpasla ölçülmüştür.



Şekil 3.20. Üzeri cam levha ile kapatılan hamur dolu silindir kalıp

Kalıpların üzerindeki cam levhalar dikkatlice kaldırıldıktan sonra kalıp çubukları bir yere temas etmeyecek şekilde numuneler, su dolu kaynatma kabına bırakılmıştır. Kaynatma kabı, 30 ± 5 dakika içinde su, kaynama ısısına gelecek şekilde ısıtılmıştır. Silindir numuneler kaynama sıcaklığında $3 \text{ saat} \pm 5 \text{ dakika}$ su içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3.21.). Bu sürenin sonunda çubuk uçlarının açıklığı (B) ölçülmüştür.



Şekil 3.21. Numunelerin kaynama sıcaklığında bekletildiği deney aleti

Numuneler suyun içinde 20 ± 2 °C'ye kadar soğutulup, laboratuvar sıcaklığına gelince, çubuk uçları arasındaki mesafe (C) aynı şekilde ölçülmüştür. (B-A), (C-B), (C-A) milimetre cinsinden ayrı ayrı hesaplanmış ve (C-A), milimetre cinsinden toplam hacim genişlemesi olarak kaydedilmiştir. Her bir karışım için 3'er adet numune hazırlanmış, aynı türden 3 numune üzerinde yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak değerler her bir karışım için elde edilmiştir. Aynı karışım için hazırlanmış 3 silindir numunesi Şekil 3.22.'de görülmektedir.



Şekil 3.22. Herbir karışım türü için hazırlanan üç numuneye örnek

3.2.8. Harç numunelerin basınç dayanımı

Harç karışım oranlarına göre hazırlanan 4x4x16 cm ölçülerinde prizma şeklindeki numuneler basınç presi ve kırma başlığı kullanılarak yan yüzeylerinden yüklemek suretiyle deneye tabi tutulmuştur. Numuneler, cihazın plakaları arasına $\pm 0,5$ mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı

plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilmiştir. Basınç mukavemeti tayini için hazırlanan numuneler Şekil 3.23.'te görülmektedir.



Şekil 3.23. Üretilen 40x40x160 mm harç numuneleri

Yük 2400 N/s hızda olmak üzere düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılmıştır. Denklem (3.3) kullanılarak numunelerin basınç mukavemeti bulunmuştur.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.3)$$

R_c = Basınç dayanımı MPa (N/mm²)

F_c = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

1600 = Numunenin üzerine basınç yükü uygulandığı en kesit alanı (mm²)

7 ve 28 günlük 7 farklı karışım oranında ve her bir karışım için 3 adet 4x4x16 cm ölçülerinde üretilen harç numuneleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak deney cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 3.24.). Harç numuneler kırma başlığı içine yerleştirilerek basınç presi yardımıyla basınç mukavemeti bulunmuştur. Her bir karışım türü için hazırlanan 3 numunenin basınç mukavemetlerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.24. Harçların basınç mukavemeti deneyi cihazı ve numune

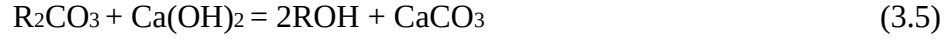
3.2.9. Harç numunelerde boy değişim tespiti

Alkali-agrega reaksiyonu, betondaki agreganın çeşitli bileşenlerinin çimento alkalileri ile reaksiyonu olarak tanımlanabilir. Bu reaksiyon sonucunda su emerek genişleyen ve betonda hasarlara yol açabilecek düzeyde çekme gerilmeleri meydana getirebilen ürünler oluşmaktadır. Günümüzde üç çeşit alkali-agrega reaksiyonu bilinmektedir. Bunlar; alkali-silis reaksiyonu (ASR), alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) ve alkali-silikat reaksiyonudur.

Bazı dolomitik kayaçların çimento alkalileri ile oluşturduğu reaksiyonlara alkali karbonat reaksiyonu (ACR) adı verilmektedir. Reaktif kayaçlar çoğunlukla ince taneli kalsit ve kil matrisi içinde dağılmış daha büyük rombik (eşkenar dörtgen) dolomit kristalleri içerir. Kalsit, kalsiyum karbonatın mineral formlarından biridir; dolomit ise kalsiyum-magnezyum karbonatın genel adıdır. Reaktif kayacın matrisinde bulunan dolomit kristalleri seyrek olarak dağılmış veya birbirine daha yakın veya değmekte olan daha kalabalık halde yer alabilmektedir. Seyrek halde bulunan kristallerin çoğu düzgün kristal şekline sahip olup diğerleri genellikle daha düzensiz kristal geometriye sahiptir.

İç yapısında kalsit ve kil barındıran ince taneli dolomitik kireçtaşlarının reaksiyonları, alkalilerle reaksiyon, belirgin bir dolomitsizleşme halkası oluşturur. Reaksiyona uğrayan ürünlerin sulandırılmış hidroklorik asit ile yıkanması sonucunda çoğunlukla silisçe zengin belirgin reaksiyon halkası açığa çıkar. Bu tip reaksiyonlar sonucunda önemli genişleme ve hasar belirlenmiştir. Tam olarak açıklanamamış olsa da, agreganın parçacıklarının içindeki kristallerin dolomitsizleşmesinin kanalları açtığı ve bu sayede önceden kuru olan kilin

nemi emerek şişmesinin genişmeye yol açtığı öne sürülmüştür. Reaksiyon, dolomitsizleşme ile brusitin (Mg(OH)₂) oluşması ve devamında alkali hidroksitin oluşması şeklinde Denklem 3.4 ve 3.5'teki gibi iki aşamada devam etmektedir (Çakır, 2007).



R = Sodyum, potasyum ve lityumu temsil etmektedir.

Harç çubuğu metodu; Amerikan standartlarında, ASTM C 227 “Çimento-Agrega Kombinasyonlarının Potansiyel Alkali Reaktivitesi için Deney Metodu” olarak isimlendirilmiştir. Bu deneyde, harç karışımların hazırlanması kısmında bahsedildiği gibi (Bkz. Çizelge 3.16.) agrega/çimento oranı 2.25 olacak şekilde bir harç karışımı hazırlanarak 25×25×285 mm boyutundaki prizmatik kalıplara dökülmüştür. Kurlenen harç çubuklarının belirli periyotlarda boy ölçümleri 0.001 mm hassasiyetle kaydedilmiştir. ASTM C33 standardına göre, reaktif olmayan agrega için genleşmeler altı ayda % 0.10 ve üç ayda % 0.05'in altında olmalıdır. Agreganın reaktivitesindeki farklılıkların anlaşılabilmesi için daha uzun süreli genleşmeler de kaydedilebilir. Yapılan deneysel çalışmada en fazla üç aylık ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.25.).



Şekil 3.25. Boy ölçümü yapılan bir harç çubuğu numunesi

3.2.10. Elektron mikroskop taramaları (SEM)

Elektron ışını katı bir cisme gönderen ve katı cisimden yansıyan elektronlarla cismin içyapısını gösteren cihaza taramalı elektron mikroskop denir. Elektronlar katı cisme çarptığında, bu elektronlar yansır veya yutulur. Yansıyan elektronlar çeşitli sinyaller üretmektedir. Yansıyan elektronların sinyalleri, ikincil (SE), geri yansıyan (BSE), Auger (AE) ve diğer yansıyan elektron sinyalleri olarak adlandırılır. Temel elektronların (PE) enerji düzeyi yaklaşık 50 (eV)'dan daha yüksektir. Bu nedenle yansıyan elektronlardan ayrı bir de geri dönen elektronlar oluşmaktadır. Yüksek enerji geri dönen elektronların (BSE) en belirleyici özelliğidir. Yutulan elektronlar katı hacim içerisinde armut şeklinde dağılmaktadır. Yutulan bu elektronlar sayesinde yapı malzemesinin mikro analizi yapılabilmektedir. Yapı malzemesinin SEM ile mikro analizinde, enerji dağıtan X ışınları (EDS) ve dalga dağıtıcı (WDS) ışın metotlarından yararlanılır. Bu analizlerde en çok kullanılan metotlar, ikincil ve geri yansıyan elektronların yakalanmasını kapsar. Tüm bu yansımalar yapı malzemesinin yüzeyindedir. İkincil elektronlar (SE), yapı malzemesinin yüzeyine ilişkin veriler sunar, geri yansıyan elektronlar (BSE) ise daha çok yapı malzemesi taneciklerinin biçimlerini belirler. Yansıyan elektronların şiddeti yapı malzemesinin özgül ağırlığı ve atom numarasıyla orantılıdır (Kırgız, 2011).

Çalışma için, 7 ve 28 günlük K, 10D, 20D, 40D, 5D-5YFC, 10D-10YFC ve 20D-20YFC hamur numuneleri üretilmiştir. Karışım oranları, priz başlangıç ve bitiş süresi tayini deneyinde kullanılan numune karışımlarının belirlendiği, normal kıvam tayini deneyinde bulunduğu şekliyle kullanılmıştır. Su geçirmez kap içerisinde kür tankında bekletilen numunelerin yapmış olduğu kimyasal reaksiyonlara ışık tutması için elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılmıştır. Her grup örneği temsil eden örnekler alınmış, mikro yapıları incelenmiştir. İncelemeler, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesinde bulunan ÜSKİM'e ait (Üniversite – Sanayi - Kamu İşbirliği Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkezi) SEM laboratuvarlarında yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak kesitler, hazırlanan numunelerin orta kısımlarından 1x1x0,5 cm ölçülerinde alınmış ve LEO EVO LS 10 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.26.). Elde edilen görüntülerin büyütülme oranları her görüntünün altında yazan magnitüde değerine göre belirlenmektedir. Örneğin; 10.00 K değeri 10.000 kat büyütülmüş bir görüntüyü verirken, 20.00 K değeri 20.000 kat büyütülmüş bir görüntüyü vermektedir.



Şekil 3.26. SEM cihazı (K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi-Üskim SEM Laboratuvarı)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

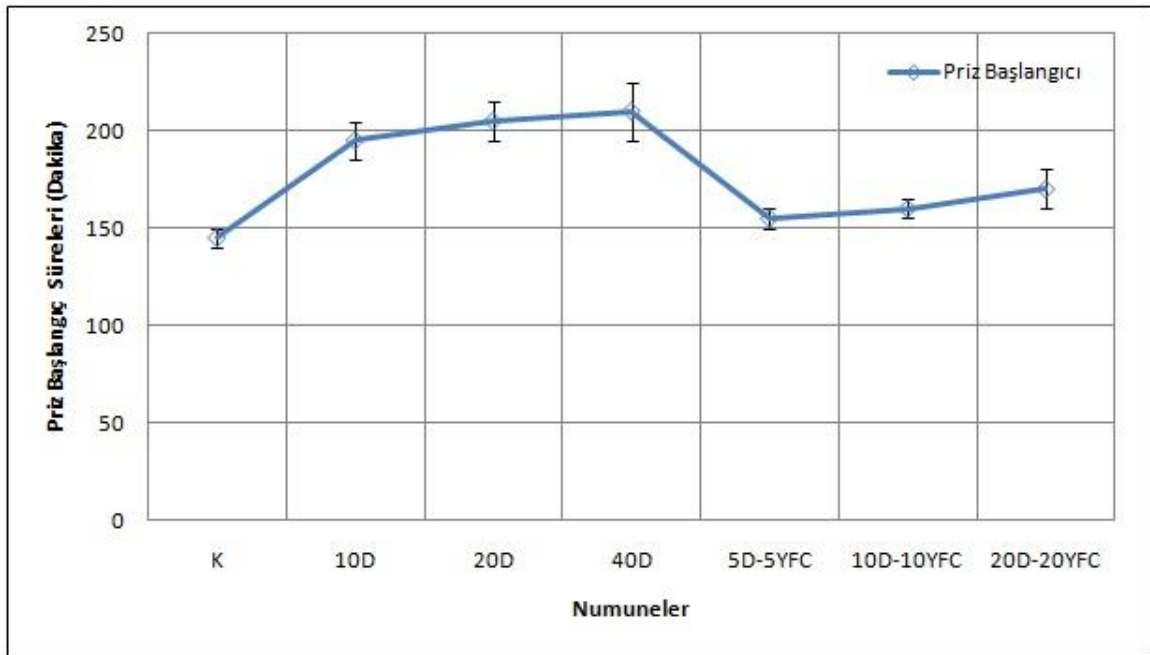
4.1. Çimentolarda Priz Başlama ve Bitiş Süreleri

Priz başlangıç ve bitiş süreleri tayini için normal kıvam tayini deneyiyle su/çimento oranı önceden tespit edilen hamur numuneler kullanılmıştır. Normal kıvam tayini, vicat aleti ve sondası yardımıyla yapılmıştır. Hamur numuneler üretilirken çimento, su ve çimento inceliğindeki dolomit ve YFC kullanılmıştır. Priz süresi tayini, vicat aleti ve iğnesi yardımıyla yapılmıştır. Kontrol numunesinin yanı sıra dolomitin tekli olarak katıldığı 3 numune, dolomit ve YFC'nun ikili olarak katıldığı 3 numune olmak üzere 6 numune daha kullanılmıştır. Numunelerin priz başlangıç ve bitiş süreleri Çizelge 4.1.'de verildiği gibidir.

Çizelge 4. 1. Hamur numunelerin priz başlangıç ve bitiş süreleri

Numuneler	Priz Başlama Süresi (Dakika)	Priz Bitiş Süresi (Dakika)
K	145 (5)*	305 (10)
10D	195 (10)	340 (15)
20D	205 (10)	350 (15)
40D	210 (15)	365 (15)
5D-5YFC	155 (5)	310 (10)
10D-10YFC	160 (5)	320 (10)
20D-20YFC	170 (10)	345 (15)

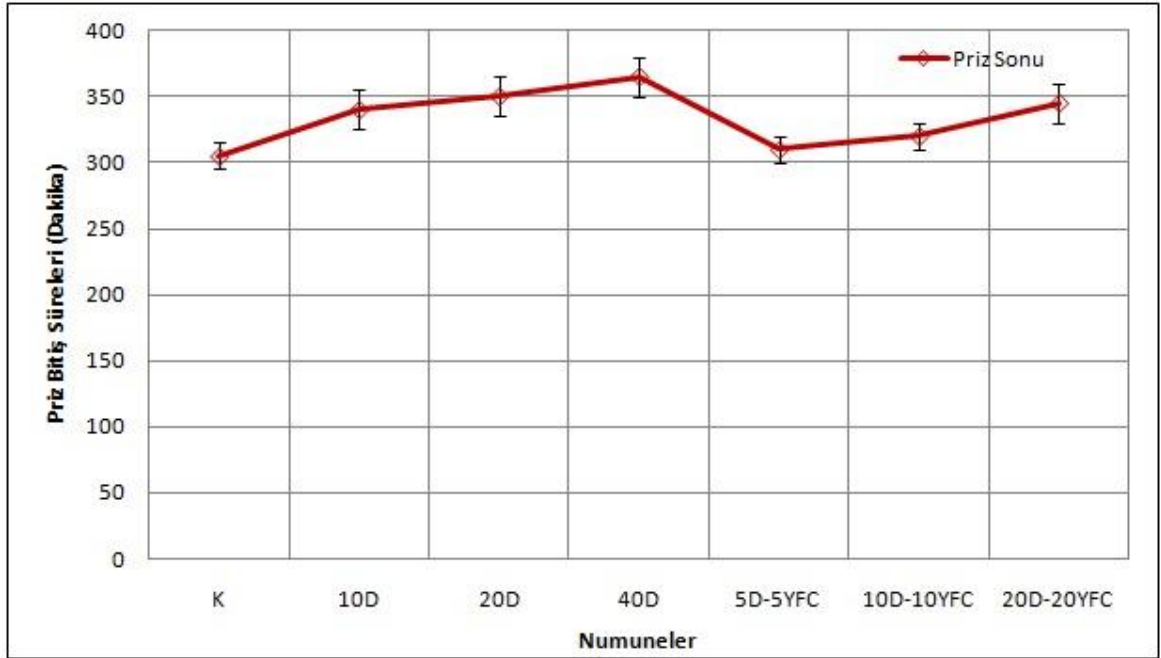
*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Hamur numunelerin priz başlangıç süreleri

Priz başlangıç süresi en uzun olan, %40 öğütülmüş dolomit katkısı içeren 40D numunesi, en düşük olan ise katkısız kontrol numunesidir. Su miktarı sabit tutularak çimento miktarının azaltıldığı, azaltılan miktar kadar tekli dolomit katkısının kullanıldığı tüm numunelerde priz başlangıç süresinin kontrol numunesine göre daha uzun olduğu ve dolomit oranı arttıkça sürenin de arttığı tespit edilmiştir.

Dolomitte birlikte %5, %10 ve %20 oranlarında ikili olarak YFC kullanılan tüm numunelerde priz başlangıcı kontrol numunesine göre gecikmiş ve katkı oranıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Ancak, aynı çimento miktarıyla, dolomitin %10, %20 ve %40 oranlarında tekli kullanıldığı ve YFC ile birlikte ikili kullanıldığı numuneler kıyaslandığında sadece dolomit katkılı numunelerde prizin ikili numuneye oranla geç başladığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak YFC'nun çimentonun hidrasyon ürünü olan CH ile tekrar reaksiyona girerek CSH oluşturmasıyla bir miktar bağlayıcılık özelliği göstermesi öngörülmektedir. %10, %20 ve %40 oranlarında tekli dolomit katkısı bulunan numunelerin priz başlangıç süreleri 195-210 dakika arasında olurken, dolomitte YFC'nun birlikte kullanıldığı numunelerin priz başlangıç süreleri 155-170 dakika arasında olmuştur (Şekil 4. 1.).



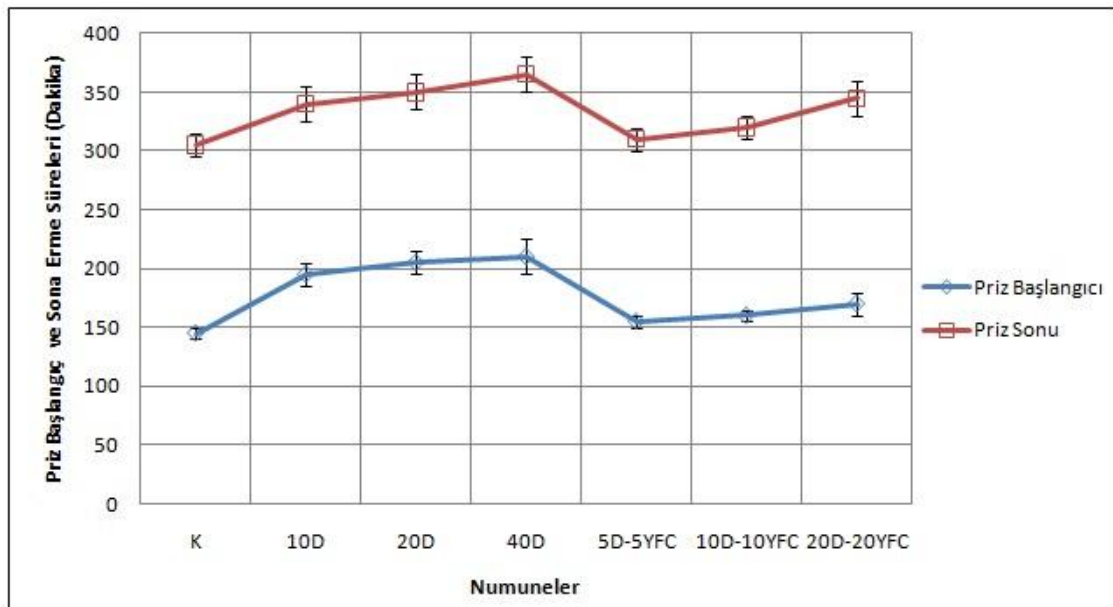
Şekil 4.2. Hamur numunelerin priz sonu süreleri

Priz sonu süresi en yüksek olan, %40 öğütülmüş dolomit katkısı içeren 40D numunesi, en düşük olan ise katkısız kontrol numunesidir. Azaltılan çimento miktarı kadar %10, %20 ve %40 oranlarında tekli dolomit katkısının kullanıldığı 10D, 20D ve 40D numunelerinde priz

sonu süresinin kontrol numunesine göre daha uzun olduğu ve dolomit oranı arttıkça sürenin de arttığı tespit edilmiştir.

Dolomitte birlikte %5, %10 ve %20 oranlarında ikili olarak YFC kullanılan 5D-5YFC, 10D-10YFC ve 20D-20YFC numunelerinde priz bitişi kontrol numunesine göre gecikmiş ve katkı oranıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Dolomitin tekli kullanıldığı ve YFC ile birlikte ikili kullanıldığı numuneler kıyaslandığında priz başlangıcında olduğu gibi, sadece dolomit katkılı numunelerde prizin ikili numuneye oranla geç sona erdiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak, dolomitin bünyesindeki MgO'in yavaş hidrate olması öngörülmektedir (Gao ve ark., 2007a).

Tekli dolomit katkısı bulunan numunelerin priz sona erme süreleri 340-365 dakika arasında olurken, dolomitte YFC'nun birlikte kullanıldığı numunelerin priz sona erme süreleri 310-345 dakika arasında olmuştur (Şekil 4. 2.). ASTM C 191 standardında priz başlama süresinin en az 45 dakika, priz sona erme süresinin en fazla 375 dakika olması gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçların ilgili standarttaki aralıkta olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Hamur numunelerin priz başlangıç ve sona erme süreleri

Şekil 4.3.'te harç numunelerin priz başlangıç ve sona erme süreleri birlikte verilmiştir. Priz başlangıcındaki katkı etkilerinin priz sona erme süresinde de başlangıca paralel davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

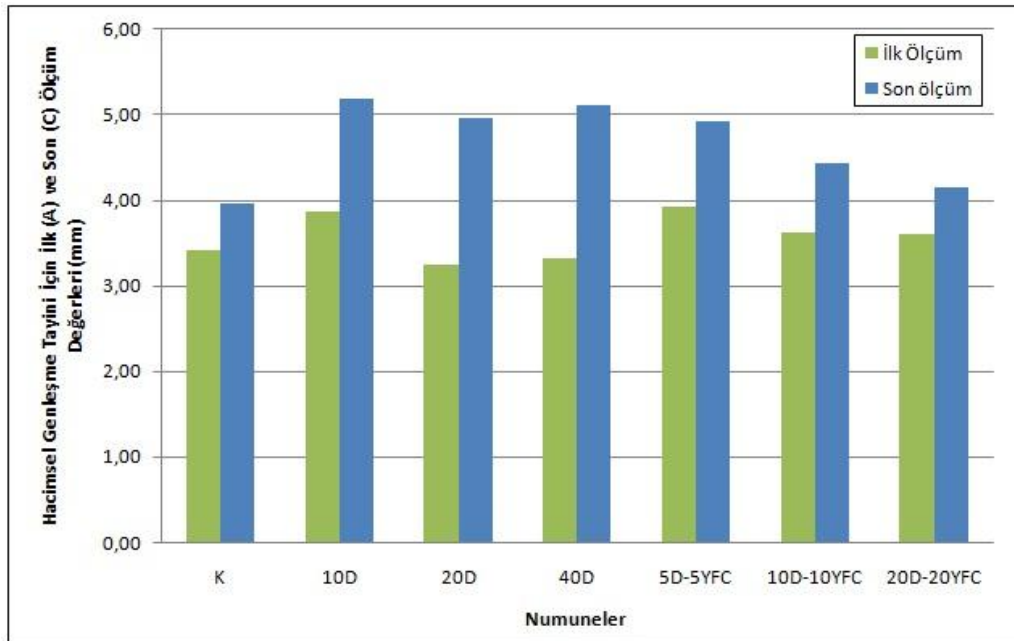
4.2. Çimentolarda Hacim Sabitliği Değerleri

Hacim genleşme değerlerinin tayini için normal kıvam tayini deneyiyle su/çimento oranı önceden tespit edilen hamur numuneler kullanılmıştır. Kontrol numunesinin yanı sıra dolomitin tekli olarak katıldığı 3 numune, dolomit ve YFC'nun ikili olarak katıldığı 3 numune olmak üzere 6 numune daha kullanılmıştır. Numunelerin 24 saat suda bekletildikten sonraki ilk ölçümleri, kaynatılıp soğutulduktan sonraki son ölçümleri ve hacim genleşmesi değerleri mm cinsinden Çizelge 4.2.'de verildiği gibidir.

Çizelge 4. 2. Hamur numunelerin ilk ve son ölçümleri, hacim genleşmesi değerleri

Numuneler	24 Saat Kür Sonundaki Ölçüm (mm) - A	Kaynayıp Soğuduktan Sonraki Ölçüm (mm) - C	Hacim Genleşmesi (mm) - C-A
K	3,42	3,96	0,54 (0,13)*
10D	3,86	5,18	1,32 (0,27)
20D	3,25	4,96	1,71 (0,31)
40D	3,32	5,11	1,79 (0,38)
5D-5YFC	3,92	4,93	1,01 (0,28)
10D-10YFC	3,63	4,44	0,81 (0,23)
20D-20YFC	3,61	4,16	0,55(0,16)

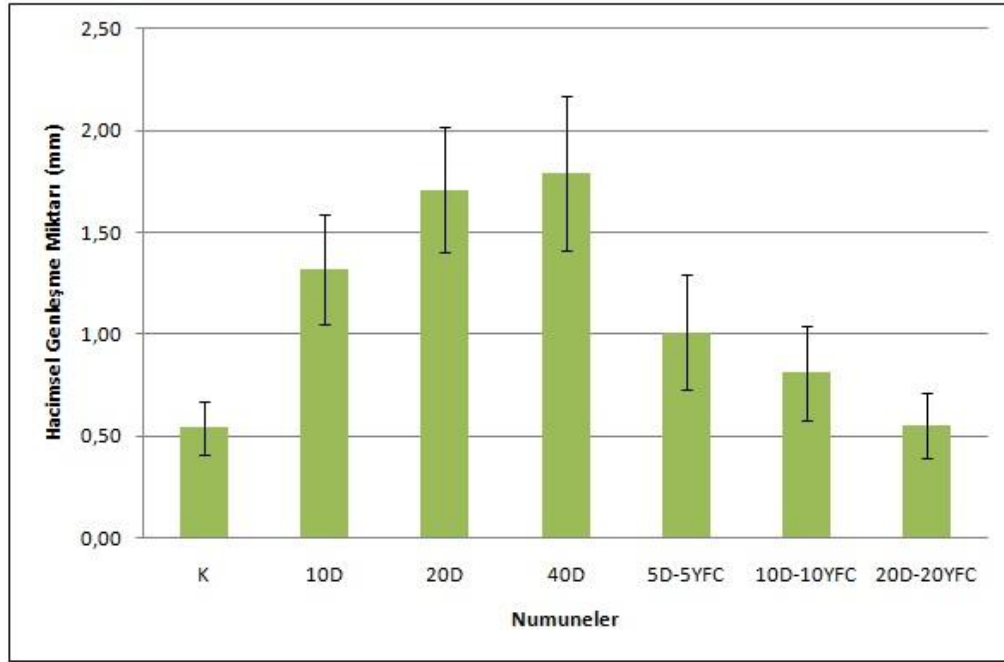
*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Hamur numunelerin hacim genleşmesi tayini için ilk ve son ölçüm değerleri

Hacim genleşmesi tayini için her karışım türünden 3 adet numune hazırlanmış ve ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Numunelerin ilk ve son ölçümleri

kıyaslandığında, her numunede hacim genişmesinin meydana geldiği, ancak numunelerin içerdiği malzemelere göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.4.).

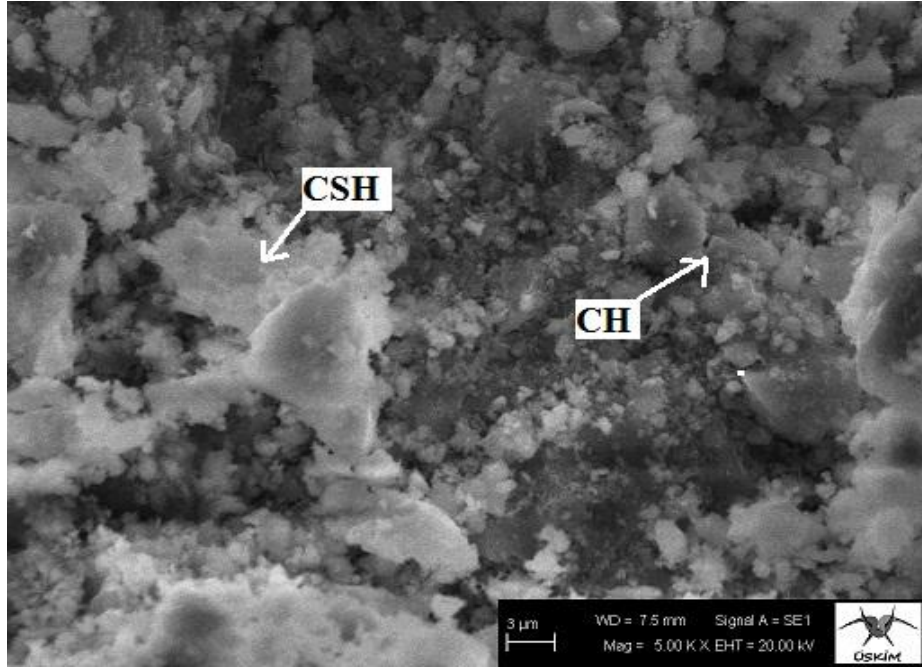


Şekil 4.5. Hamur numunelerin hacimsel genleşme değerleri

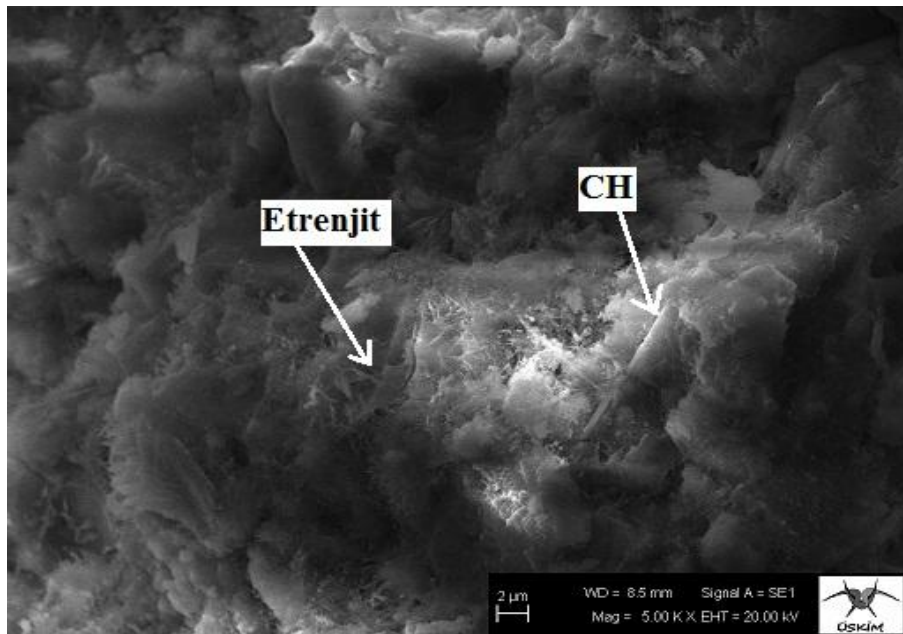
24 saat kür uygulamasından sonra 3 saat süreyle kaynatılan ve soğutulan numunelerin ölçümlerinden kür sonundaki ölçümler çıkarılarak hacim genişmesi değerleri mm cinsinden tespit edilmiştir (Şekil 4.5.). En yüksek değere %40 öğütülmüş dolomit katkısı içeren 40D numunesinin, en düşük değere ise katkısız kontrol numunesinin sahip olduğu tayin edilmiştir. Dolomit katkı oranı arttıkça hacim genişmesi değerinin de arttığı görülmüştür. Bu durumun başlıca sebebi, malzeme içeriğindeki CaO ve MgO'nin hidrasyonundan kaynaklandığı, malzemedeki CaO ve MgO'nin suyla olan reaksiyonu sonucunda Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 oluşmakta ve genişmeye sebebiyet vermektedir. Ayrıca, çimento ve mineral katkı kullanılmasıyla serbest CaO ve MgO meydana gelebilmektedir. Meydana gelen CaO ve MgO genişmeye neden olabilmektedir. Çimento ve dolomit ile birlikte YFC kullanılmasıyla bağlanamayan CaO ve MgO azaltılabilmekte, bu yüzden çimento hamurunun genleşme değerlerinde azalma olmuştur. Bu azalma YFC oranının artmasıyla artış göstermiştir. Öyle ki, %20 dolomit %20 YFC içeren 20D-20YFC numunesinin genleşme değeri 0,55 mm olup, genişmesi 0,54 mm olan kontrol numunesine oldukça yaklaşmıştır. Ayrıca, tüm numunelerin hacim genişmesi değerleri TS-EN 196-3+A1 standardı tarafından verilen üst limit olan 10 mm değerinden düşüktür.

4.3. Elektron Mikroskop Görüntüleri (SEM)

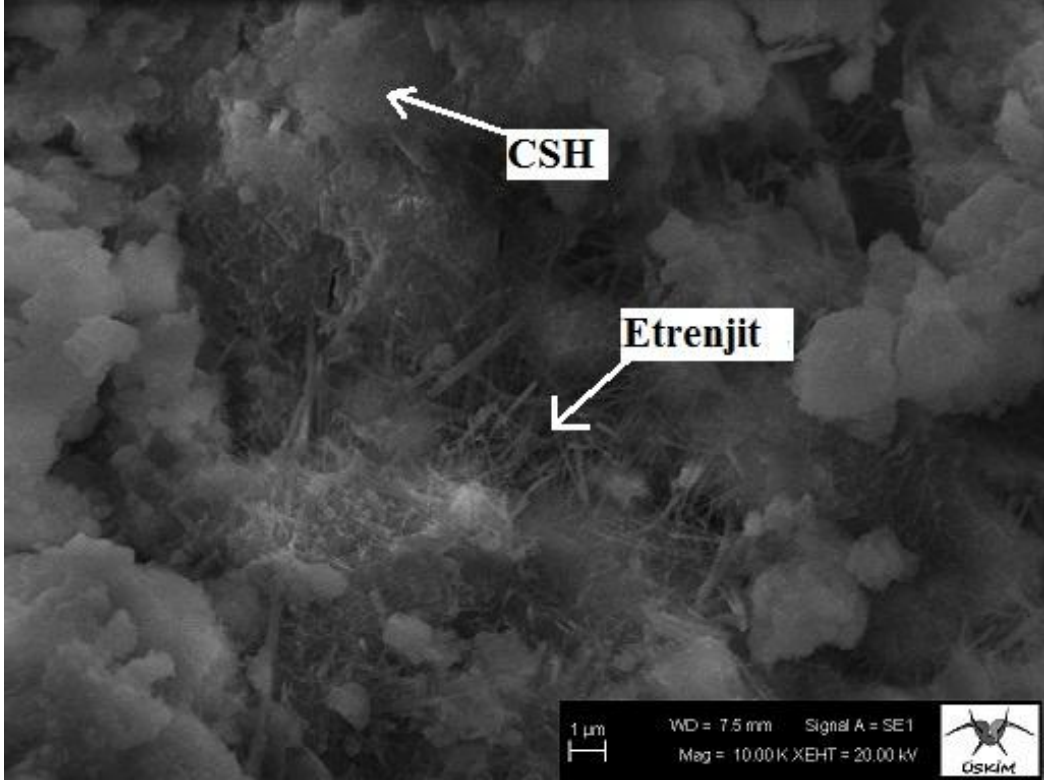
Katkısız kontrol numunesi ile birlikte dolomitin tekli kullanıldığı 3, dolomit ve YFC'nun ikili kullanıldığı da 3 olmak üzere toplam 7 farklı hamur karışımı hazırlanmış, 7 ve 28 günlük SEM taramalarına bakılmıştır. 7 günlük kontrol numunesinin ve 20D numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir (Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.). 7 günlük 40D numunesinin ve 10D-10YFC numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir (Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.).



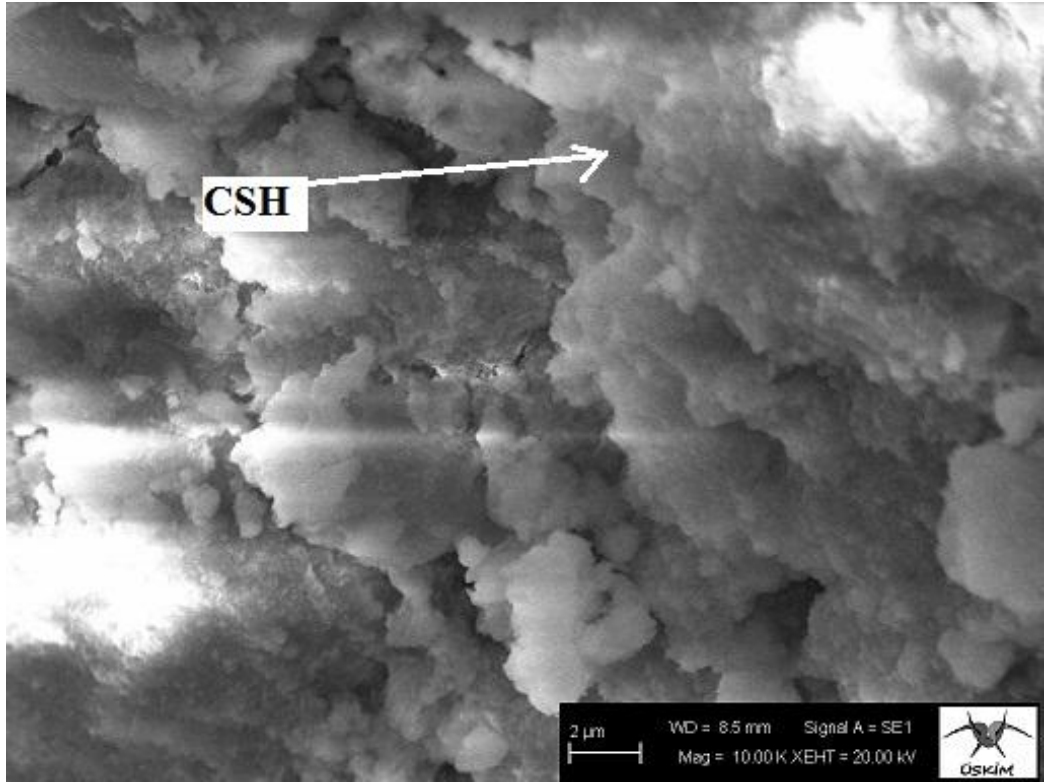
Şekil 4.6. Kontrol numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü



Şekil 4.7. 20D numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü

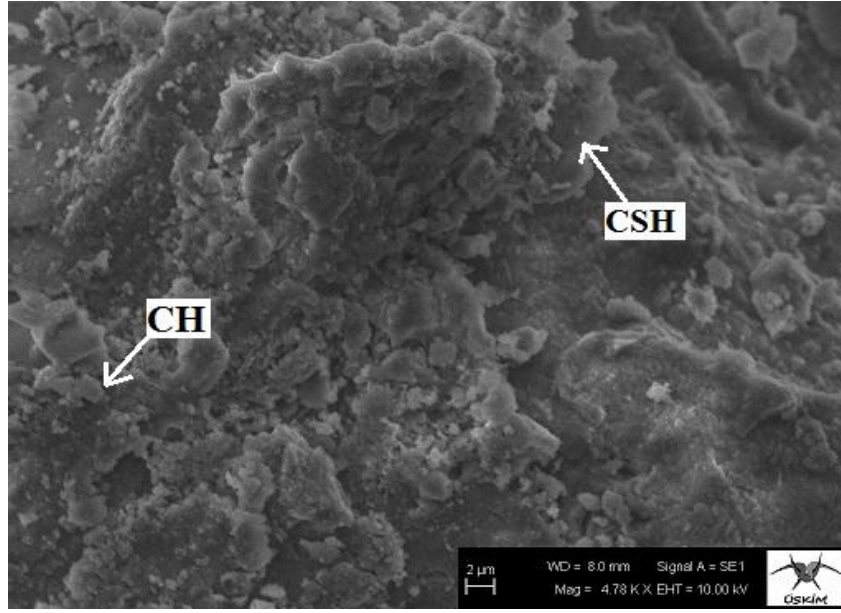


Şekil 4.8. 40D numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü

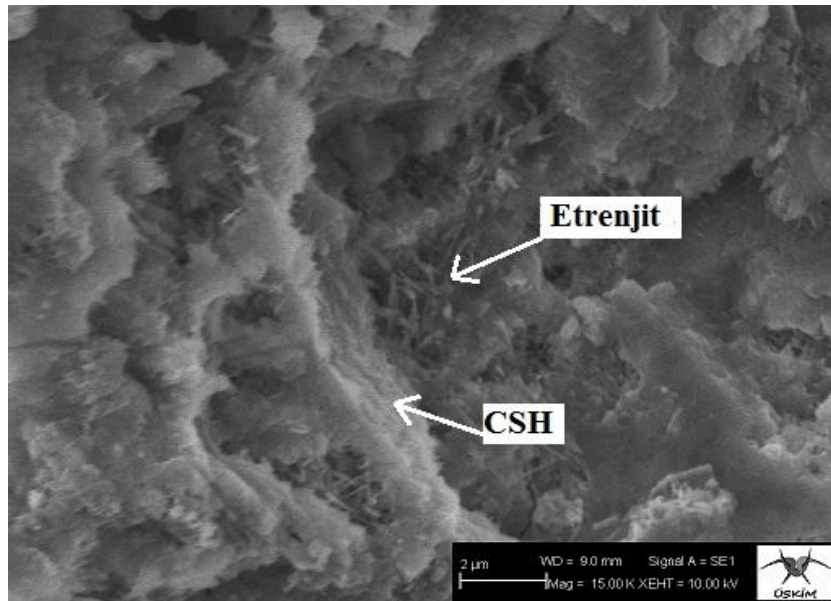


Şekil 4.9. 10D-10YFC numunesinin 7 günlük SEM görüntüsü

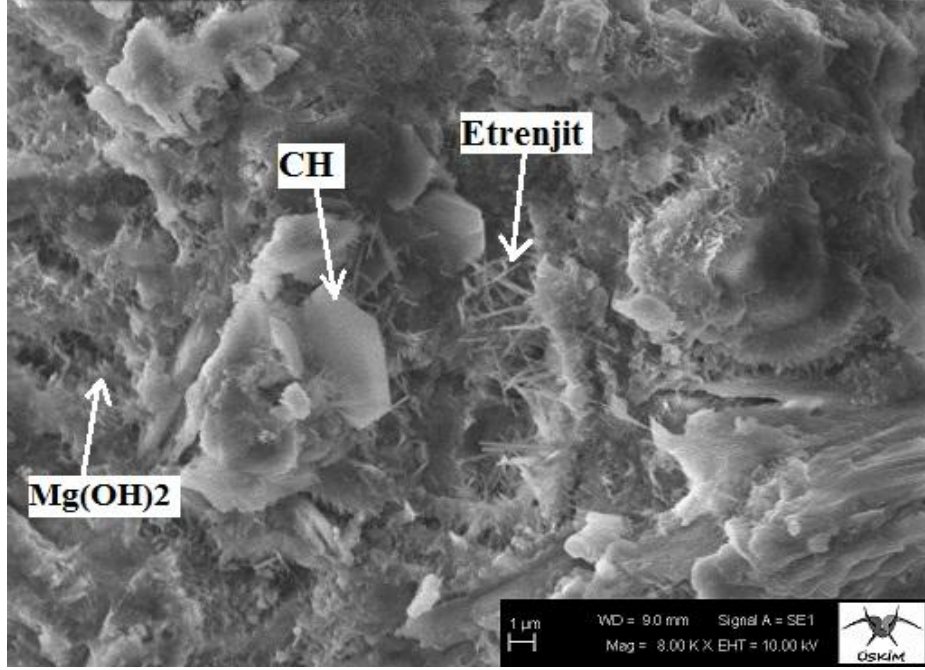
7 günlük elektron mikroskop taramaları incelendiğinde; kontrol numunesinde CSH ve CH oluşumu gözlemlendiği, sadece dolomit katkısının kullanıldığı 20D ve 40D numunelerinde etrenjit oluşumlarının olduğu ve YFC katkısı içeren 10D-10YFC numunesinde YFC kullanımına bağlı olarak CSH miktarının arttığı görülmüştür. 28 günlük kontrol ve 20D numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir (Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.). 28 günlük 40D ve 10D-10YFC numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir (Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.). 28 günlük sonuçlar ele alındığında ise 7 günlük taramalarda görülen oluşumların yoğunlaşarak devam ettiği görülmüştür.



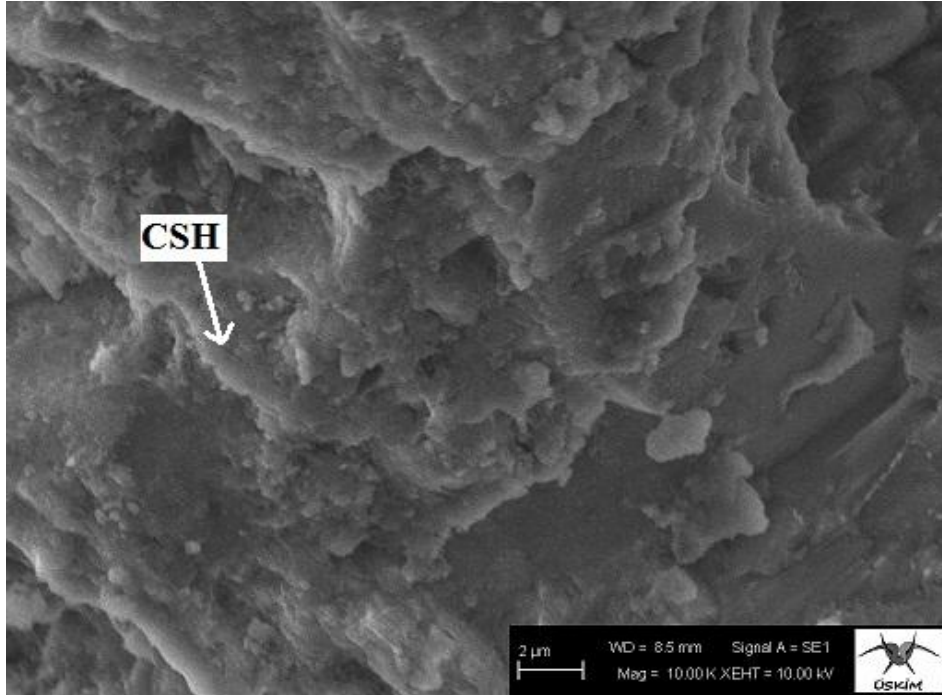
Şekil 4.10. Kontrol numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü



Şekil 4.11. 20D numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü



Şekil 4.12. 40D numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü



Şekil 4.13. 10D-10YFC numunesinin 28 günlük SEM görüntüsü

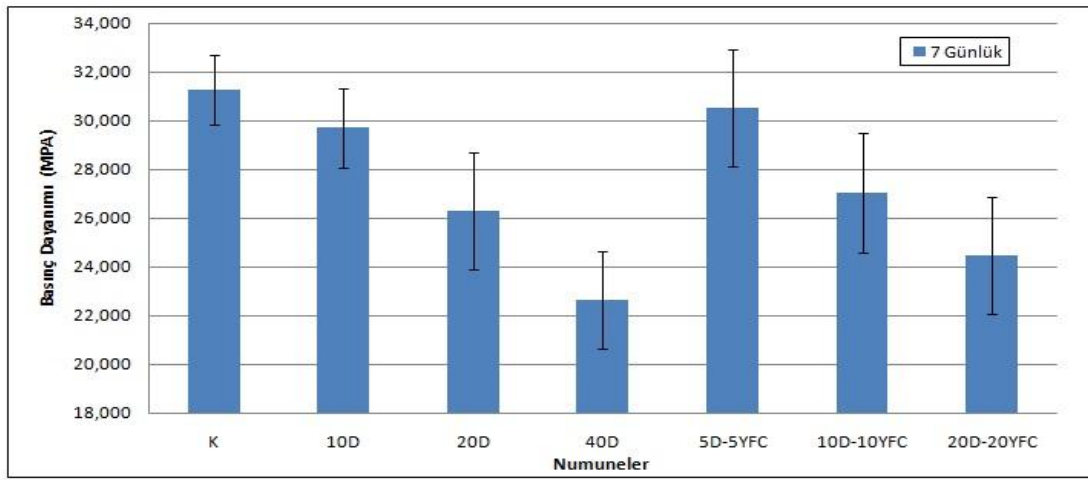
4. 4. Harç Numunelerin Basınç Dayanımları

Harç numunelerin basınç dayanımları, kür havuzunda bekletilen prizma numuneler üzerinde bulunmuştur. Kontrol ve 6 farklı karışım şeklinde üretilen harç numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri Mpa (N/mm^2) cinsinden Çizelge 4. 3.'te verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Harç numunelerin basınç dayanımları

Numuneler	7 Gün (Mpa)	28 Gün (Mpa)
K	31,27 (1,45)*	45,51 (3,70)
10D	29,71 (1,62)	44,48 (3,00)
20D	26,30 (2,41)	39,50 (2,98)
40D	22,63 (2,00)	30,56 (2,67)
5D-5YFC	30,50 (2,40)	46,70 (3,36)
10D-10YFC	27,05 (2,45)	41,99 (2,17)
20D-20YFC	24,44 (2,40)	39,75 (3,64)

*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.

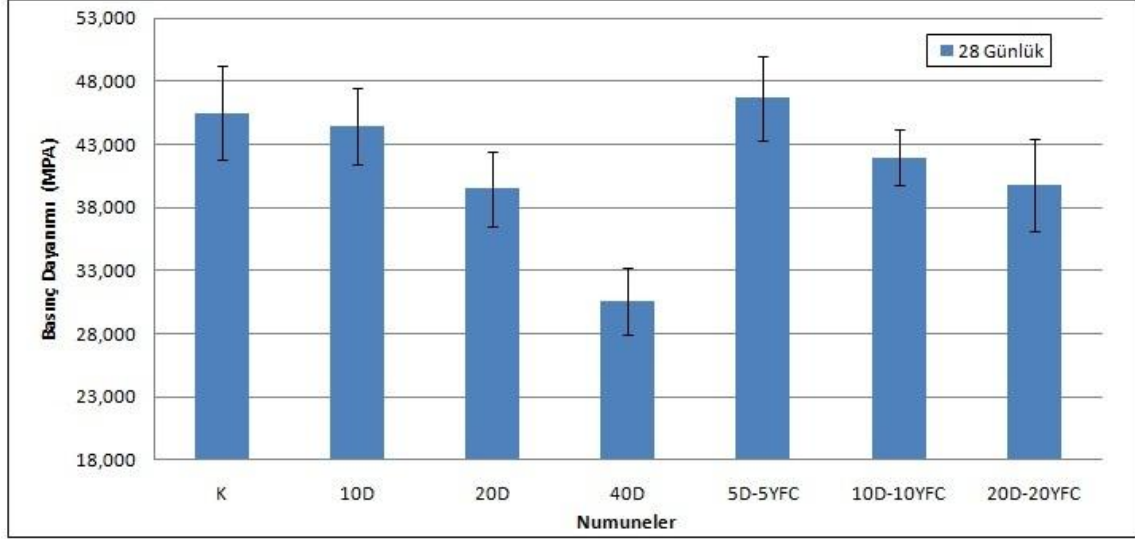


Şekil 4.14. 7 günlük harç numunelerin basınç dayanımları

Çizelge 4.3.'te verilen değerler, üç adet numune basınç dayanımının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 14. incelendiğinde, 7 günlük basınç dayanımı en büyük olan kontrol numunesi, en düşük olan ise çimentonun % 40'ı yerine öğütülmüş dolomit katkısı kullanılan 40D numunesidir. Su ve standart kum miktarı sabit tutularak çimentoyla dolomitin belirli oranlarda yer değiştirilmesiyle elde edilen numunelerin mukavemet gelişimi, kontrol numunesine göre daha düşüktür. Bunun sebebinin, çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan ve numuneye dayanım veren ürünlerin çimento miktarı azaltılarak yerine dolomit kullanılması sonucu daha az oluşmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Ancak, çimento yerine dolomit ile birlikte belirli oranlarda YFC da katılan numunelerin dayanım gelişimi ise sadece dolomit katkısı bulunan numunelere göre daha iyi olmuştur. Bunun sebebinin ise YFC'nun CH'lar ile reaksiyona girerek CSH'lara dönüştürmesi olarak öngörülmektedir.

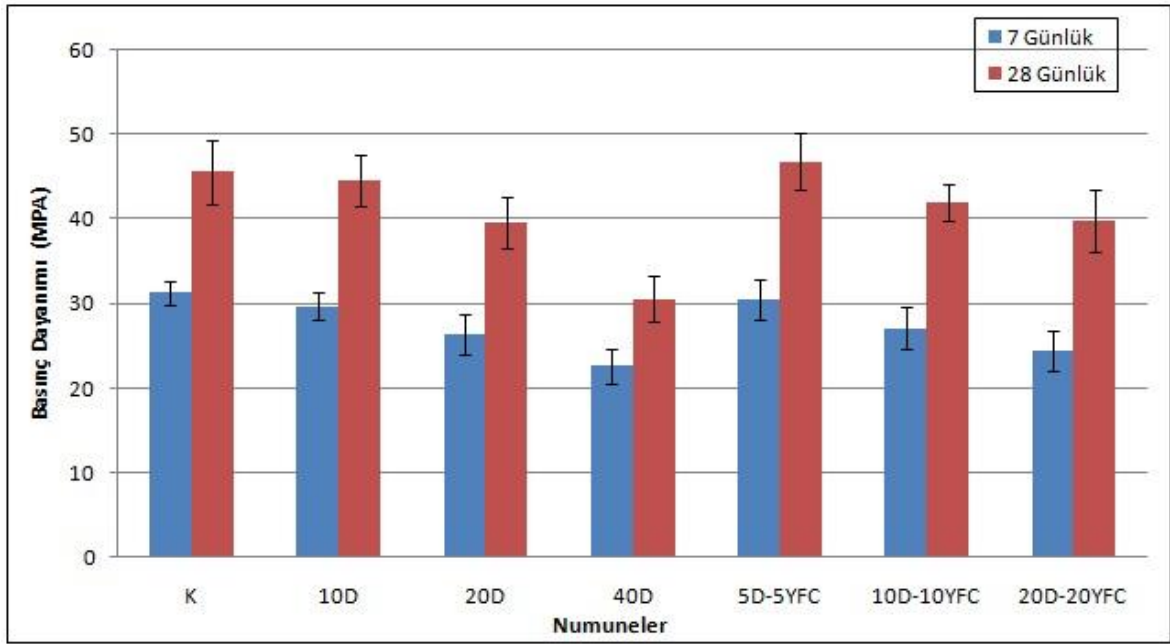
YFC'nun hidratasyonunun çimento hidratasyonuna göre daha yavaş gerçekleşmesi nedeniyle YFC ilave edilen tüm numunelerin 7 günlük dayanım sonuçları kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. Kontrol numunesi, dolomit ve YFC katkılı örneklerin 7 günlük dayanım değerleri 22 – 31 MPa arasındadır. 28 günlük numunelerin basınç dayanımları ise Şekil 4. 15.'te verilmiştir.



Şekil 4.15 28 günlük harç numunelerin basınç dayanımları

28 günlük basınç dayanımı en yüksek olan numune; çimento yerine % 5 dolomit, % 5 YFC katkısı içeren 5D-5YFC numunesidir. Dolomit ve YFC katkılı örneklerin basınç dayanımları en az 30,56 iken en fazla 46,70 MPa olmuştur (Şekil 4. 15.). 28 günlük 5D-5YFC numunesinin basınç dayanımı, kendisinden sonraki en yüksek dayanıma sahip olan kontrol numunesinden % 2,61 daha büyüktür.

7 günlük numunelerde olduğu gibi 28 günlük numunelerde de sadece dolomit katkısı basınç dayanımını azaltmıştır. Ancak, YFC katkısı ile CH'ların bağlanması sonucu sadece dolomit katkılı numunelere göre YFC katkısı da içeren numunelerin mukavemet gelişiminin daha yüksek olduğu görülmüştür. Öyle ki, 5D-5YC numunesinin 28 günlük dayanım değeri kontrol numunesinden de fazla olmuştur. 7 günlük sonuçlarda 5D-5YFC numunesinin kontrol numunesinden daha düşük değerde kalmasının ise YFC'nin hidratasyonunun çimentonun hidratasyonundan yavaş gerçekleşmesiyle ilişkili olduğu öngörülmektedir. Şekil 4.16.'da harç numunelerin basınç dayanımları bir arada verilirken, araştırmada bulunan 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının kontrol numunesiyle yüzde olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Bulunan değerler Çizelge 4.4.'te sunulmuştur.



Şekil 4.16. Harç numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Çizelge 4.4. Harç numunelerin basınç dayanımlarının aynı gündeki kontrole oranı (%)

Numuneler	7 Gün (%)	28 Gün (%)
K	100,00	100,00
10D	95,01	97,74
20D	84,11	86,79
40D	72,37	67,15
5D-5YFC	97,54	102,61
10D-10YFC	86,50	92,27
20D-20YFC	78,16	87,34

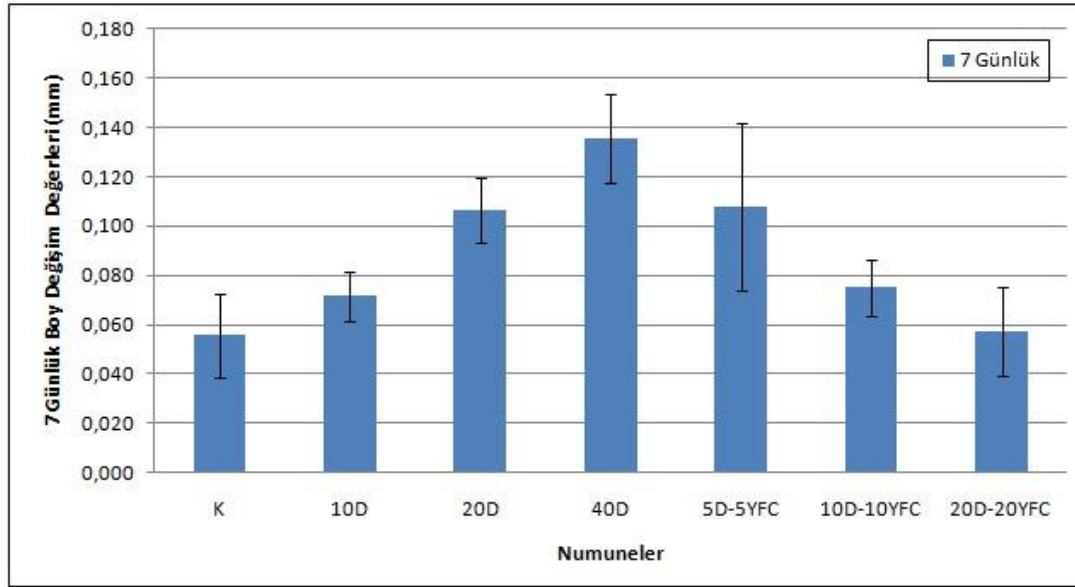
4.5. Harç Numunelerde Boy Değişim Tayini

ASTM C 227'ye göre 25x25x285 mm boyutlarındaki harç numunelerin boy değişim değerleri tespit edilmiştir. 7, 28, 56 ve 90. günlerde ölçümler alınmıştır (Çizelge 4. 5.). Her oran için 3 numunede ölçüm yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır. Kontrol numunesinin yanı sıra dolomitin %10, %20 ve %40 oranlarında tekli olarak katıldığı 3 numune, dolomit ile birlikte YFC'nun %5, %10 ve %20 oranlarında ikili olarak katıldığı 3 numune olmak üzere 6 numune daha kullanılmıştır.

Çizelge 4. 5. Harç çubuklarının günlere göre boy değişim değerleri

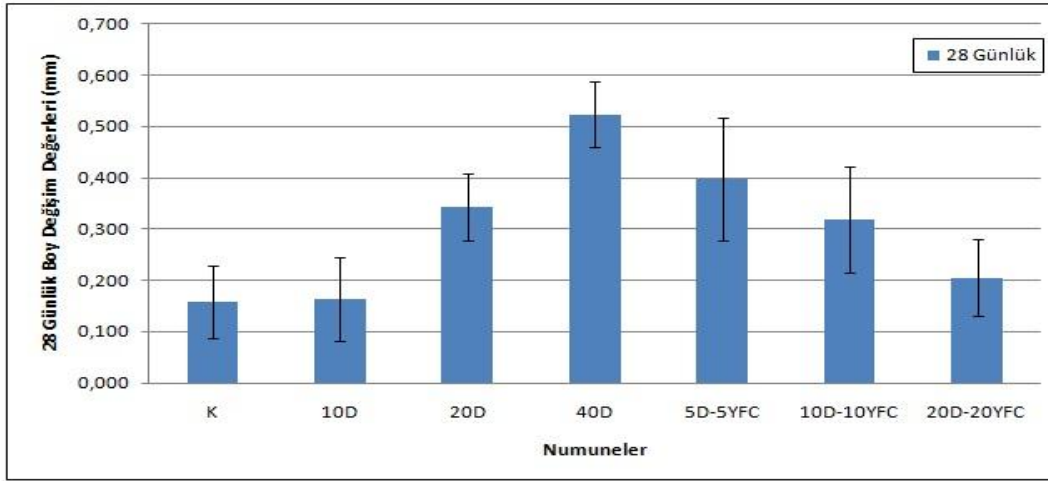
Numuneler	7 Günlük Değişim (mm)	28 Günlük Değişim (mm)	56 Günlük Değişim (mm)	90 Günlük Değişim (mm)
K	0,056 (0,017)*	0,158 (0,070)	0,194 (0,110)	0,236 (0,100)
10D	0,072 (0,010)	0,163 (0,082)	0,384 (0,122)	0,792 (0,158)
20D	0,106 (0,013)	0,343 (0,065)	0,618 (0,083)	0,828 (0,135)
40D	0,136 (0,018)	0,523 (0,064)	0,633 (0,145)	0,888 (0,197)
5D-5YFC	0,108 (0,034)	0,398 (0,119)	0,540 (0,087)	0,784 (0,133)
10D-10YFC	0,075 (0,012)	0,319 (0,104)	0,529 (0,083)	0,655 (0,126)
20D-20YFC	0,057 (0,018)	0,205 (0,075)	0,502 (0,096)	0,613 (0,118)

*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.



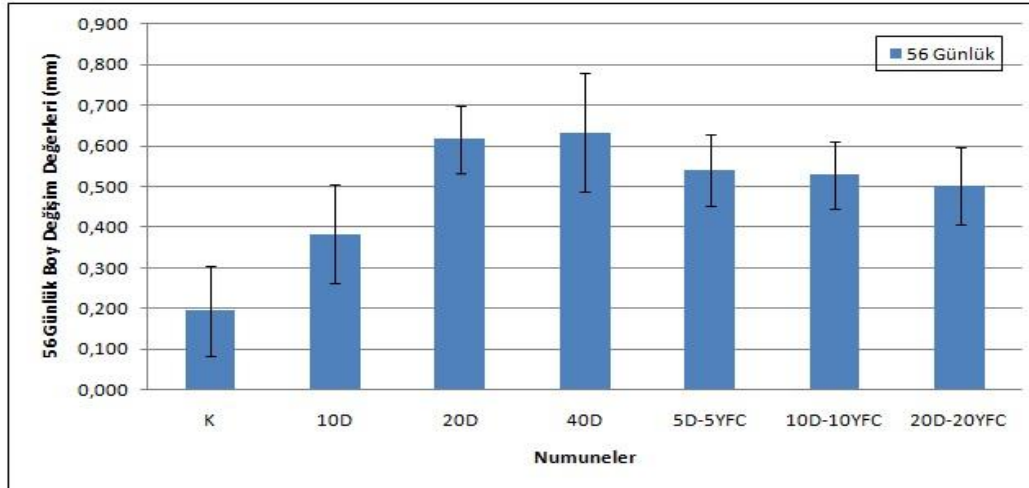
Şekil 4.17. Harç çubuklarının 7 günlük boy değişim değerleri

7 günlük değerler göz önünde bulundurulduğunda en fazla boy değişimi gösteren numune, %40 dolomit katkısı içeren 40D numunesi, en düşük olan ise katkısız kontrol numunesidir. Karışıma eklenen dolomit katkı oranı arttıkça 7 günlük boy değişiminde de doğrusal olarak artış olduğu tespit edilmiştir. Dolomit içeren numunelerin 7 günlük boy değişimleri 0,072 ile 0,136 mm arasında olmuştur. Ancak, dolomit ile birlikte YFC'nun %5, %10 ve %20 oranlarında ikili olarak kullanılmasıyla ve YFC oranı arttıkça numune boyunda daha az artış olduğu görülmüştür. İkili katkı kullanılan numunelerin boy değişimleri 0,108 ile 0,057 mm arasında olmuştur (Şekil 4.17.).



Şekil 4.18. Harç çubuklarının 28 günlük boy değişim değerleri

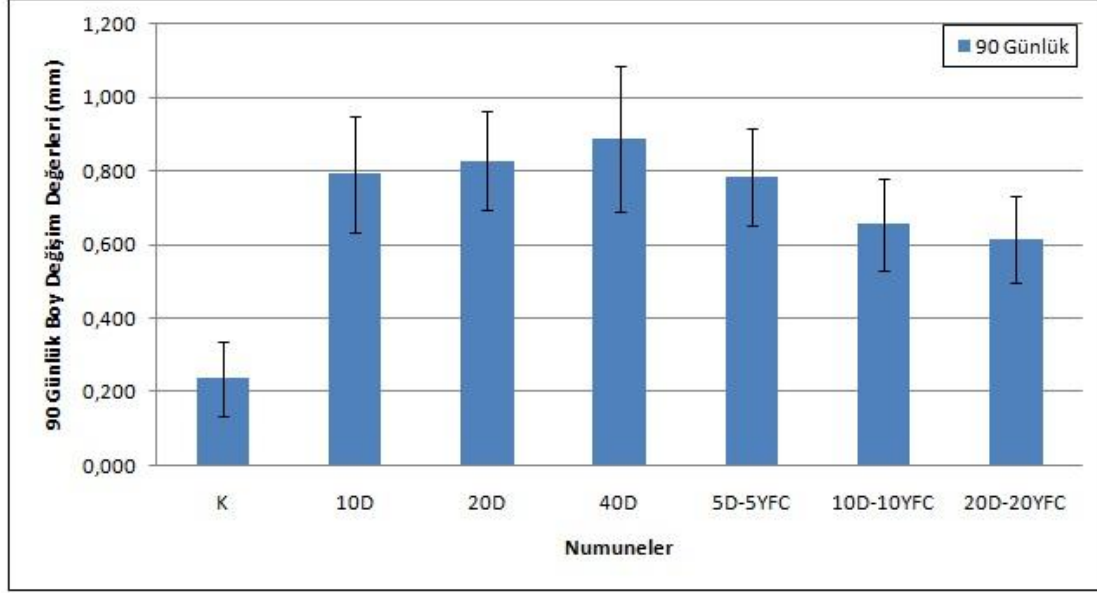
28 günlük değerler göz önünde bulundurulduğunda en fazla boy değişimi gösteren numune, 7 günlük ölçümlerde olduğu gibi %40 dolomit katkısı içeren 40D numunesi, en düşük olan ise katkısız kontrol numunesi olmuştur. Dolomit içeren numunelerin 28 günlük boy değişimleri 0,163 ile 0,523 mm arasında olmuştur. Yine, 7 günlük numune boy değişimlerinde olduğu gibi, dolomit ile birlikte YFC kullanılmasıyla ve YFC oranı arttıkça numune boyundaki artışın azaldığı görülmüştür. %5, %10 ve %20 oranlarında ikili katkı kullanılan numunelerin boy değişimleri 0,398 ile 0,205 mm arasında olmuştur (Şekil 4.18.).



Şekil 4.19. Harç çubuklarının 56 günlük boy değişim değerleri

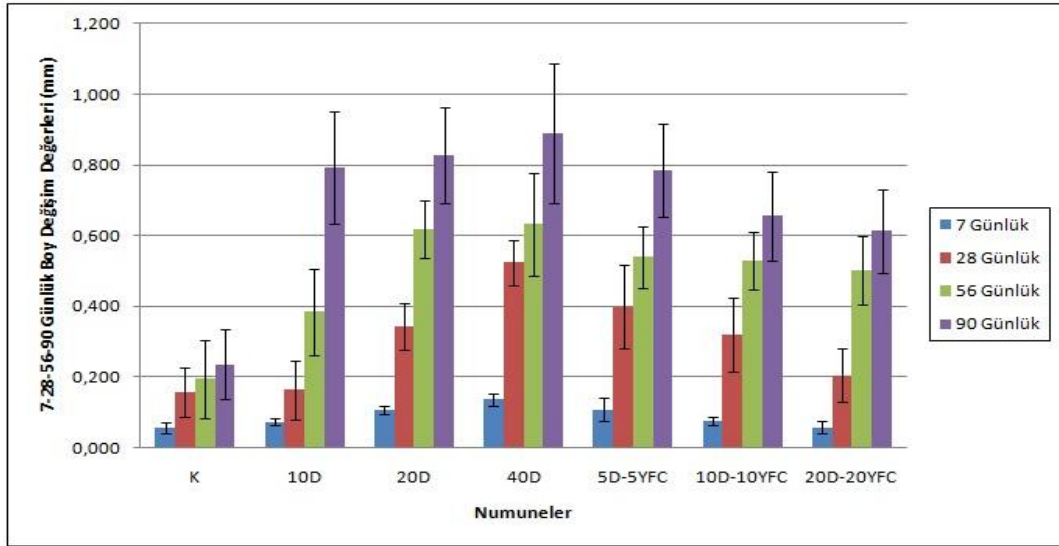
56 günlük değerler göz önünde bulundurulduğunda en fazla boy değişimi gösteren numune, 7 ve 28 günlük ölçümlerde olduğu gibi %40 dolomit katkısı içeren 40D numunesi, en düşük olan ise katkısız kontrol numunesi olmuştur. Dolomit içeren numunelerin 56 günlük boy değişimleri 0,384 ile 0,633 mm arasında olmuştur. Yine, 7 ve

28 günlük ölçümlerdeki gibi, dolomitte birlikte YFC kullanılmasıyla ve YFC oranı arttıkça numune boyundaki artışın azaldığı görülmüştür. %5, %10 ve %20 oranlarında ikili katkı kullanılan numunelerin boy değişimleri 0,540 ile 0,502 mm arasında olmuştur (Şekil 4.19.).



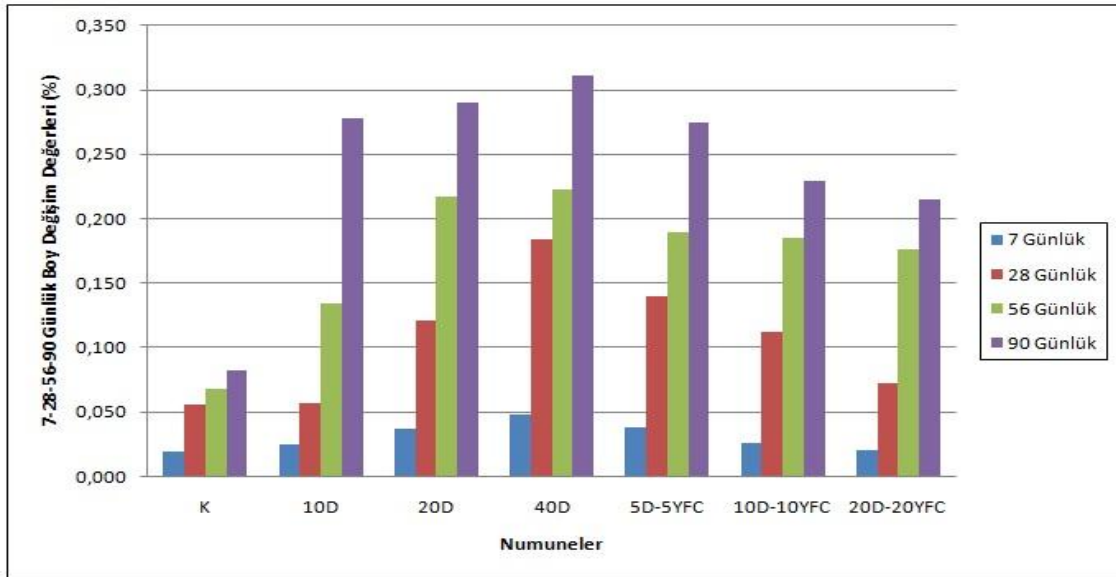
Şekil 4.20. Harç çubuklarının 90 günlük boy değişim değerleri

90 günlük değerler göz önünde bulundurulduğunda en fazla boy değişimi gösteren numune; %40 dolomit katkısı içeren 40D numunesi, en düşük olan ise katkısız kontrol numunesi olmuştur. Dolomit içeren numunelerin 90 günlük boy değişimleri 0,792 ile 0,888 mm arasında olmuştur. Yine; 7, 28 ve 56 günlük ölçümlerdeki gibi, dolomitte birlikte YFC kullanılmasıyla ve YFC oranı arttıkça numune boyunda daha az artış olduğu görülmüştür. %5, %10 ve %20 oranlarında ikili katkı kullanılan numunelerin boy değişimleri 0,784 ile 0,613 mm arasında olmuştur (Şekil 4.20.).



Şekil 4.21. Harç çubuklarının günlere göre boy değişim değerleri

7, 28, 56 ve 90 günlük değerler birlikte değerlendirildiğinde, tüm karışım türlerinde zamana bağlı olarak boy değişiminin arttığı, ölçüm yapılan bir gündeki numunelerin boy değişimlerinin diğer günlerdeki ölçümlerle orantılı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4. 21.). Elde edilen boy değişim değerleri, $[(100 \times \text{boy değişimi}) / 285]$ formülü kullanılarak boy değişim yüzdelere dönüştürülmüştür (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. Harç çubuklarının günlere göre boy değişim yüzdeleri

ASTM C33 standardına göre, reaktif olmayan agrega için genleşmeler altı ayda % 0,10 ve üç ayda % 0,05'in altında olmalıdır. Agreganın reaktivitesindeki farklılıkların anlaşılabilmesi için daha uzun süreli genleşmeler de kaydedilebilir. Ancak, 3 aylık ölçümler sonucunda tüm numunelerin genleşme değeri % 0,05'in üzerinde bulunmuştur

(Şekil 4.22.). En yakın değeri ise % 0,0827 ile kontrol numunesi sağlamıştır. Dolomit katkı oranı arttıkça MgO'ın reaksiyonu sonucu oluşan $Mg(OH)_2$ miktarı artmakta ve genleşmeye bağlı olarak boy değişim değerinin de arttığı görülmüştür. Dolomit ile birlikte kullanılan YFC ile bağlanamayan CaO miktarı azaltılabilmektedir. Bunun sonucu olarak, YFC kullanılmasıyla boy değişimlerdeki artış bir miktar sönümlenmiştir. Bu azalma YFC oranının artmasıyla artış göstermiştir.

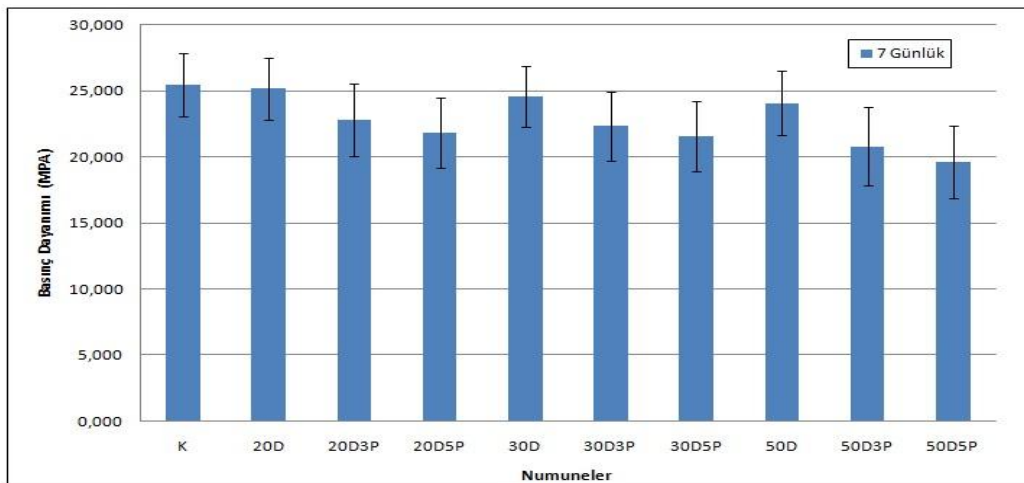
4. 6. Beton Numunelerin Basınç Dayanımı

Beton numunelerin basınç dayanımları, küp numuneler üzerinde bulunmuştur. Kontrol ve 9 farklı karışım şeklinde üretilen beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri Mpa (N/mm^2) cinsinden Çizelge 4. 6.'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Beton numunelerin basınç dayanımları

Numuneler	7 Gün (Mpa)	28 Gün (Mpa)
K	25,48 (2,38)*	32,17 (3,05)
20D	25,16 (2,35)	29,74 (2,72)
20D3P	22,81 (2,75)	24,87 (2,96)
20D5P	21,79 (2,66)	24,11 (2,90)
30D	24,57 (2,29)	29,01 (2,66)
30D3P	22,33 (2,62)	23,70 (2,75)
30D5P	21,56 (2,65)	22,53 (2,73)
50D	24,07 (2,44)	26,89 (2,68)
50D3P	20,80 (2,95)	21,94 (3,11)
50D5P	19,61 (2,77)	20,92 (2,95)

*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.

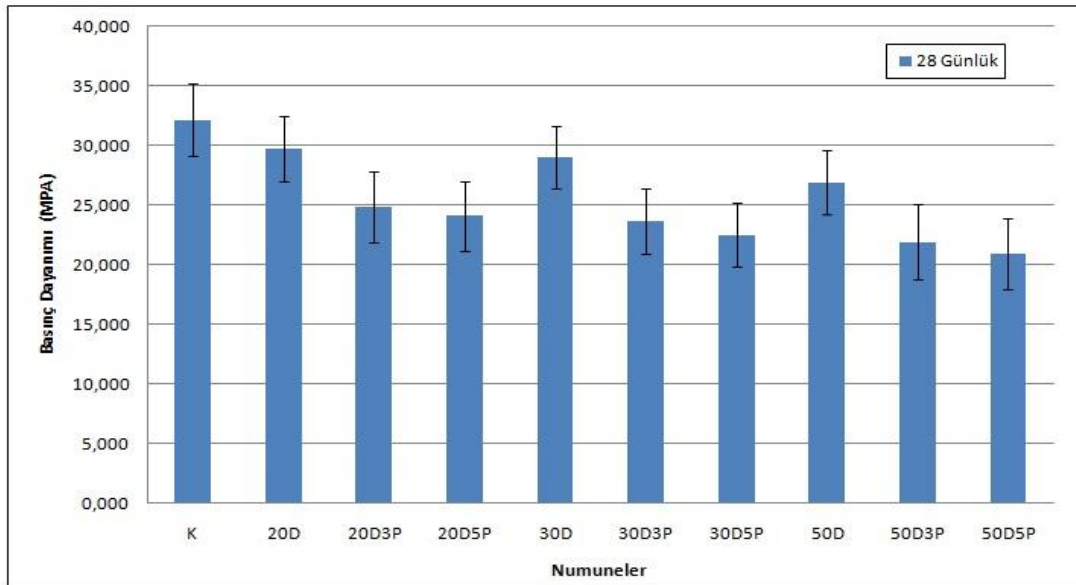


Şekil 4.23. 7 günlük beton numunelerin basınç dayanımları

Çizelge 4.6.'da verilen değerler, üç adet numune basınç dayanımının ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. 23. incelendiğinde, 7 günlük basınç dayanımı en büyük olan kontrol numunesi, en düşük olan ise (agreganın %50'si dolomit agregası olan ve çimentonun %3'ü kadar PVC ikame edilen) 50D5P'dir. Su ve çimento miktarı sabit tutularak agregayla belirli oranlarda yer değiştirilen dolomit agregasının kullanıldığı numunelerin mukavemet gelişimi, kontrol numunesine göre daha düşüktür. Bunun sebebinin, dolomit agregasının mukavemetinin normal agregaya göre daha düşük olmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.

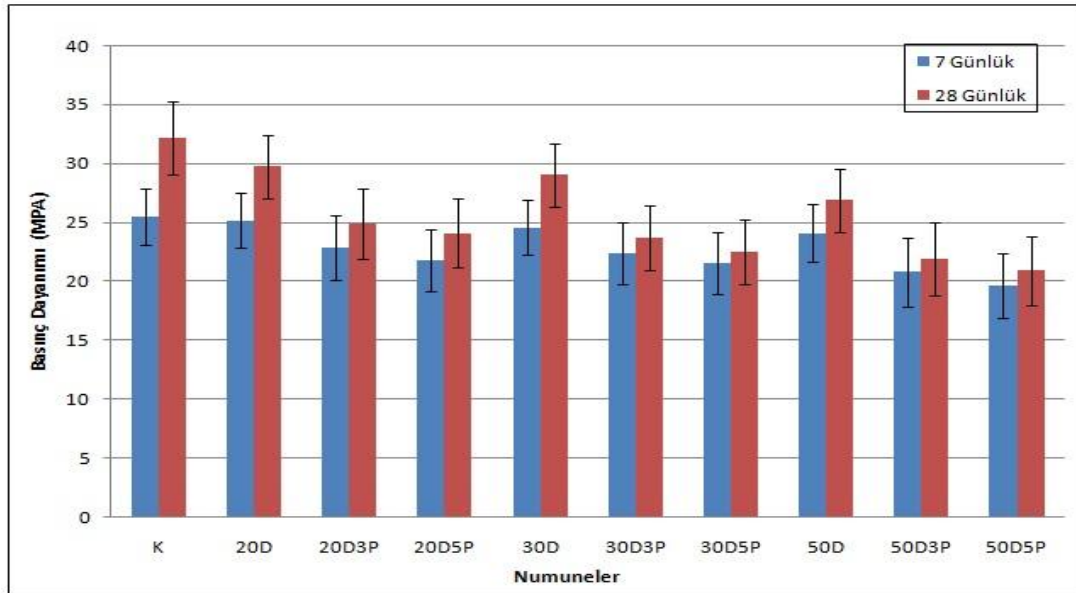
Esnek bir yapıya sahip olan PVC'nin betona ikame edildiği numunelerin mukavemet gelişimi, dolomit agregası oranı aynı olan PVC'siz numuneden ve kontrol numunesinden daha düşüktür. Ayrıca, dolomit agregası oranı ve PVC katkı oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Dolomit ve PVC katkılı örneklerin 7 günlük dayanım değerleri 19 – 26 MPa arasındadır. 28 günlük numunelerin basınç dayanımları ise Şekil 4. 24.'te verilmiştir.



Şekil 4.24. 28 günlük beton numunelerin basınç dayanımları

28 günlük basınç dayanımı en yüksek olan kontrol numunesidir. Dolomit ve PVC katkılı örneklerin basınç dayanımları en az 20,92 iken en fazla 29,74 MPa olmuştur (Şekil 4. 24.). 28 günlük kontrol numunesinin basınç dayanımı, kendisinden sonraki en yüksek dayanıma sahip olan %20 dolomit agregası içeren 20D numunesinden % 8,17 daha büyüktür.

Tüm dolomit katkılı beton numunelerinin basınç dayanımları kontrol numunesinden daha düşüktür. 7 günlük numunelerde olduğu gibi 28 günlük numunelerde de PVC katkısı basınç dayanımını azaltmıştır. Dolomit ve PVC miktarı arttıkça dayanım azalmıştır. Dolomit agregasının ve PVC'nin mukavemetinin normal agregadan daha düşük olabilmesiyle bu durumun meydana gelebileceği öngörülmüştür. Ayrıca, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri kıyaslandığında, dayanım kazanma hızının dolomit katkısının artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, dolomitin bir miktar su emerek çimentonun reaksiyonunu azalttığı öngörülmüştür. Şekil 4.25.'te beton numunelerin basınç dayanımları bir arada verilirken, araştırmada bulunan 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının kontrol numunesiyle yüzde olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Bulunan değerler Çizelge 4.7.'de sunulmuştur.



Şekil 4.25. Beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Çizelge 4.7. Beton numunelerin basınç dayanımlarının aynı gündeki kontrole oranı (%)

Numuneler	7 Gün (%)	28 Gün (%)
K	100,00	100,00
20D	98,74	92,44
20D3P	89,50	77,28
20D5P	85,53	74,92
30D	96,43	90,18
30D3P	87,64	73,66
30D5P	84,63	70,03
50D	94,47	83,58
50D3P	81,64	68,18
50D5P	76,96	65,01

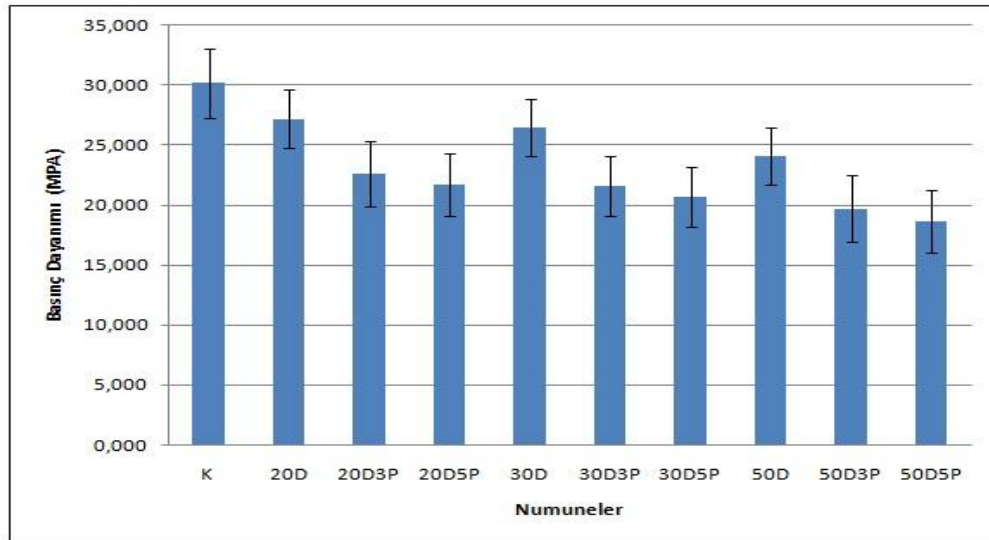
4.7. Beton Numunelerin Donma-Çözülme Etkisi

Beton numunelerde belirlenen su emme yüzdeleri, 30 donma-çözülme çevrimi sonucu basınç dayanımları ve basınç kayıpları Çizelge 4. 8.'de verilmiştir. Donma-çözülme etkisi sonucunda numunelerin ağırlıklarında azalma yaşanmamıştır. Numunelerin yüzeyinde önemli ölçüde çatlama ve dökülme görülmemiştir.

Çizelge 4.8. Betonların donma-çözülme, su emme ve basınç değerleri

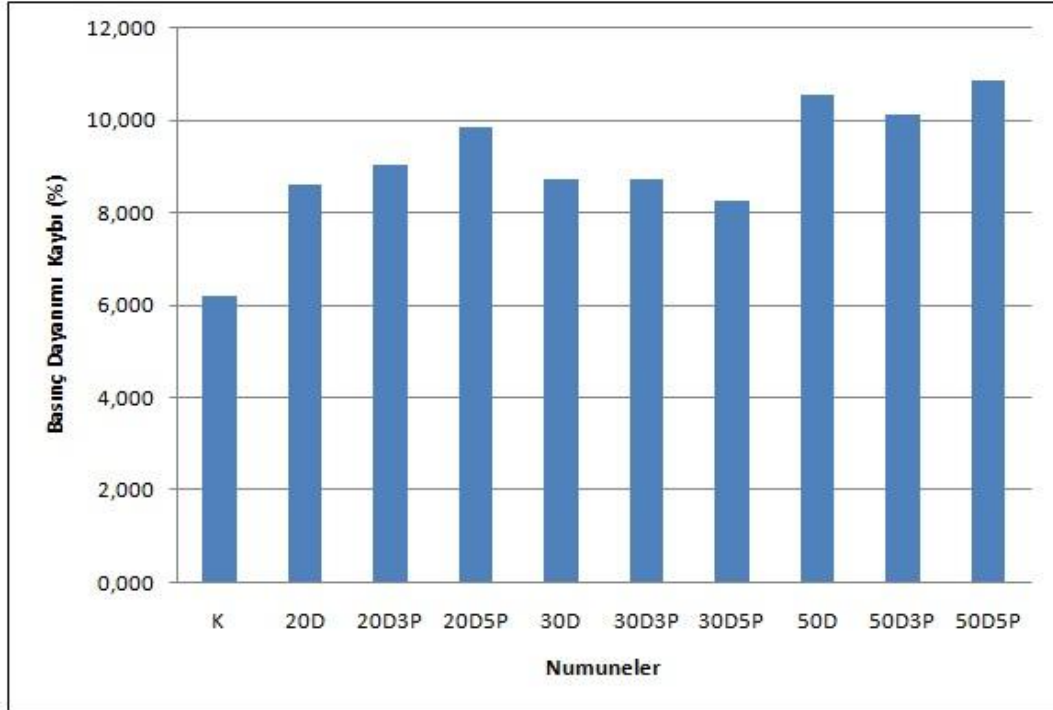
Numuneler	Su Emme (%)	Donma-Çözülme Çevrimi Öncesi Dayanım (MPa)	Donma-Çözülme Çevrimi Sonrası Dayanım (MPa)	Basınç Kaybı (%)
K	5,51	32,17 (3,05)*	30,17 (2,85)	6,22
20D	7,32	29,74 (2,72)	27,18 (2,44)	8,61
20D3P	9,78	24,87 (2,96)	22,62 (2,69)	9,05
20D5P	9,35	24,11 (2,90)	21,73 (2,63)	9,87
30D	8,09	29,01 (2,66)	26,48 (2,41)	8,72
30D3P	8,33	23,70 (2,75)	21,63 (2,50)	8,73
30D5P	9,51	22,53 (2,73)	20,67 (2,48)	8,26
50D	8,50	26,89 (2,68)	24,05 (2,39)	10,56
50D3P	9,33	21,94 (3,11)	19,72 (2,76)	10,12
50D5P	10,06	20,92 (2,95)	18,65 (2,61)	10,85

*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.26. Beton numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımları

Beton numunelerin donma-çözülme çevrimine maruz kaldıktan sonraki basınç dayanım değerleri ve basınç dayanım kayıpları sütun grafiği olarak Şekil 4.26 ve Şekil 4.27.'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Beton numunelerin donma-çözülme sonrası basınç kayıp yüzdeleri

Dolomitin agrega katkısı olarak kullanıldığı tüm örneklerde su emme değerleri kontrol numunesine göre artış göstermiştir (Çizelge 4.8.). En yüksek su emme oranı ise 50D5P numunesinde olmuştur. En fazla basınç kaybı da yine aynı numunede gözlemlenmiştir. Dolomit katkılı numunelerin basınç kayıpları %8,61 ile %10,85 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4. 27.).

Permeabilite değerlerinde de bahsedileceği üzere, betonda katkı olarak dolomit agregası kullanıldıkça su emme oranı artmış ve dolomit yüzdesiyle de doğru orantılı bir artış göstermiştir. Bu durum sonucunda, boşluklardaki suyun donma-çözülme etkisiyle hacminde artış olması, dayanımı azaltıcı bir etki göstermiştir (Uygunoğlu ve Ünal, 2005).

Su emme oranı arttıkça basınç kaybının da arttığı gözlenmiştir. PVC kullanılan betonlarda işlenebilirlik ve sıkışabilirlik azaldığından boşluk miktarının arttığı öngörülmüştür. Dolayısıyla, PVC katkısı da su emme oranını artırıcı ve dayanımı azaltıcı bir etki göstermiştir. PVC katkılı betonlardaki basınç kaybı, su emme oranına paralel bir davranış

göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre dolomit ve PVC katkısının kullanılmasının su emme ve donma - çözülme dayanımı üzerinde herhangi bir olumlu etkisi gözlenmemiştir.

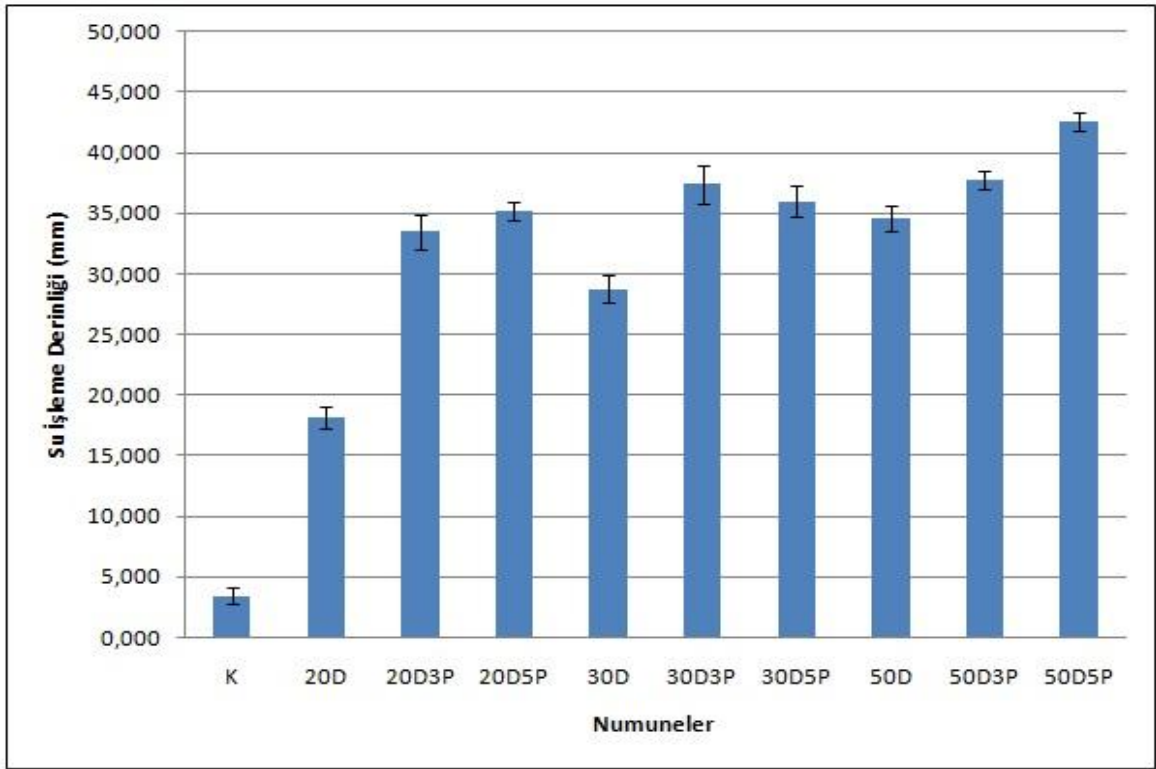
4. 8. Permeabilite Değerleri

Üretilen Ø150 x 300 mm ölçülerindeki beton numuneler 7 gün boyunca ortadaki 20 mm çapındaki silindirik delikten dışa doğru olmak kaydıyla 3 atm basınçlı su altında tutulmuş ve dış yüzeyde su çıkışına rastlanmamıştır. Suyun betona işleme derinliği (suyun betonu nemlendirdiği kısım), beton ortadan ikiye ayrılarak milimetrik olarak ölçülmüştür. Her bir karışım türü için hazırlanan 3 numunenin ölçüm değerleri ve aritmetik ortalamaları Çizelge 4.9.'da görülmektedir. Çizelge 4.9.'daki ortalama değerler, Şekil 4.28.'de sütun grafiği olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Beton numunelerin su işleme derinliği

Numune	1 Nolu	2 Nolu	3 Nolu	Ortalama
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
K	4,15	2,78	3,30	3,41 (0,69)*
20D	17,33	19,02	18,12	18,16 (0,85)
20D3P	33,27	32,21	34,92	33,47 (1,37)
20D5P	35,96	35,08	34,56	35,20 (0,71)
30D	27,63	28,64	29,91	28,73 (1,14)
30D3P	36,78	39,13	36,25	37,39 (1,53)
30D5P	34,46	36,75	36,81	36,01 (1,34)
50D	35,77	34,44	33,67	34,63 (1,06)
50D3P	38,09	38,35	36,89	37,78 (0,78)
50D5P	41,67	42,76	43,15	42,53 (0,77)

*: Parantez içinde standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.28. Beton numunelerin su işleme derinliği

Yapılan permeabilite deneyleri sonucunda (Şekil 4.28.); dolomit katkılı örneklerde su işleme derinlikleri kontrol betonuna göre daha yüksek olurken, en geçirimli beton 50D5P numunesi olmuştur. En geçirimsiz beton ise K olarak adlandırılan kontrol numunesi olmuştur.

Dolomit katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça su geçirimliliği artarken, PVC katkısının da kendi dolomit sınıfındaki numunelere göre su geçirimliliğini artırdığı görülmüştür. Betondaki dolomit agregası oranı arttıkça su işleme derinliğinin artması, dolomit agregasının normal agregaya göre daha fazla su emme niteliği taşıdığını göstermektedir. PVC'nin betonda işlenebilme ve sıkışabilmeyi azaltmasından dolayı boşluk miktarını artırdığı öngörülerek, permeabilite değerlerinin yüksek çıkmasına sebep olduğu görülmüştür. Katkılı numuneler arasında en az su geçirgenliği meydana gelen numune ise, 20D numunesi olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Katkılı ve katkısız çimento hamurlarından priz başlama ve bitiş süresi en kısa olan kontrol numunesi, en uzun olan ise 40D numunesi olmuştur. 5D-5YFC numunesinin priz başlama ve bitiş süreleri kontrol numunesinden bir miktar fazla olmuştur. Sebebi ise, YFC'nun hidratasyonu, kontrol numunesine göre yavaşlatması, dolomite göre hızlandırmasıdır.
2. Katkılı ve katkısız çimento hamurlarından hacimsel genleşme değeri en az olan kontrol numunesi, en uzun olan ise dolomitin hidratasyonuna bağlı olarak 40D numunesi olmuştur. 20D-20YFC numunesinin hacimsel genleşme değeri ise kontrol numunesinden bir miktar fazla olmuştur.
3. 7 günlük harç numunelerde en yüksek basınç dayanımı değerini kontrol numunesi, en düşük değeri ise 40D numunesi vermiştir. 28 günlük harç numunelerde ise en yüksek basınç dayanımı değerini 5D-5YFC numunesi, en düşük değeri ise çimento miktarının azalmasına bağlı olarak 40D numunesi vermiştir.
4. 7, 28, 56 ve 90 günlük harç çubuklarından en düşük boy değişim değerini kontrol numunesi, en yüksek değeri ise dolomitin hidratasyonuna bağlı olarak 40D numunesi vermiştir. YFC katkısı ise boy değişimini tekli dolomit katkısına göre azaltmıştır.
5. 7 ve 28 günlük beton numunelerden en yüksek basınç dayanımı değerini kontrol numunesi vermiş olup onu 20D numunesi takip etmiştir. En düşük basınç dayanımı değerini ise, dolomit oranı ve PVC miktarının artmasına bağlı olarak 50D5P numunesi vermiştir.
6. Donma-çözülme sonrası beton numunelerden en düşük basınç kaybı değerini kontrol numunesi vermiş olup, en yakın değeri 20D numunesi sağlamıştır. En yüksek basınç kaybı değerini ise su emme ve boşluk miktarının artmasına istinaden 50D5P numunesi vermiştir.
7. 28 günlük beton numunelerden en düşük permeabilite değerini kontrol numunesi vermiştir. En yüksek permeabilite değerini ise su emme ve boşluk miktarının artmasına bağlı olarak 50D5P numunesi vermiştir.

Yapılan çalışmada, dolomitin agrega katkısı olarak betonda kullanımının dayanım ve dayanıklılık açısından fazla katkı sağlamadığı görülmüştür. Ancak, dolomitin çimento inceliğinde öğütülerek çimento katkısı olarak kullanılmasıyla hacimsel genleşmeye

sebebiyet vermesinin, kütle betonlarında rötre çatlaklarını engelleyerek sızıntıları ve geçirgenliği önleyebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla; ğtlmş dolomit, baraj betonlarında alternatif katkı olarak düşünülebilir. YFC ise priz süresinin düzenlenmesi, hacimsel genleşmenin kontrol altında tutulması ve dayanımın artırılması hususunda dolomit ile birlikte ikili katkı olarak kullanılabilir. PVC ise daha sünek beton imalatlarına ihtiyaç duyulması halinde bir alternatif katkı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aruntaş, H.Y. 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara. Cilt: 21, No: 1, s. 193-203.
- AGÜB, 2004. Agrega Üreticiler Birliği Derneği Raporu. Beton Bileşenleri - Agrega, İstanbul. s. 56-60.
- ASTM C227-97. 1994. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), Concrete and Mineral Aggregates, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM C33/C33M-11a. 2011. Standard Specification for Concrete Aggregates, American Society for Testing and Materials, USA.
- Aşık, İ., Şen, E., Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E. 2005. Alkali Agrega Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi. KGM Raporu, Ankara, 10s.
- Atahan, H.N., Taşdemir, M.A., Oktar, O.N. 2003. Yüksek Dayanımlı Betonlarda Çimento Hamurunun Boşluk Yapısının Beton Özelliklerine Etkisi. İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İTÜ Mühendislik Dergisi, İstanbul. Cilt: 2, Sayı: 1, s. 23-34.
- Aydın, H. 2004. PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri. Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü. Eskişehir. 86 s.
- Beycioğlu, G., Başyigit, C., Subaşı, S. 2008. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Sorunları Sempozyumu, 14-17 Mayıs 2008, Kocaeli. s. 1386-1394.
- Bilgiç, M. 2009. Yüksek Performanslı Prefabrike Hazır Betonların Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı. Isparta. 71 s.

- Bilim, C. 2006. Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana. 206 s.
- Binici, H., Sevinç, A.H., Durgun, M.Y. 2010. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Kahramanmaraş. Sayı: 13 (1), 14 s.
- Bye, G.C. 1983. Portland Cement, Pergamon Press. Oxford, England. p. 15-56.
- Canpolat, F., Yılmaz, K. 2002. Doğal Zeolit ve Uçucu Kül Katkılı ve Katkısız Harçların Sülfat Dayanıklılığı. Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Eskişehir. Cilt: 16, Sayı: 2, s. 11-24.
- Choi, Y.W., Moon, D.J., Chung, J.S., Cho, S.K. 2005. Effects of waste PET bottles aggregate on properties of concrete. Cement and Concrete Research. 35, p. 776–781.
- Çelik, K. 2005. Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Traslı Çimentolarla Üretilen Aynı Mukavemet Sınıfındaki Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi. İstanbul
- Çelik, Ö., Yurter, G., Kan, S., Yeprem, H.A. 2004. Farklı Puzolanik Karkıların Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. Doğu Üniversitesi Dergisi, İstanbul. Sayı: 5 (2), s. 147-154.
- Çevik, M. 1993. Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Külden Taşıyıcı Hafif Agrega Üretimi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara. s. 235-242.
- Dal, M. 2005. Edirne’de Dolomitik Yapı Kayaçlarının Tahrip Şekilleri ve Restorasyon Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı. Edirne. 115 s.
- Dayı, M. 2006. Doğal ve Yapay Puzolanların Kompoze Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 77 s.

- Doğan, M. 2009. Betonarme Yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Eskişehir. Cilt: XXII, Sayı: 1, s. 147-168.
- Dorum, A., Koçak, Y., Yılmaz, B., Uçar, A. 2009. Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidratasyona Etkileri. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Kütahya. Sayı: 19, s. 47-58.
- DPT. 1995. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammadeler Alt Komisyonu, Seramik-Refrakter-Cam Hammadeleri Çalışma Grubu Raporu. Cilt:2, DPT: 2418, ÖİK: 477, 191 s.
- DPT. 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. DPT: 2612, ÖİK: 623, 107 s.
- Durmaz, B. 2007. Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Elazığ
- Erdoğan, T.Y. 1995. Beton Oluşturan Malzemeler - Çimentolar. Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Erdoğan, T.Y. 1997. Admixtures for Concrete. Middle East Technical University, The Middle East Technical University Press, Ankara, ISBN 975-429-113-6, 188s.
- Erdoğan, T.Y. 2003. Beton, Odtü Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara. s. 513-604.
- Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş. 2003. Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, Ankara. Sayı: 426-2003/4, s. 115-120.
- Erdoğan, E., Yılmaz, B., Erdoğan, Y., Avcıata, U. 2004. Sodyum Karbonat'ın Kolemanit Konsantratör Atığı + Karabük Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, 5. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir. s. 425-430.

- Felekoğlu, B., Türkel, S. 2004. Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir. Cilt: 6 Sayı: 1.
- Gao, P., Lu, X., Jin, S., Zhang, H., Guo, C. 2007a. Using a New Composite Expansive Material to Decrease Deformation and Fracture of Concrete. Science Direct. Materials Letters, 62, p. 106– 108.
- Gao, P., Lu, X., Geng, F., Li, X., Hou, J., Lin, H., Shi, N. 2007b. Production of MgO-Type Expansive Agent in Dam Concrete by Use of Industrial by-Products. Science Direct. Building and Environment, 43, p. 453– 457.
- Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Özbay, E. 2008. Mineral Katkılar Kullanılarak Elde Edilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yayını, Gaziantep. s. 87-98.
- Güleç, K. 1971. Alkali - Karbonatlı Kaya Reaksiyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Yayını, İstanbul. s. 28-36.
- Güneyisi, E., Özturan, T., Gesoğlu, M. 2002. Farklı Çimento Tipi Kullanımının Betonun Durabilite Özellikleri Üzerine Etkisi. Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul. 5 s.
- Karakule, F., Akakın, T., Uçar, S. 2004. Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü. Türkiye Hazır Beton Birliği Raporu, İstanbul, 14s.
- Kılınçkale, F. 2003. Betonda Dayanıklılık, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, Ankara. Sayı: 427–2003/5, s. 32-33.
- Kırca, Ö., Şahin, M. 2003. Kent Mobilyalarında Beyaz Çimento Kullanımı, 2. Uluslar arası Kent Mobilyaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 24-27 Nisan 2003, İstanbul.
- Kırgız, M.S. 2011. İkameli ve Katkılı Çimento Pastalarının Hidratasyon Bileşiklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanılarak Belirlenmesine İlişkin Literatür Araştırmaları. Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Eskişehir. Cilt: 24, Sayı: 1, s. 73-90.

- Konak, G., Gürgen, S., Aksoy, C.O., Küçük, K. 1999. Çok Kırıklı Mermer Sahalarının Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Teknik Açısından İncelenmesi, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim 1999, İzmir. s. 104-108.
- Kurt, C.H. 2010. Dolomit Cevherinin Kalsinasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana. 59 s.
- Mutlu, M., Gençmehmetoğlu, M., Öztekin, E. 2008. Pompalanabilir C 100/115 Sınıfı Beton Tasarımı. Nuhbeton Araştırma Yayını, İstanbul. 10 s.
- Neville, A.M. 1981. Properties of Concrete. Longman Scientific and Technical, England. p. 36-115.
- Neville, A.M., Brooks, J.J. 2004. Concrete Technology – Revised Edition, 2001 Standard Update, Pearson Prentice Hall, England.
- Newman, J., Choo, B.S. 2003. Advanced Concrete Technology. Constituent Materials, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Okucu, A. 1998. Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzolanik özellikleri. Doktora Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Balıkesir. s. 1-54.
- Örüng, İ. 1995. Beton Kaplamalı Sulama Kanallarında Donma-Çözülme Etkisinden Dolayı Oluşan Bozulmalar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Erzurum. Sayı: 26 (3), s. 442-450.
- Özkan, Ö. 2006a. Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri. İmo Teknik Dergi, 3893-3902.
- Özkan, Ö. 2006b. Atık Cam ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Özellikleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Gaziantep. Cilt 22, No 1, s. 87-94.
- Özkan, Ş. 2009. Kimyasal Etkilere Dayanıklı Çimento Üretimi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı. Isparta. 108 s.

- Özkul, H., Taşdemir, M.A. Tokyay, M., Uyan, M. 2004. Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Saçak, M. 2005. Polimer Teknolojisi. Gazi Kitabevi, 1. Baskı, Ankara. 432 s.
- Sevinç, A.H. 2011. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların ve Betonların Mühendislik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 156 s.
- Şahin, S., Karaman, S., Örüng, İ. 2007. Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, Tekirdağ. Sayı: 2007-4 (2), s. 137-144.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş., Sönmez, R. 2003. Agrega Türünün Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, İstanbul. s. 43-50.
- Taşdemir, M.E., Akyüz, S. 1999. Betonun Durabilitesi Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Hazır Beton Dergisi, İstanbul. s. 37-42.
- TÇMB, 2009. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği. Çimento Sektörü Raporu, Ankara. 17s.
- Tekin, İ., Bolat, H., Çıllı, M., Subaşı, S. 2011. Çimentolu Sistemlerde Porozite Analizi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. Cilt: 7, No: 2, s. 31-39.
- Temiz, H. 1997. Uçucu Kül ve Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi. Elazığ. 148 s.
- THBB, 2011. Türkiye Hazır Beton Birliği. 2010 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, İstanbul. 6s.
- Tokyay, M. 2003. Cürufur ve Cürufu Çimentolar. Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu, TÇMB, Ankara, 47s.
- Tokyay, M., Erdoğan, K. 1997. Cürufur ve Cürufu Çimentolar. Çimento Müstahsilleri Birliği A.R.G.E. Raporu, Ankara, Sayı: 1 (2).

- TS 3449. 1980. Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3455. 1981. Betonda Geçirgenlik Katsayısı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3526. 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3529. 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1. 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1. 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802. 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008. 2003. Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2. 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1. 2009. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, Ankara.
- TS EN 196-2. 2009. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 196-3+A1. 2010. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1. 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206-1. 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Uygunoğlu, T., Ünal, O. 2005. Erken Yaşlardaki Beton Üzerinde Buzun Etkisi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. Sayı: 2005-1, s. 37-44.

www.mta.gov.tr (Erişim Tarihi: 15.03.2012)

Yaşar, E., Erdoğan, Y. 2003. Ceyhan (Adana) Kireçtaşlarının Agrega olarak Betonda Kullanılabilirliği, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, İstanbul. s. 205-211.

Yetgin, Ş., Çavdar, A. 2005. Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ. Sayı: 1, s. 687-692.

Yıldırım, M., Yılmaz, I. 2002. Yıldız Irmağı Çökellerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliklerinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, Sivas. Cilt: 19, Sayı: 2, s. 181-192.

Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L.D. 2001. Yangına Maruz Yapılarda Betonun Basınç Dayanımı – Renk Değişimi İlişkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, İstanbul. Sayı: 4, s. 51-61.

Zarif, İ.H., Tuğrul, A., Dursun, G. 2003. İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, İstanbul. Cilt: 16, Sayı: 2, s. 61-70.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mehmet Emin İNCEER
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 14.04.1987 - K.Maraş/Merkez
Medeni hali : Bekar
Telefon :
Faks :
e-posta : mehmetemininceer@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ /İnşaat Müh. Böl.	2012
Lisans	İstanbul Üni. M.F./ İnşaat Müh. Bölümü	2009
Lise	K.Maraş Çukurova Elektrik An. Lis.	2005

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	Alaaddin Battal Çırak Mühendislik	Statik Proje
2010-2011	Cümre İnşaat	Sta.Proje ve Tek.Uyg.Sor
2011-(Devam)	K.Maraş İl Özel İdaresi	Kontrol Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce