

**YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KALAN
MİNERAL KATKILI ve GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT
AGREGALI HARÇLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ**

Satuk Buğra FINDIK

**Y.Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN
2007
Her hakkı saklıdır**

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN danışmanlığında **Satuk Buğra FINDIK** tarafından hazırlanan bu çalışma **24/09/2007** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **İnşaat Mühendisliği (Yapı)** Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rüstem GÜL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Mehmet GAVGALI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylarım

(İmza)

Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL

Enstitü Müdürü

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KALAN
MİNERAL KATKILI ve GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT AGREGALI
HARÇLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ

Satuk Buğra FINDIK

YAPI ANABİLİM DALI

ERZURUM
2007

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KALAN MİNERAL KATKILI ve GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT AGREGALI HARÇLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ

Satuk Buğra FINDIK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN

Yüksek fırın cürufu (YFC), cam tozu (CT) ve doğal zeolit (DZ) içeren genişlemiş perlit agregalı (GPA) harçların yüksek sıcaklık (300, 500 ve 800⁰C) öncesi ve sonrası ısı ve mekanik gelişimi, ısı iletkenlik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık özellikleri incelenerek analiz edilmiştir. GPA'lı harçlarda çimento yerine kısmen mineral katkıları (YFC, CT ve DZ) kullanılarak üretilmiştir. Tüm harç numuneleri üretildikten sonra 3, 7 ve 28 gün boyunca 23±1⁰C kirece doymuş suda kür edilmiştir. Maksimum ısı iletkenlik değeri %100 portland çimentosu içeren karışımlarda 3,2712 W/mK olarak elde edilmiştir. Ancak karışımlarda ince agrega yerine %25 GPA kullanıldığında ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. %10, %20 CT içeren 28 günlük harç numunelerinin ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %1 ve %4 azalma olmuştur. Karışımlarda çimento yerine hem YFC hemde DZ kullanıldığında numunelerin ısı iletkenlik katsayıları azalmıştır. Bununla birlikte %25 GPA'lı ve mineral katkıların bütün seviyelerinde harçların ısı iletkenlik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kuru birim ağırlık değerleri azalmıştır. Ayrıca, 23±1⁰C kirece doymuş suda 28 gün kür edilen tüm numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Numuneler 300, 500 ve 800⁰C maksimum sıcaklıklarda iki saat bekletilmiş ve daha sonra laboratuvar ortamında kendi kendine soğumaları sağlanmıştır. Numunelerin 500 ve 800⁰C sıcaklıklarda basınç dayanımları, ısı iletkenliği ve eğilme dayanımlarında önemli azalmalar olmuştur.

2007, 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: Harç, genişletilmiş perlit agregası, mineral katkı, ısı iletkenlik, dayanım ve yüksek sıcaklık

ABSTRACT

Master Thesis

SOME PROPERTIES OF MORTARS CONTAINING MINERAL ADDMIXTURES AND EXPANDED PERLITE AGGREGATE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURE

Satuk Buğra FINDIK

Atatürk University Graduate School of Engineering Faculty
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN

The thermal and mechanical development of expanded perlite aggregate (EPA) mortars including blast furnace slag (BFS), waste glass powder (GP) and natural zeolite (NZ) are analyzed investigating thermal conductivity, compressive strength, flexure strength and dry unit weight. The tests were carried out by subjecting the samples to a temperature of 300, 500 and 800⁰C for 2 hours, then cooling by air cooling method. EPA mortars are produced with partly mineral additives (NZ, GP, and BFS) instead of cement. All mortar specimens are cured at 23±1⁰C lime saturated water during 3, 7 and 28 days. The value of maximum thermal conductivity is obtained as 3.2712 W/mK in mixture containing 100% Portland cement. However, thermal conductivity coefficient decreases when 25% EPA is used instead of slender aggregate in the mixture. The values of thermal conductivity of specimens containing 10%, 20% GP decrease as 1% and 4% respectively. The thermal conductivity coefficient decreases when both BFS and NZ are used instead of cement in the mixtures. In addition to this, the value of thermal conductivity, compressive strength, bending resistance, and dry unit weight of mortars decrease at all level of 25% EPA and mineral additives. Furthermore, all samples cured at 23±1⁰C lime saturated water during 28 days subjected to high temperature are compared with the values of thermal conductivity coefficient, compressive strength, bending resistance and dry unit weight at the former and later of high temperature. The samples are kept at maximum temperatures of 300, 500 and 800⁰C during two hours, and then the specimens are cooled by air cooling method. Considerable reductions occur at the values of thermal conductivity, compressive strength and flexure strength of all specimens subjected to high temperatures at 500 and 800⁰C.

2007, 86 pages

Keywords: Mortar, high temperature, expanded perlite aggregate, mineral admixtures, thermal conductivity and strength

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı ve 106M230 no'lu TÜBİTAK projesinden faydalanılarak yapılmıştır.

Çalışmamda, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Arş. Gör. Fatih Mehmet ÖZKAL ve Sayın Arş. Gör. A. Emre SAĞSÖZ olmak üzere, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Tatbiki Laboratuvarı personeli Sayın Teknisyen İlhami AYHAN'a ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İnşaat Mühendisliği'nde görev yapmakta olan ve her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Öğretim Üyelerine, Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve ismini sayamadığım, çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman ve her konuda yanımda ve yardımımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

Satuk Buğra FINDIK

Ağustos 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
2.1. Harç	11
2.1.1. Tarihçesi.....	13
2.1.2. Üretim yöntemi	13
2.1.3. Harçta bulunması gereken özellikler.....	14
2.1.4. Harçların sınıflandırılması	15
2.1.5. Yapılarda harç kullanım yeri ve amacı	15
2.2. Harçların Dayanımına Etki Eden Faktörler.....	16
2.2.1. Çimento ile ilgili faktörler.....	16
2.2.2. Agregata ile ilgili faktörler.....	18
2.2.3. Karışım suyu ile ilgili faktörler	19
2.2.4. Mineral katkı maddeleri ile ilgili faktörler.....	20
2.2.5. Deney yöntemi ile ilgili faktörler.....	22
2.3. Kullanılan Mineral ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar.....	22
2.3.1. Doğal zeolit	22
2.3.2. Cam tozu	24
2.3.3. Yüksek fırın cürufu	25
2.3.4. Süper akışkanlaştırıcı	29
2.3.5. Perlit	32
2.3.5.a. Kimyasal özellikleri	35
2.3.5.b. Çözünürlük özellikleri.....	36
2.3.5.c. Fiziksel özellikleri	36
2.3.5.d. Ham perlitin özellikleri	37
2.3.5.e. Genleştirilmiş perlitin özellikleri.....	38
2.4. Basınç Dayanımı	39
2.5. Isı İletkenliği	40
2.6. Birim Hacim Ağırlığı	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM	43
3.1. Materyal	43
3.1.1. Kullanılan Malzemeler.....	43
3.1.1.a. Genleştirilmiş perlit agregası.....	43
3.1.1.b. Normal agregata.....	43
3.1.1.c. Çimento	44
3.1.1.d. Yüksek fırın cürufu	45
3.1.1.e. Doğal zeolit	46

3.1.1.f. Cam tozu	47
3.1.1.g. Karma suyu	48
3.1.1.h. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi	49
3.1.1.j. Diğer malzemeler	49
3.1.2. Kullanılan aletler	49
3.1.2.a. Kalıplar	49
3.1.2.b. Pres	50
3.1.2.f. Isı iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı	50
3.1.2.g. Fırın	51
3.2. Yöntem	52
3.2.1. Agrega deneyleri ve uygulanan yöntemler	52
3.2.2. Karışım oranlarının belirlenmesi	53
3.2.3. Mineral katkıların karışımda kullanılması	54
3.2.4. Harç üretimi, numunelerin yerine konması ve bakımı	56
3.2.5. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler	56
3.2.6. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler	57
3.2.6.a. Basınç dayanımı	57
3.2.6.b. Isı iletkenlik	58
3.2.6.c. Birim ağırlık	59
3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan metot	59
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	60
4.1. Taze Harçların Yayılma Çapları	60
4.2. Harçların Kuru Birim Ağırlığı	60
4.3. Harçların Isı İletkenliği	64
4.3.1. Yüksek sıcaklığın ısı iletkenliğine etkisi	67
4.4. Harçların Basınç Dayanımı	68
4.4.1. Kür süresinin basınç dayanımına etkisi	70
4.4.2. Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına olan etkisi	72
4.5. Harçların Eğilme Dayanımı	74
4.5.1. Yüksek sıcaklığın eğilme dayanımına olan etkisi	76
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

I	Isıtma telinden geçen akım
R	Birim uzunluktaki ısıtma telinin direnci
t_1	Isıtma teline akım verilmesinden sonra herhangi iki zaman aralığı
T_1	Seçilen iki zaman aralığına karşılık gelen ısıtma telindeki sıcaklıklar
λ	Malzemenin ısı iletkenlik katsayı

Kısaltmalar

YFC	Yüksek Fırın Cürufu
GPA	Genleştirilmiş perlit agregası
CT	Atık cam tozu
DZ	Doğal zeolit
PC	Portland çimentosu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Binalarda ısı köprüleri.....	13
Şekil 3.1. Autotest 300 ELE pres makinası.....	50
Şekil 3.2. Isı iletkenlik cihazı.....	51
Şekil 3.3. Fırın.....	51
Şekil 4.1. Tüm karışımlardaki birim ağırlık değerleri.....	64
Şekil 4.2. Harç numunelerinin ısı iletkenliklerinin zamana bağlı değişimi.....	66
Şekil 4.3. Numunelerin birim ağırlıkları ile ısı iletkenlikleri arasındaki ilişki	67
Şekil 4.4. Harç numunelerinde yüksek sıcaklık ve ısı iletkenlik arasındaki ilişki.....	68
Şekil 4.5. Tüm karışımlardaki basınç dayanımideğerleri.....	72
Şekil 4.6. Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi	74
Şekil 4.7. Harçların eğilme dayanımı değerleri.....	75
Şekil 4.8. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	76
Şekil 4.9. Yüksek sıcaklığın eğilme dayanımına etkisi.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Harçların yapıdaki kullanım yerleri.....	16
Çizelge 2.2. Doğal zeolitin kimyasal yapısı.....	23
Çizelge 2.3. Cam tozunun kimyasal yapısı	25
Çizelge 2.4. Perlit mineralini oluşturan bileşikler	36
Çizelge 2.5. Ham perlitin fiziksel özellikleri	37
Çizelge 2.6. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri.....	39
Çizelge 3.1. Genleştirilmiş perlitin kimyasal yapısı.....	44
Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal yapısı.....	45
Çizelge 3.3. Yüksek fırın cürufunun kimyasal yapısı.....	46
Çizelge 3.4. Zeolitin kimyasal yapısı.....	47
Çizelge 3.5. Cam tozunun kimyasal yapısı.....	48
Çizelge 3.6. Harç numunelerinin karışım oranları.....	55
Çizelge 4.1. Harç karışımlarının deney sonuçları.....	61
Çizelge 4.2. Yüksek sıcaklığın harçlar üzerindeki etkisi.....	62

1.GİRİŞ

Yüksek sıcaklığın betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, 1940'lardan beri araştırılmaktadır. Bu çalışmalar, yüksek sıcaklığa maruz kalan çimento hamuru, harç ve beton numuneleri ile betonarme elemanların davranışını incelemiştir. Bu çalışmaların sonuçları, yüksek sıcaklık altındaki beton dayanımının belirlenmesi ile ilgili birçok şartnamedeki koşul ve öneriler için temel oluşturmuştur. Bu çalışmaların çoğu, yüksek sıcaklığa maruz kalan sıradan betonun özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Betonun yangın dayanımı, kullanılan agrega ve çimento tipine, yangın sıcaklığına ve bu sıcaklığa maruz kalma süresine, yapı elemanlarının boyutlarına ve betondaki nem içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Yangını söndürmenin farklı yolları olmasına karşın bu işlem, genellikle su spreyi ile yapılır. Bu işe, yüksek sıcaklıklardaki betonarme elemanlarda farklı gerilmelere yol açar ve yapı elemanı taşıma kapasitesini kaybedebilir (Alpaslan 1994).

Betonun ısınması sürecinde yapı içindeki malzeme özelliklerinde önemli değişimlere sebep olan birbirinden ayrı kompleks ve birbiriyle etkileşen fiziksel ve kimyasal olaylarla karşılaşılabilir. Yangın veya nükleer kaza gibi çevresel sıcaklığın hızlı ve/veya uzun süreli bir şekilde arttığı durumlarda meydana gelen bu değişimlerin, beton yapıların taşıma kapasitesi ve diğer önemli servis özelliklerinin azalmasına sebep olduğu genel olarak bilinmektedir. Bazen patlayıcı olabilen termal parçalanma, betona özgü bir olaydır. Bu olay, yıllar boyunca hem deneysel hem de teorik olarak araştırılmış, fakat fiziksel sebepleri halen tam olarak anlaşılammıştır. Bunun nedeni, beton elemanların yüksek sıcaklıklar altında test edilmesi sırasında özellikle fiziksel özelliklerin ve diğer parametrelerin (sıcaklık ve basınç alanları, nem içeriği, dayanım özellikleri, gerçek geçirimsizlik vs.) eş zamanlı olarak ölçülmesindeki kendine özgü teknik zorluklardır (Ataman 1991).

Yangın, insanlar için büyük bir risk teşkil ettiği kadar yüksek performanslı betonun patlama mekanizması için de çözülmesi gereken önemli bir problem olarak

durmaktadır. Önceki bazı raporlar, patlama olayının içsel çatlama ile bağlantılı olduğunu kanıtlamıştır. Çimentonun hidratasyon ürünlerinin hızlı bir şekilde çözündüğü ve böylece hem çimento hamuru içinde, hem de agrega taneleri çevresinde ciddi çatlaklara yol açtığı ve ayrıca boşluk basıncının da patlama olayına kesin olarak katkıda bulunduğu ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanında, numunenin merkezi ile yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının belirli bir değeri aşması sonucu ortaya çıkan gerilmeler nedeniyle betonun hızlı bir şekilde ısınması içsel çatlamalara yol açmaktadır. Ayrıca betondaki çatlamanın beton içindeki boşluklardan kaynaklandığı da belirtilmiştir. Bir başka araştırma, betonun nem içeriğinin ve dayanım sınıfının termal olarak patlama olayını yönlendiren iki ana faktör olduğunu bulmuştur. Eğer beton dayanımı, belirli bir değer altında (60 MPa) olursa, yüksek bir nem içeriği seviyesinde bile patlama olayı meydana gelmemektedir. Beton dayanımı, bu değeri aştığında ise nem içeriği eşik değerden daha yüksek olduğu sürece nem içeriği arttıkça patlama olasılığı da artmaktadır. Nem içeriğinin ve dayanımın patlama üzerindeki etkisi, patlama mekanizması açısından buhar basıncı hipotezlerini doğrulamaktadır (Atay 1992).

Mühendislik bakış açısıyla dayanım performansı, yapısal betonun en önemli özelliği olarak durmaktadır. Artan agrega boyutu ve rijitlik ile birlikte kırılma enerjisinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca maksimum yük altındaki yer değiştirmeler, betonun dayanımı ve agrega boyutu gibi parametrelere bağlı olarak betonun kırılma enerjisinin arttığı belirtilmiştir (Aydın 1994).

Beton yapıların yangın koşullarına belirli bir süre için dayanabilmesi ve can ve mal kaybının önlenmesi açısından güvenli olmaları önemlidir. Patlama olayı, beton yüzeyinin parçalanması ve yüksek sıcaklıktaki patlama ile birlikte betondan kopması şeklinde tanımlanmaktadır. Su/çimento oranının düşük olmasıyla dayanımın daha yüksek olduğu ve çimento matrisinin yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonlarda olduğu gibi daha yoğun olduğu iyi bilinmektedir. Beton yapıların çoğunun normal dayanımlı betonla üretilmesi nedeniyle patlama ile ilgili sorunlar ihmal edilmekte ve patlama ile ilgili araştırmalar pek fazla yapılmamaktadır. Bununla beraber günümüzde yüksek yapılara olan ihtiyaç arttıkça yüksek dayanımlı ve yüksek

performanslı beton kullanımı daha da yaygınlaşmaktadır. Patlama sorunu en büyük problem olarak görünmesine karşın, bu konuyla ilgili araştırmalar az sayıdadır (Balendran *et al.* 2000).

Yüksek sıcaklık, betonun bozulmasına yol açan çok önemli fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan beton yapıların uğradığı bozulma derecesinin belirlenmesi, mühendisin yapıyı yıkıp tekrar inşa etmekten ziyade onarım yapıp yapılamayacağı konusunda karar vermesine yardımcı olabilir (Boybay 1979).

Mineral katkı içeren betonlar, yüksek performansları ve ekonomik olmaları nedeniyle tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığın uçucu kül veya doğal puzolan içeren betonlar üzerindeki etkisi, 1960'lardan beri incelenen uçucu kül betonu kadar detaylı bir şekilde araştırılmamıştır. Araştırmacılar, beton özelliklerinde özellikle 100–300°C aralığında meydana gelen değişimler hakkında farklı görüşlere sahiptir. 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda mekanik özelliklerde belirli bir azalmanın olduğu konusunda fikir birliği mevcuttur. Bununla birlikte test edilen yüksek sıcaklık koşullarındaki ve betonda kullanılan bileşenlerdeki çeşitlilik nedeniyle literatürde belirtilen dayanım azalmalarında önemli farklıklar ortaya çıkmaktadır (Chan *et al.* 2001).

Betonda silis dumanı, uçucu kül ve toprak cürufunun kullanılması, yüksek performanslı beton üretiminde etkili yöntemlerdir. Son zamanlarda betonda meta kaolin kullanılması ile ilgilenilmektedir. Yüksek performanslı beton yapılarda kullanılmasının birtakım avantajlarının olmasına karşın, diğer betonlara kıyasla daha fazla gevrek olması büyük bir problemdir. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında yüksek performanslı beton, normal betonlara kıyasla patlama ve çatlama gibi daha ciddi bozulmalar göstermektedir. Geçmişte yapılan bir araştırma, meta kaolin kullanılarak üretilen yüksek performanslı betonun patlama olasılığını artırdığını ileri sürmüştür. Yoğun yüksek performanslı beton sisteminin içinde yüksek buhar basıncının ortaya çıkması, en büyük sorun olarak öne sürülmüştür.

Betonun yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda suyun buharlaşması nedeniyle oluşan rötre ve buhar basıncı, örtü betonunun çatlamasına ve dökülmesine neden olmaktadır. Betonun bozulması sonucu çelik, yangın başlangıcındaki sıcak gazla temas etmektedir. Çimento hamurunun en önemli bileşenlerinden biri olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 530°C 'de CaO 'ya dönüşmektedir. Bu süreç boyunca rötrenin hemen hemen %33'ü gerçekleşir. Yangını söndürmek için su sıkıldığı zaman CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ye dönüşmekte ve gözeneklerden akarak yangın sonrasında beton yüzeyinde beyaz noktalar oluşturmaktadır. Bu olay, %44'lük bir hacim artışına yol açmaktadır. Bu olayla süresince bazı çatlamlar oluşmakta ve beton parçalanarak gözenekli bir malzemeye dönüşmektedir.

Günümüzde betondan farklı özellikleri elde etmek için cüruf, uçucu kül, silis dumanı gibi puzolanik malzemelerle katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ferro silika ve silika metal endüstrisinin bir ürünü olan silis dumanı, çimento hamuru ve agrega ile çimento hamuru ara yüzeyindeki boşlukları doldurmakta ve betonun geçirimsizliğini azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüksek performanslı betonlar üretmek amacıyla kullanılan silis dumanının sağladığı katkı, değişik yönlerden araştırılmaktadır.

DeneySEL çalışmalarda yüksek sıcaklığa maruz kalan betonlarda bazı renk değişimleri ortaya çıkmaktadır. Önceki çalışmalarda özellikle silisli agregalarla üretilen betonlarda sıcaklık sonrasındaki rengin pembe veya kırmızı olması, sıcaklığın $300\text{--}600^\circ\text{C}$ ve oluşan renk gri olması ise sıcaklığın $600\text{--}900^\circ\text{C}$ olduğunu göstermiştir. Sıcaklık 600 ve 800°C 'ye çıktığında beton dayanımının sırasıyla %50 ve %80'ini kaybetmektedir. Bu ise, betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığının renk yardımıyla belirlenebilmesi konusunda bir fikir vermektedir. Short ve diğerlerine göre betondaki renkler, betonda kullanılan agrega cinsine bağlı olmaktadır ve bu nedenle sadece harç matrisinin incelenmesi yeterli olacaktır. Sonuç olarak beton dayanımı, yüzey rengine bağlı olarak tahmin edilebilmektedir (Chan *et al.* 1979).

Betonun yangın direnci kapasitesi çok karmaşıktır, çünkü beton, sadece farklı termal karakteristiklere sahip bileşenlerden oluşan kompozit bir malzeme değildir, beton aynı

zamanda nem ve poroziteye bağlı çeşitli özelliklere sahiptir. Normal dayanımlı betonun (NSC) yangın sonrasında gösterdiği çeşitli performanslar, geçmişte ayrıntılı olarak araştırılmıştır (Chang *et al.* 2006).

Birçok bina ve yapı için yangın, önemli potansiyel risklerden biri olarak durmaktadır. Yapı inşasında betonun yaygın olarak kullanılması nedeniyle betonun yangın direnci ile ilgili araştırmalar, gün geçtikçe daha büyük önem kazanmaktadır. Tüm dünyada birçok araştırmacı, bu konu üzerinde çeşitli çalışmalar yapmış ve 1920’de Lea ve Stradling’in yaptığı çalışmadan bu yana bazı ilerlemeler sağlamıştır. Yüksek dayanımlı beton uygulamalarının artması ile birlikte bu beton tipinin yangın dayanıklılığı ile ilgili yapılan araştırmalara daha fazla önem verilmiştir. Yüksek sıcaklık altında yüksek dayanımlı betonun patlamaya meyilli olduğu belirlenmiştir. Zaman geçtikçe yüksek dayanımlı betonun patlama mekanizması ile ilgili iki temel açıklama ortaya çıkmıştır: Birincisi; termal gerilme mekanizması (örneğin; hızlı çevresel sıcaklık değişimi ve büyük sıcaklık değişimleri nedeniyle ortaya çıkan termal gerilmeler sonucu oluşan patlama). İkincisi ise; buhar basıncı mekanizması (örneğin; yüksek sıcaklık arlında oluşan buhar basıncının beton içinde nem oluşumuna yol açması) (Chen *et al.* 2004).

Binalardaki yangınlarda sıcaklığın 1200°C’ye kadar çıktığı ölçülmüştür. Yapı malzemeleri bu sıcaklığa kadar ısıtıldığında ahşabın yandığı, çeliğin yumuşayıp mukavemetini kaybettiği, beton veya taşların ise parçalanıp döküldüğü bilinmektedir. Şu halde önemli yapı malzemelerinin hiç biri bu derecede yüksek bir sıcaklığa dayanamaz. Ancak bunlar arasında beton, diğerlerine kıyasla yüksek sıcaklığa daha dayanıklı olup yüksek sıcaklık etkisinde daha uzun sürede parçalanır (Kocataşkın 2000).

Ekonomik gelişmelerin hızlılığı, dünya üzerindeki enerji tüketimi ve dünya nüfusunun hızla büyümesi nedeniyle hava ve çevre kirliliği bir problem olmuştur. Bu nedenle artık camların ve Yüksek Fırın Cürufu (YFC)’nun yapılarda kullanımının önemi daha da artmıştır. Artık malzemelerin kullanılma fikri daha da önem kazanmıştır. Bazı atık tozlar, uçucu küller, silis dumanı ve YFC normal betonların birçoğunda puzzolanik malzeme olarak kısmen çimento yerine kullanılmaktadır.

Yıllarca yumuşak iklimli ülkelerde binalardaki konfor şartlarının gelişmesi veya korunması için enerji tüketimini azaltmaya çok önem verildi. Yapılan çalışmalar sonucunda binalardaki ısı izolasyonunun ve ısı üreticilerinin veriminin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Demirboğa 2003). Betondaki su muhtevası arttığında ısı iletkenliğinin de arttığı bilinmektedir. Su, havadan 25 kez daha fazla iletkenliğe sahip olduğundan boşluklarda bulunan hava ile kısmen yer değiştiren su veya nem ile beton daha büyük bir ısı iletkenliğine sahip olur (Short *et al.* 1978; Morabito 1989). Su emiliminden dolayı betonun ağırlığı %1 oranında arttığında, numunelerin ısı iletkenliği de %5 oranında artar (Steiger *et al.* 1978). Betondaki agreganın ısı iletkenliğinin ve çimento içeriğinin artması ile betonun ısı iletkenliği artar (Schnider 1982).

Sulu volkanik bir cam olan perlit incimsi ve camsı parlak bir yapıya sahiptir. Nispeten yüksek olan su içeriği (%2-%5) perlit, volkanik camlar, sulu volkanik küller vb. gibi diğer sulu volkanik cam türlerinden ayırır. Üretimlerindeki hızlı ısı yükselişi nedeniyle perlit, birim hacim ağırlığı düşük olan hücreli bir malzemeye dönüşür.

İçinde kimyasal sular bulunduğu perlitin kaynama sıcaklığı genellikle 900-1100°C arasında değişir. Köpüğe benzer bir yapıda üretilen yumuşak taş içinde buhar bileşenleri hava kabarcığına dönüşür. Bu hava kabarcıkları nedeniyle taneler orijinal hacmin 15-20 katı daha fazla genişlemektedir. Bu şekilde oluşan yeni materyallere genişletilmiş perlit denir. Ticari olarak ya “doğal” ya da “genleşmiş perlit” olarak adlandırılmaktadır. Genleştirilmiş perlit, fiziksel ve kimyasal karakterlerinin uygunluğu nedeniyle, çeşitli uygulamalar içinde değişik şekillerde kullanılabilir. Örneğin yapı endüstrisinde hafif agrega olarak, tarımda toprağı ıslah etmek ve derinleştirmek amacı ile tekstil endüstrisinde ağartıcı madde olarak, kimyasal endüstride emici madde olarak ve çeşitli yöntemler kullanılarak hem dolgu hemde filtre malzemesi olarak kullanılabilirler (Bektaş vd 2005).

Cam atıkların geri dönüşümü, belediyeler için büyük bir problemdir. 1994 yılında yaklaşık olarak 9,2 milyon ton tüketici camı Amerika’da belediyelere ait atık nehirlere atılmıştır. Atık camlar yaklaşık olarak %80 oranında cam içerir (Caujin *et al.* 2005).

Portland çimentosu kullanılan betonlarda agrega ile atık cam karışımları uzun zamandır bazı denemelerde kullanılmış ancak ürünlerde çatlak problemleri görülmüştür (Scmidt *et al.* 1963). Betonda portland çimentoları yerine Cam Tozu (CT)'nin kullanıldığı çok sınırlı çalışmalar yapılmıştır (Dyer *et al.* 2001). Son günlerde ham silis materyali içeren portland çimentolarla birlikte atık camlar kullanılarak bazı denemeler yapılmıştır (Chen *et al.* 2002; Xie *et al.* 2005).

Ülkemizin hafif agrega kaynakları açısından zengin oluşu ve MTA'nın raporlarında bildirilen 8 milyar ton civarındaki hafif agrega rezervlerinin (Anonim 1985) büyük bir kısmının da Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunduğu gerçeği göz önünde tutulduğunda, atıl durumda bulunan bu kaynakların beton ve harç üretiminde kullanılarak değerlendirilmesi, üretilen betonların ve harçların geleneksel beton ve harçlarla kıyaslandığında yangına karşı daha dayanıklı olacağı düşünülmesi ve böylelikle yapı malzemesi alanında bir yarar sağlaması hususunun önemi ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde bu konu hakkında yapılan çalışmalar yeterli sayıda değildir. Bütün bu nedenler göz önünde bulundurulduğunda harçların yüksek sıcaklık etkilerinden sonra nasıl bir davranış göstereceğini incelemek bu çalışmanın bir parametresi olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada; mineral katkı malzemesi olarak kullanılan CT, YFC ve Doğal Zeolit (DZ)'in yüksek sıcaklık (300, 500 ve 800⁰C) öncesi ve sonrası ısı iletkenlik, basınç mukavemeti ve eğilme mukavemeti incelenmiştir. Her ne kadar çoğu araştırma bulgularında, farklı tiplerde ki agregalardan yapılan harçların mekanik özelliklerine olan etkileri irdelenmiş olsa da termomekanik özelliklerinin gelişmesinde hem mineral katkılar hem de ince agrega olarak Genleştirilmiş Perlit Agregası (GPA)'nın yüksek sıcaklık etkilerindeki rolünü önemsemek gerekiyor. Dolayısıyla bu çalışmada, 3, 7 ve 28 gün 23±1⁰C kirece doymun suda kür edilen mineral katkılı ve GPA'lı harçların yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası ısı iletkenliği, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde benzer konularda daha önce yapılmış olan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar özetlenmiş olup akabinde harç, çimento, GPA, DZ, CT ve YFC'nun özellikleri hakkında yapılan literatür çalışması sunulmuştur.

Yüksek sıcaklık konusunda ilk çalışmalar 1920'lerde Lea ve Stradling tarafından başlatılmış ve dönemin klasik yayınlarında yüksek sıcaklıklarda betonun basınç mukavemetine etki eden faktörler belirtilmiştir. Muhtemelen, agrega ile çimento hamuru arasındaki termal uyumsuzluğun bozucu etkisini ilk olarak ortaya koyan da bu iki bilim adamıdır. Küresel bir toprak parçasını çimento hamuru ile sarma temeline dayalı olarak yaptıkları elastik gerilme analizi sonucu betonun 100°C civarında bozulacağını fakat bununla beraber 300°C'ye kadar mukavemette artış olabileceğini belirtmişlerdir. Lea ve Stradling ayrıca yüksek sıcaklık konusunda beton davranışı için çok önemli gözlem ve buluşları ortaya koymuşlardır. Yüksek sıcaklıkta kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ kirece (CaO) dönüştüğünü ve soğutulduktan sonra kirecin rehidratasyon süresinde genleşmesiyle soğutma suyunun betonda ciddi zararlara yol açabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca soğutma süresince çatlak gelişimine ve agrega ile çimento hamuru arasında ayrışma olabileceğine dikkat çekmişler ve soğutma hızının etkisine dikkat çekmişlerdir (Khoury 1992).

Lea ve Stradling'i takiben yüksek sıcaklık uygulamalarında betonun en zayıf noktasının $Ca(OH)_2$ problemi olduğu anlaşılmıştır. Bu olay sıradan uygulamalarda portland çimentosunun, ateşe dayanıklılık gerektiren uygulamalarda da alüminli çimentonun kullanılmasına öncü olmuştur. Çünkü beton için problem teşkil eden kalsiyum hidroksit alüminli çimentolarda hidratasyonun bir ürünü değildir (Bingöl 2002). Kalsiyum hidroksit ayrışması 350-400°C'nin altında gerçekleşmez. Daha yüksek sıcaklık etkilerinde serbest kirecin rehidratasyonuna bağlı olarak soğutmadan sonra problem ortaya çıkar (Khoury 1992).

1970'lerin başındaki çalışmalarda 400°C'lik yüksek sıcaklık etkilerinden sonra soğutulan betonların ısıtılmamış şahit numunelere göre nispi bir hasar işareti göstermediği fikri ortaya çıkmıştır. Örneğin Abrams (1971) 427°C ve daha düşük sıcaklıklara kadar ısıtılan karbon agrega betonlarının petrografik incelemesini yapmış ve sonuçların ısıtılmamış betonlarınkine benzer olduğunu belirtmiştir. Lankard (1971) da çakıl betonları için 260°C'ye kadar numuneleri ısıtarak yavaşça oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutmuş ve çatlak örneklerinin ısıtılmamış örneklerinkinden malzeme olarak farklı olmadığını ifade etmiştir.

Rostasy (1980), yüksek sıcaklıkların sertleşmiş çimento hamurunda bazı reaksiyonları aktive ettiğini belirtmiştir. Bu reaksiyonlar gözenek sisteminin tamamen kurutulmasıyla başlar. Bunu sıcaklık artışıyla hidrasyon ürünlerinin ayrışması ve jel yapısının tahribatı takip eder.

Demirboğa (2003a), yüksek miktarda kullanılan mineral katkıların ve kumun termomekanik özelliklere olan etkilerini araştırmıştır. Yüksek miktarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katılan betonların yoğunluğu, su emmesi, basınç mukavemeti ve ısı iletkenliği ölçülmüştür. Yapılan çalışmada, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu miktarının artmasıyla ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Kum çimento hamurunun ısı iletkenliğini %83 kadar artırmıştır. Uçucu kül ve YFC basınç mukavemetini azaltmış ve su emmeyi artırmıştır.

Uysal vd (2003), pomza ve normal agregayla yapılan karışımların ısı iletkenliğini ölçmüştür. Pomza miktarlarının, dozajın ve çökme miktarının ısı iletkenliğine etkisi incelenmiştir. Pomza kullanılmasıyla yoğunlukta %40, ısı iletkenliğinde ise %46 azalma görülmüştür. Dozaj arttıkça hem yoğunluk hem de ısı iletkenlik artmıştır.

Demirboğa (2003b), harcın basınç dayanımı ve ısı iletkenliği üzerine mineral katkıların etkisini incelemiştir. Silis dumanının, uçucu külün ve YFC'nun katılması ile karışımın ısı iletkenliğinin azaldığı sonucunu elde etmiştir.

Kim *et al.* (2002), betonun ısı iletkenliği üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada betonun yaşı, su/imento oranı, katkı tipi, hacimsel agregaya kısımları, ince agregaya hacmi, sıcaklık ve nem şartları gibi parametrelerin ısı iletkenliğine olan etkilerini incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre ince agreganın iri agregaya oranları ve betonun nem içerisinin, ısı iletkenliğini etkileyen ana faktörler olduğu belirtilmiştir. Hartaki ve imento hamurunda ki iletkenliğin, büyük lde su/imento oranına ve katkı tipine bağlı olduğunu bulunmuştur.

Khan (2002), betonun ısıl özelliklerini etkileyen faktörler üzerinde çalışmıştır. 4 esitli kayanın kuru ve doğgun halde ısı iletkenliği llmştir. Ayrıca harç ve betonun esitli nem durumlarına ait ısı iletkenliği incelenmiştir. Betonun iletkenliği ile kullanılan agreganın iletkenliği arasındaki ilişkiler geliştirilmiştir. Yapılan alışmalar sonucunda kayaların ve harçların ısı iletkenliğinin nemle doğru orantılı olarak arttığı belirtilmiştir. Harç ve betonun ısı iletkenliğinde agregaya tipinin etkisinin büyük olduğu vurgulanmıştır. Betonun kuru durumdan %50 nemli duruma gelmesinin ısı iletkenliğini önemli lde artırdığı sonucuna varılmıştır.

Demirboğa ve Gl (2003b), mineral katkılı GPA'lı betonun basınç dayanımını ve ısı iletkenliğini incelemişlerdir. Silis dumanı ve uçucu kül çimentoyla %10, 20 ve 30 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Yapılan alışmada Dozaj 200 kg/m^3 olarak alınmıştır. Sonuç olarak silis dumanı ve uçucu kül miktarı arttıka ısı iletkenliğinde sırasıyla %14 ve %18 oranlarında bir azalma olduğu belirtilmiştir. Kullanılan mineral katkılar ve hafif agregalar betonların yoğunluğu da azaltmıştır. Silis dumanı kullanılan 7 günlük numunelerde basınç dayanımının azaldığı, ancak 28 günlük numunelerde basınç dayanımının arttığı belirtilmiştir. Uçucu külün ise basınç dayanımını azalttığı ifade edilmiştir.

Gül vd (1997) yapmış oldukları çalışmada, Van-Eriç pomzasının farklı oranlarda geleneksel agregaya ile üretilen farklı kmeli betonların ısı iletkenliklerini Sıcak Tel Yöntemi'ne göre ölçerek %100 geleneksel agregaya ile üretilen betonlarla karşılaştırmışlardır. Ayrıca dozajın, betonun birim ağırlığı ve ısı iletkenliği üzerindeki

etkisini incelemek için farklı dozajlı (200, 350, 400, 500 kg/m³) betonlar üretmişlerdir. Sonuç olarak, pomza kullanılarak üretilen betonların birim ağırlıklarının aynı koşullarda üretilen geleneksel betonlara göre %40 hafif ve %46 oranında daha az ısıyı iletmediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışma sonucunda dozajın artmasıyla hem birim ağırlık hem de ısı iletkenliğinin arttığı belirtilmiştir.

2.1. Harç

Harç ve sıvalar, bina yapımı sırasındaki ve sonrasındaki işlevleri ile günümüz yapılarının ve tarihi eserlerin en önemli elemanlarıdır. Harç ve sıvalar aynı zamanda dönemlerinin yapı teknolojisi hakkında önemli bilgiler verebilecek çok az ilgilenilmiş belgesel kaynaklardır. Diğer bütün geleneksel malzemelerde olduğu gibi harç ve sıva malzemeleri de yöreye, yapıların yapıldığı zamana, yapım tekniğine, yapının fonksiyonuna ve yapıda kullanıldıkları yere göre farklılıklar gösterir (Mavi 2000).

Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen katılaşma özelliğindeki hamurlara “harç” denir (Akman 1990). Bir başka tanımda ise bağlayıcı malzeme, kum, su ve gerektiğinde katkı malzemelerinin karıştırılmasından meydana gelmiş olan doluluk, mukavemet, geçirimsizlik, aderans ve dış etkilere dayanıklılık gibi özellikler gösteren inorganik hamurlara harç denir (Eriç 1994).

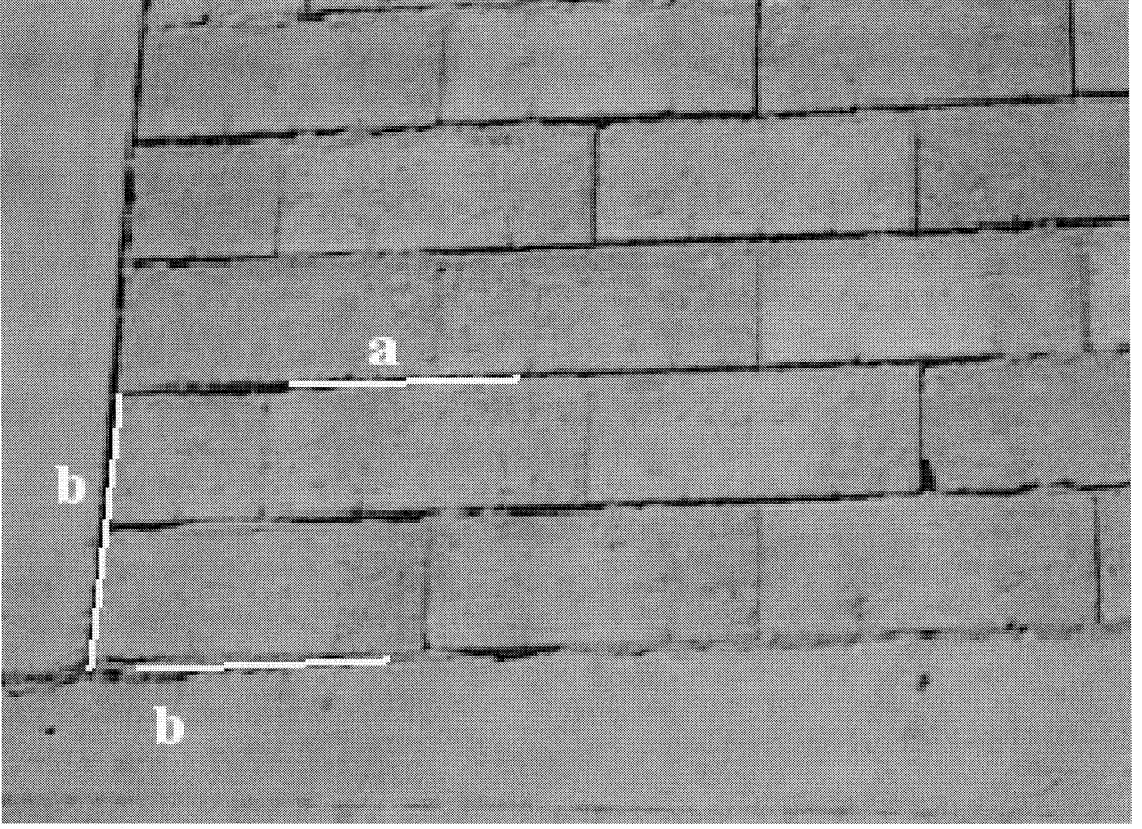
Hafif örgü harçlarının hacimce yaklaşık %70 ini agrega oluşturmaktadır. Bu sebeple agregaların kalitesi harç performansını büyük ölçüde etkilemektedir. İyi bir harç elde edebilmek için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Örgü harç agregası, TS 2717 de açıklandığı gibi, harç yapımında kullanılmak üzere çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 4 mm’yi aşmayan büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış agregalardır (Şengün 2004).

Bir mekânın dış sıcaklık etkilerinden korunması, mekânı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliği ile doğrudan ilişkilidir. Yapı bileşenlerinin ısı depolama yeteneği, ısı geçirgenlik direnci ile belirlenmektedir. Bu direnç, kullanılan malzemelerin cinsine, kalınlığına ve ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak değişmektedir (Eriç 1994).

Farklı sıcaklıklarda olan iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere ısı yalıtımı denir. Bu işlem binalarda; ısı kaybı olan duvarlara (dış duvarlar), çatıya ve tabana ısı yalıtım malzemeleri tatbik edilmesiyle yapılır. Isı yalıtımı yapılmasıyla, binadan dışarıya olan ısı kaybı yalıtımsız duruma göre azalır, dolayısıyla ısınma için tüketilen yakıt miktarı da azaltılmış olur (Şengün 2004).

Katı malzemelerin ısı iletkenliği; gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklüğü ile dağılım durumuna ve bünyesinde tuttuğu nem miktarına bağlıdır. Gözenekler içinde bulunan durgun havanın ısı iletkenlik değeri az olmaktadır. Ayrıca, gözenek miktarı arttıkça malzemenin birim hacim ağırlık değeri de azalmaktadır. Bu olgu, malzemenin ısı iletkenlik değerinin düşmesine neden olmaktadır. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri olan bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği, düzensiz dağılmış büyük gözenekli bir malzemeye göre daha azdır. Malzemeyi meydana getiren maddelerin ısı iletkenliği, cinsine (anorganik, doğal-organik ve suni-organik) ve yapısına bağlıdır (Gündüz vd 1998).

Günümüzde binaların yapımı sırasında ısısal konfor sağlayan yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Hatta daha önceden yapılmış binaların duvarlarında dış ve/veya iç cepheden yalıtımı sağlamak için yalıtım malzemeleri ile kaplama yapılmaktadır. Duvar inşasında yalıtım amacıyla yapı malzemesi olarak yalıtım malzemeleri kullanılsa da bina iskeletini oluşturan kolon, kiriş ve yapı elemanlarını birleştiren örgü harçlarının yapımında kullanılan normal agregalar yalıtımı sağlamamaktadır. Bunlar binada ısı köprülerini meydana getirmektedir. Bunu önlemenin yolu ise beton ve örgü harçlarının yapımında ısı yalıtımı sağlayacak hafif agregalar kullanmaktır (Şengün 2004).



Şekil 2.1. Binalarda ısı köprüleri (a: iki yapı elemanı arası, b: yapı elemanı ile kolon ve kiriş arası)

2.1.1. Tarihçesi

İlk harç uygulamaları tarihte karşımıza kil harçları olarak çıkmaktadır. Bağlayıcı malzeme endüstrisinin gelişmesi ile Mısır'da alçı, Roma'da kireç ve puzzolanik, Osmanlılar'da Horasan, XVIII. y.y. Avrupa'sında çimento harçları yapıdaki uygulama alanına girmiştir (Mavi 2000).

2.1.2. Üretim yöntemi

Harç yapıdaki kullanım şekli ve yerine göre ağırlıkça veya hacimce önceden tespit edilen miktarda bağlayıcı malzeme ve kumun kuru olarak karıştırılması, bu karışıma hidrasyon ve işlenebilme özelliği sağlayıcı nitelikte gerekli miktarda suyun ilave

edilmesi ve tekrar karıştırılması sureti ile elde edilir. Gerekli hallerde mineral esaslı boya pigmenti ve katkı maddelerinin de ilave edilmesi mümkündür (Eriç 1994).

2.1.3. Harçta bulunması gereken özellikler

Bir harçta bulunması gereken özellikleri basınç mukavemeti, doluluk, geçirimsizlik, aderans, katılma sırasında hacim değişikliği göstermemesi, aşınmaya ve dış etkilere karşı direncinin yüksek olması şeklinde sayılabilir. Kullanılma yerine göre bu özelliklerden bazıları diğerlerine göre daha fazla önem kazanmaktadır. Bu özellikleri gerçekleştirebilmek için gerekli faktörler ise bağlayıcı cinsi ve miktarı, kumun cinsinin seçimi ve granülometrisinin düzenlenmesi, yoğurma suyunun cins ve miktarının seçimi ve iyi işçilik şartlarının (karıştırma, taşıma, yerleştirme, bakım) sağlanmasıdır. Aşağıda maddeler halinde harçta bulunması gereken özellikler verilmiştir. (Mavi 2000).

- i. Harcın mekanik mukavemeti, harcın mekanik mukavemetine kumun granülometrisi, su/çimento (s/ç) oranı ve bağlayıcı malzemenin norm mukavemeti etki eder.
- ii. Harcın doluluğu, doluluk harca mukavemet, geçirimsizlik, dış etkilere karşı dayanım gibi birçok özellik kazandıran oldukça önemli bir faktördür. Doluluğun sağlanabilmesi için granülometri şartlarına kesinlikle uyulması gerekir.
- iii. Harcın geçirimsizliği, granülometri şartlarının iyi sağlanamaması ve bünyesinde fazla su bulunması harcın geçirimsizliğinin artmasında önemli rol oynar. Bu nedenle çimento harçlarında rötreyi artırmayacak oranda bağlayıcı miktarını yükseltmek veya kauçuk, balmumu, parafin, bitüm, sabun, tras, kalsiyum klorür, sika, silis tozu gibi çeşitli katkı maddelerini katmak suretiyle geçirimsizlik sağlamak mümkündür. Ancak kalsiyum klorürün rötreyi %50-100 artırması özelliği nedeni ile harca %1'den fazla katılmamalıdır. Harcın türleri içinde, çimento ve puzolanik harçların geçirimsizliği yüksektir.
- iv. Harcın aderansı, harcın yapışma gücüne denir. Başka bir deyişle harcın aderansı, bağlayıcının uygulandığı yüzeyin pürüzlülüğüne ve özelliğine bağlı olarak harcın yapışma gücüdür. Plastik kıvamda bulunan harç, kurumuş ve taze haldeki harçlara oranla daha yüksek adersana sahiptir. Harcın türleri içinde kireç ve melez harçlar

sayılabilir bu harçlar yüksek aderansa sahiptir.

- v. Harcın hacim değişikliği, bağlayıcının cinsine göre harçta meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu hacim değişikliği görülür. Örneğin; yağlı kireç harçları bünyesine CO₂ aldığı anda hacim artmasına, çimento harçları ise hidrasyon olayı sonucu hacim eksilmesine (rötre) uğrar. Çimento harcında meydana gelen rötre değerinin %0,08–0,12 arasında olduğu bilinmektedir. Rötre nedeni ile meydana gelen çatlaklar geçirimsizliği artırıcı ve mukavemeti düşürücü niteliktedir. Rötre şapta fazla, melez harçta az görülür. Çimento harcında rötrenin azaltılması için çimento miktarının azaltılması, kumun çoğaltılması, parafin veya havadan nem çekici tuzlar ilave edilmesi, ayrıca katılma bittikten sonra iki hafta kadar nemli oranda tutulması oldukça yararlıdır.
- vi. Harçta dış etkilere dayanıklılık, ısı derecelerinin yükselmesi harçların katılmasını hızlandırmakta, düşmesi ise geciktirmektedir. Güneş ve rüzgar nedeniyle kısa zamanda harcın suyu kaybolur ve katılma için gerekli olan hidrasyon engellenir. Bu etkiyi önlemek için yüzeyleri rutubetli ortamda tutmak faydalıdır. Yüksek dozajlı çimento, puzzolan, cüruf ve alüminli çimento ile yapılmış harçların kullanılmasına itina gösterilmesi gerekir. Don etkisi alüminli çimento ile yapılan harçlar dışında, diğer harç türlerinde zararlı etki yapar. Çimento harçlarında uygulama ısı minimum +6°C ye kadardır. Soğuk ortamda çimento harçlarına %2-%3 oranında CaCl₂ katmak yararlıdır.

2.1.4. Harçların sınıflandırılması

Harçları, bünyelerine giren bağlayıcı malzeme çeşidine göre kil, alçı, kireç, çimento, melez harçlar olmak üzere beş grupta, ayrıca yapıda kullanılma yerlerine göre de duvar harçları, sıva harçları, şap, şerbet ve badana olmak üzere dört grupta toplamak mümkündür (Eriç 1994).

2.1.5. Yapılarda harç kullanım yeri ve amacı

Yapıda harç kullanımının temel amacı, yapı bileşenlerini meydana getiren elemanların,

birbirleri ile olan bağlantısını sağlamak ve bir bütün oluşturmaktadır. Böylece, bileşene gelen basınç yüklerinin dağılımını gerçekleştiren harç, bileşenin esnemesine de yardımcı olur. Taş veya tuğladan yapılmış olan çoğu yapının kalın duvarlarında kullanılmış olan harçlar, sınırlı basınç dayanımına sahip olsa da, bunun bir harç için oldukça doyurucu olduğu bilinmektedir. Harç kullanımının diğer bir sebebi ise, yapı elemanlarını dış havanın bozucu etkilerinden korumaktır (Orton 1986).

Duvar harçları, kagir elemanları birleştirmek ve yatay yükleri almak amacı ile hazırlanan çimento, kireç veya melez harçlarıdır. Taşıyıcı duvarlarda 300 kg/m^3 dozajlı, korozif etkilerde $400\text{-}600 \text{ kg/m}^3$ dozajlı, taşıyıcı niteliği çok önemli olmayan yerlerde melez ve taşıyıcı niteliği yanında su etkisinin de bulunmadığı yerlerde ise kireç harçları ($250\text{-}300 \text{ kg/m}^3$) kullanılır. Duvar harçlarında genellikle ince kum tercih edilir (Eriç 1994).

Çizelge 2.1. Harçların yapıdaki kullanılma yerleri

Özelliği	Kullanılma Yeri	Harç Çeşidi
Aderans Kolay işlenebilme	Tavan, duvar sıvası	Kireç, melez harç
Mukavemet Geçirimsizlik	Zemin kaplaması, tecrit, şap	Çimento harcı
Sudan zarar görebilecek yüzeyler, dekoratif işler	İç sıva, süsleme	Alçı harçları

2.2. Harçların Dayanımına Etki Eden Faktörler

2.2.1. Çimento ile ilgili faktörler

Çimentonun esası Latince'deki "Caementum" kelimesinden gelir. Kil ve doğal kalker taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilen klinkerin, az miktarda

(%3-%6 oranında) alçıtaşı ile birlikte çok ince parçacıklar oluşturabilecek derecede öğütülmesi sonucu elde edilen ve su ile birleştiğinde bağlayıcı özellik kazanan hidrolik bağlayıcı bir maddedir (Köksal 2002).

Çimento sözcüğünün kökeni olan “caementum”u ilk defa Romalı mimar-mühendis Marcus Vitruvius Pollio (M.Ö.1 y.y.) “De Architectura” adlı eserinde kullanmıştır. Bu eserinde Vitruvius, toz halinde bulunan ve büyük binaların inşasında kullanılan bir malzemeden “Caementum” olarak bahsetmektedir. Latince “bağlayıcı” anlamına gelen bu sözcük diğer dillerde Cement (ing.), Ciment (Fra.), Zement (Alm.), Cemento (ital.) olarak geçmiştir. Ortaçağda harç anlamında da kullanılan bu sözcük Farsçada yine bağlayıcı anlamını taşıyan, “Kemênd” olarak yer almakta olup Türkçe’ye kement olarak geçmiştir. Türkçe telaffuz benzerliğinden dolayı, İtalyanca “Cemento” sözcüğü çimento olarak kullanılmaktadır (Postacıoğlu 1986).

İnsanların yaşadıkları ev, işyeri, okul, spor tesisleri, karayolları, demiryolları, havaalanları, enerji üretmek için yapılan barajlar, termik santraller ve daha birçok yapıda beton ve harç gibi yapı malzemelerini sıklıkla görmemiz mümkündür. Yapı üretiminde büyük öneme sahip olan bu yapı malzemelerinin kullanım amacına uygun olarak bazı özelliklerini etkileyen en önemli unsur olan çimentolar hakkında çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (Köksal 2002).

Çimento miktarı arttıkça zorlamadan kaynaklanan çimento hamurundaki gerilmeler azalır ve betonun basınç dayanımı artar (Somyürek 1984). Bu ifadeden çimento miktarının sınırsız artırılacağı anlamı çıkarılmamalıdır. Çünkü çimento miktarının çok artırılması rötreyi artıracak dolayısı ile beton dayanımını önemli derecede kaybedecektir. Birçok araştırmacı yüksek dayanımlı beton için dozajın 550 kg/m^3 ’den fazla olmaması gerektiğini belirtmiştir (Gulan 1992).

Çimento inceliğinin artması özgül alanın artmasına da neden olur. İnceliğin artması ile bağlayıcı maddenin dayanım kazanması hızlanır ve böylece çimentonun 3, 7, 28 ve 90

günlük dayanımlarında artışlar görünür, ancak pratik açıdan bakıldığında da son dayanıma etkisi fazla görülmez (Postacıoğlu 1987).

Betonu oluşturan agrega taneleri, çimento hamuru yardımı ile birbirine bağlanır. Çimento hamurunun dayanımını kaybetmesi, betonun da dayanımının sona ermesine neden olur. Dolayısı ile betonun dayanımı ile çimento hamurunun dayanımı arasında çok sıkı bir ilişki bulunmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng 1993). Yapılarda en yaygın olarak kullanılan çimento türü portland çimentosudur.

2.2.2. Agrega ile ilgili faktörler

Agrega kaba ve ince agrega olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Şantiyelerde kaba agrega “mıcır” veya “çakıl”, ince agrega ise “kum” olarak isimlendirilmektedir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter, 4 mm boyutudur. 4mm’den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısım “kaba agrega”, 4 mm’den küçük boyuttaki tanelerden oluşan kısım ise “ince agrega” olarak adlandırılmaktadır. Harç yapımında bu agregalar kullanılmaktadır (Şengün 2004).

Agregalar TS 706 (2003b) standardında, doğal, yapay veya iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm’ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığını olarak tarif edilir. Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya YFC, GPA, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir (Erdoğan 1995).

Beton bileşenlerden biri olan agreganın kalitesi beton dayanımını etkiler. Agregalar, doğal kum ve çakıl ocaklarından veya sathi tabakalar altındaki kayaların parçalanması ile meydana gelen taş ocaklarından elde edilmektedir. Genelde doğal kum ve çakıl ocakları ekonomik agrega kaynaklarıdır. Bunlar çoğunlukla akarsu yataklarında, buzul yataklarında ve alüvial deltalarda bulunurlar (Öz 2006).

Beton agregalarının kalitesi, tanelerin yüzey durumu, tanelerin biçimi, granülometrisi ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Üretilen betonda agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin bulunması yani kuvvetli bir aderans olması beton dayanımının yüksek bir değer de olmasına sağlar. Burada aderansa olumlu etkide bulunan agregaların yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılara çimento hamurunun girmesi ayrılmaları güçleştirir, betonun dayanımını artırır. Agregaların tanelerinin biçimi için en uygun durum tanelerin küp veya küre şeklinde olmasıdır. Aksi durumda yassı ve uzun taneler agregaların ve dolayısıyla betonun kompasitesini azaltıp, dayanımının düşmesine neden olur (Beyazıt 1988).

Su emme özelliği, agreganın boşluk yapısından kaynaklanmaktadır. Agregaların boşluk yapısı arttıkça su emme özelliği de artar. Dayanımı yüksek agregaların su emme yetenekleri daha düşüktür. Su emme özelliği yüksek olan agregalar, hidrasyon esnasında gerekli olan suyun bir kısmını emerek dayanımın düşmesine sebep olurlar. Agregaların, hidrasyon için gerekli olan suyun küçük bir kısmını emmesi durumunda, özellikle su/çimento oranı düşük betonlar için, bir miktar su ilave etmek gerekir. Bu da karışımın su/çimento oranını artırır. Su/çimento oranının artması da dayanımın düşmesine neden olacaktır (Kömürcü 1993).

2.2.3. Karışım suyu ile ilgili faktörler

Çimentonun dayanım kazanması, hidrasyon, katılma ve sertleşme olaylarının birbirini izlemesi sonucu gerçekleşir. Hidrasyon olayı çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonlardır. Bu durumda beton yapımı sırasında çimento, agrega ve su karıştırılırken suyun miktarı, kalitesi ve bileşimi çok önemlidir (Erdoğan 1995b).

Sudaki sülfat içeriği SO_3 iyonunun, %0,2'yi aşmaması şartı ile sınırlandırılmıştır. Karma suyunda betonu kimyasal yönden etkileyerek dayanımı olumsuz yönde etkileyecek ve hizmet süresini azaltacak iyonların bulunmaması gerekir (Karakoç 2002).

Karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir. İçilebilir suların beton karışımında kullanılmasıyla, beton özelliklerinde çoğu zaman olumsuzluk görülmemekle birlikte, yine de böyle bir genelleme yapılması tam olarak doğru değildir. Zira, fazla miktarda şeker veya gaz içeren sular içilebilmekle ancak beton karışımın da kullanmak için uygun olmayabilmektedirler. Öte yandan, içmek için uygun olmayan fakat beton karışımın da kullanmak için uygun olan sular da mevcuttur (Öz 2006).

TS 500 (2000a)'e göre, karışım suyu asit reaksiyon göstermemelidir. Suyun içerisinde agresif karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, yağlar, organik maddeler ve endüstri atıkları bulunmamalı, tuz miktarı en çok 15 g/l olmalı ve madeni tuz miktarı 2 g/l'yi geçmemelidir. Yoğurma suyunun bir kısmı çimentonun kimyasal reaksiyonu için harcanırken bir kısmı da malzemeyi ıslatarak betonun işlenebilme özelliğini iyileştirir.

Betonun dayanımı üzerinde en büyük etkiyi su/çimento oranı yapar. Betona su üç nedenle ilave edilir. Birincisi, çimentonun kimyasal reaksiyonu, ikincisi, agrega ile çimento arasında aderansı sağlayabilmek, üçüncüsü ise karışımın işlenebilirliğini temin etmektir. Çimento hidrasyonundan sonra, işlenebilirlik için konmuş olan su betondan zamanla buharlaşarak ayrılıp boşluk meydana getirir. Bu olay beton dayanımının düşmesine neden olur. Bu nedenle beton karışımında su ne kadar artarsa, yani, su/çimento oranı ne kadar büyürse, beton dayanımı da o kadar azalır. Buna karşılık, suyun gerekli miktardan az olması da, çimento hidrasyonunun eksik kalmasına ve betonun yerine yeterli yerleşmemesinden dayanımın azalmasına neden olacağından, doğru değildir. Bu nedenle, karışımlarda su miktarının iyi ayarlanması önemlidir (Öz 2006).

2.2.4. Mineral katkı maddeleri ile ilgili faktörler

Genel anlamda, mineral katkı maddelerinin betonda dayanıklılığı artırıcı fonksiyonlarının en başında, beton boşluk yapısını iyileştirmeleri ve dolayısı ile geçirimsizliği azaltmaları gelmektedir. Betonun bir fiziksel özelliği olarak bahsedilebilen

kılcallık veya geçirimsizlik, dayanıklılığının önemli bir belirleyicisidir. Betonda geçirimsizlik, bağlayıcı malzeme miktarı, su içeriği, agrega tane dağılımı ve kür koşulları gibi değişkenlere bağlıdır (Öz 2006).

Elde edildikleri kaynaklara göre mineral katkı maddelerini üç grupta toplayabilmek mümkündür.

- i. Doğal malzemeler (volkanik tüfler, traslar, diatomlu topraklar ve taşınımı)
- ii. Beton üretimi ile doğrudan ilgili olmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak elde edilen malzemelerdir (uçucu küller, silis dumanları, YFC).
- iii. Isıl işlem uygulanmış olan malzemeler (pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyl) (Özdemir 2006).

Yapılarda kullanılan beton ve harç içerisinde betonun özelliklerini iyileştiren maddelerin kullanımı yüzlerce sene önceye dayanmaktadır. Romalılar döneminde, kan, domuz yağı ve süt gibi betona akıcılık verecek ve beton yoğunluğunu artırarak dayanımı yükseltecek çalışmaların yapıldığı bilinmektedir (Postacıoğlu 1986).

Mineral katkıların beton geçirimsizliğine olan etkisi, dayanıma olan etkisinden daha belirgindir. Yapılan çalışmalar, çimento hamuru içindeki iri agreganın altında kalan boşlukların, daha fazla olduğunu göstermektedir. Betondaki terleme sonucu iri agreganın altında büyük boşluklar oluşur. Söz konusu boşluklarda, kalsiyum hidroksit kristalleri gelişir. Bu kristaller, gevrek ve geçirimli olup kolayca karbonatlaşabilir. Bu zayıf bölge, hem betonun dayanımını, hem de geçirimsizliğini önemli ölçüde etkiler. Su/çimento oranı düştükçe ve çimento içeriği arttıkça kılcal geçirimsizlik azalır (Taşdemir 1998).

Mineral katkı maddeleri beton karışıma doğrudan dahil edilmekte ve temel malzemelerle birlikte karılmaktadır. Çoğu zaman, beton karışımında kullanılacak

çimento miktarı azaltılmakta ve azaltılan miktar kadar ince taneli katkı maddesi konulmaktadır (Özdemir 2006).

Günümüzde mineral katkıların ve süper akışkanlaştırıcıların betonda kullanılması, hem agrega ile çimento hamuru arasındaki zayıf bölgeyi iyileştirmekte, hem de çimento hamuru içindeki boşlukların azalmasını sağlamaktadır. Böylece daha geçirimsiz ve dayanıklılık bakımından istenilen performansı sağlayan betonlar elde edilmektedir (Taşdemir 1998).

2.2.5. Deney yöntemi ile ilgili faktörler

Genel olarak, numune boyutları küçüldükçe ve yükleme hızı arttıkça dayanım artar. Kuru numuneler ıslak numunelere oranla daha yüksek dayanım gösterirler. Deneyin yapıldığı ortam sıcaklığı yükseldikçe dayanım düşer (Karakoç 2002).

2.3. Kullanılan Mineral ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar

2.3.1. Doğal zeolit

DZ büyük miktarda reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 içeren bir alüminasilikat mineral tipidir. Çin'de çimento katkı maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çin'de her yıl 200 milyon tondan fazla çimento üretilir. Uçucu kül, YFC ve DZ gibi katkıları çimentoya sağlamlığı geliştirmek için eklenir. DZ, Çin'de yaygın bir şekilde bulunabilirken bu amaç için kullanılan DZ'in toplam miktarı yılda 30 milyon ton kadardır. DZ Çin'de betonun yüksek performansını sağlamak amacıyla mineral bağlayıcı olarak da kullanılır (Öz 2006).

Feng (1998) çimentonun bir bölümünün DZ ile yer değişiminin, alkali-agrega reaksiyonları sonucu oluşan hacim genişlemesini engellediğini ve betonun dayanımına yükseltici yönde etkide bulunduğunu bildirmiştir (Feng 1998).

DZ katkılı betonun mekanik ve mikro yapısal özellikleri ve dayanımı konusunda çok sayıda araştırma çalışması yürütülmüştür. DZ'in, betonun çimento pastası ve agregasının ara yüzeyinin mikro yapısal özelliklerini geliştirdiği katkılı çimento pastasının gözeneklerini azalttığı yönünde yayınlar bulunmaktadır. DZ'in betonun dayanımına katkısı, diğer puzzolonlar uçucu kül ve silis dumanı gibi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile girdiği puzzolonik reaksiyon sonucudur. Asıl ilgilenilen nokta bu maddenin puzzolanik aktivitesidir (Öz 2006).

DZ katkılı çimentonun erken yaşlarda basınç dayanımının da azalma görülmüştür. DZ katkısının ileriki yaşlarda basınç dayanımında azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Mineral katkı olarak kullanıldığı zaman beton dayanımı açısından, uçucu külden fazla silis dumanından ise daha az etkili olduğu görülmüştür (Poon *et al.* 2004).

TÜBİTAK-MAM tarafından hazırlanan bir raporda Türkiye'de yaklaşık 50 milyar ton DZ rezervi bulunduğu tahmin edilmektedir. DZ Çin'de betonun yüksek performansını sağlamak için mineral bağlayıcı olarak kullanılır. DZ'in beton dayanımına katkısı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile girdiği puzzolanik reaksiyon sonucu oluşur. DZ'in kimyasal yapısı Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Doğal zeolitin kimyasal yapısı

Kimyasal Bileşim	İçerik (%)
SiO_2	67,08
Al_2O_3	13,76
Fe_2O_3	1,60
CaO	3,90
MgO	3,81
SO_3	0,05
Kızdırma kaybı	9,28
Çözünmeyen kalıntı	2,88

2.3.2. Cam tozu

Toplanan hurda camlar önce cam eleğine atılarak kaba pisliklerden arındırılır. Kaba pisliklerden ve yabancı maddelerden arındırılan camlar mevcut değirmene konularak öğütülür. Öğütme işlemi 4,5-5 saat sürmektedir. Öğütülüp elenen cam mikserle konularak belli bir oranda nemlendirilerek kullanıma hazır hale getirilir.

Camın dayanıklı olması aşınmaya karşı dirençli olması, parlak yüzeyle olması ve kolayca şekil verilebilmesi özellikleri nedeniyle insan hayatı için vazgeçilmez olmuştur. Cam kullanımının artmasıyla artık camlarda artmıştır. Amerika'da her yıl 200 milyon ton atık cam olmakta ve bu miktar dünya üzerindeki camların %7'sidir. Türkiye'de bu 120 000 ton olup 80 000 tonu yeniden işlenip kullanılmaktadır. Almanya'da 3 milyon ton atık cam olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte diğer atık ürünlerden farklı olarak çabuk bozulmadığından camın çevreye oldukça zararı vardır (Topçu vd 2003). Cam atıklar beton içerisinde agrega yerine kullanılabilir (Johnson 1974; Park 2000).

Betonda atık cam kullanımı çevresel bilince paralel olarak oldukça önemli kazançlar sağlamaktadır. Beton içerisinde agrega gibi atık camların kullanılması, bazı beton özelliklerini geliştirir bazı beton özelliklerini ise negatif yönde etkiler. Yüksek oranda atık camın beton içerisinde agrega diye kullanılmasıyla betonun birim ağırlığı düşer. Atık cam miktarının betona eklenmesiyle basınç dayanımı azalır. Çimento pastası ve CT arasında tam anlamıyla birleşme olmaz. Ek olarak, hidrasyon reaksiyonu esnasında çok fazla olan enerjinin serbest bırakılmasını önlemesine rağmen gerçekte suyu tutması ve büzülme miktarını azaltması nedeniyle betonda CT miktarının fazlalığı betonun dayanıklılığını düşürür. Atık cam miktarının artmasıyla betondaki sıkılık azalır ve hava içeriği artar bunun sonucunda da beton ve eğilme dayanımı tamamen azalır (Topçu vd 2003).

Aktif silis, portland çimentosu ve CT arasındaki istenmeyen ilişkiler yüksek oranda alkali silika reaksiyonuna neden olur ve betonun dayanımını düşürür (Johnson 1974; Ducman 2002).

Çizelge 2.3. Cam tozunun kimyasal yapısı

Kimyasal Bileşim	İçerik (%)
SiO ₂	72,5
Al ₂ O ₃	0,16
Fe ₂ O ₃	0,2
CaO	9,18
MgO	3,65
SO ₃	0,39
Na ₂ O	13,2
K ₂ O	0,12
Yoğunluk (kg/m ³)	2470

2.3.3. Yüksek fırın cürufu

Hematit (Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄) gibi demir cevherleri, doğada, demir oksit olarak bulunmaktadır. Demir cevherlerinde çok az miktarda silis, alümin, kükürt, fosfor, mangan gibi bazı yabancı maddeler de yer almaktadır (Özdemir 2006).

Demir cevherleri doğada bu malzemelerin esasını oluşturan demiroksit bileşenlerinin yanı sıra küçük bir miktar silis, alümin, kükürt fosfor, mangan gibi yabancı maddelerle bulunmaktadır (Onat 1998; Erdoğan 2006).

Fırında demir filizi, ergitici (CaCO₃) ve kok ile yüksek sıcaklıkta bir dizi reaksiyon sonunda font üretilir. Demir-Çelik Endüstrisinde font üretimi sırasında fırının altından atık olarak cüruf ortaya çıkar. Fırının altından alınan cüruf ani olarak soğutulurak

granüle halde elde edilir. Elde edilen cüruf çimento fabrikalarındaki değirmende klinker ve alçıtaşı ile birlikte öğütülerek cüruf çimento halinde kullanılır. Cürufun puzzolanik özellikleri soğutma şekline, yavaş ve ani soğumaya ve filize göre değişir (Mazlum 1989).

Cevher içerisindeki demirin elde edilebilmesi için, cevherin içerdiği yabancı maddelerden arındırılması ve demiroksidin ayrıştırılarak içerisindeki oksijenin açığa çıkarılması gerekir. Bu işlemleri yerine getirebilmek amacıyla demir cevherleri yüksek fırında (~1600°C) yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp, erimeye tabi tutulurlar. Yakıt olarak kok kömürü kullanılan bu fırınlarda sıcaklık etkisiyle kok kömürünün karbonu, cevherin demir oksidindeki oksijenle birleşerek karbonmonoksit ve karbondioksit gazları oluşturup fırını terk ederken geride eriyik durumdaki demir ile birlikte, yine eriyik durumdaki cüruf adı verilen malzeme topluluğunu bırakırlar. Eriyik malzemeler fırının alt ucundan toplanırlar. Yoğunlukları farklı olduğu için eriyik malzemelerin alt bölümünü demir, üst bölümünü de cüruf oluşturmaktadır. Eriyik durumdaki demir ve cüruf, fırının alt ucundan ayrı ayrı çıkışlardan dışarı atılırlar. Sıvı cüruf potalardan granüle oluklarına dökülerek su püskürtmek suretiyle granüle havuzlarına verilir. Sıcak sıvı cüruf, su ile temas ettiğinde 1-10 mm tane iriliğinde parçacıklara dönüşür. Demirin işlendiği yüksek fırınlardan çıkan cüruf, suyla ani olarak soğutulması ile granüle edilen bir yan ürün olarak ortaya çıkar. Bu cüruf bazik karakterli olup özellikle ani soğutulma esnasında hidrolik aktivite kazanmış durumdadır (Güvercin 2002).

Türkiye’de YFC’nun üretildiği tesisler Demir Çelik fabrikalarıdır. İskenderun, Karabük ve Ereğli olmak üzere 3 adettir. Her birinin YFC üretme kapasiteleri sırası ile İsdemir 650 000 ton/yıl, Ereğli 600 000 ton/yıl, Karabük 250 000 ton/yıl’dır. Zararlı suların tesirine karşı cüruf çimento daha dayanıklıdır. Bahsedilen serbest kireç asitli, karbonatlı ve bikarbonatlı, klorür ve nitratlı sular tesiriyle yeni bileşimler meydana getirerek betonu zamanla süngerimsi, delikli hale getirmesi sebebiyle mukavemeti düşürür. YFC’lu çimentoda serbest kirecin aktif silisle bağlanması sayesinde bu tip zararlı tesisler önlenir ve mukavemet yükselir (Güvercin 2002).

YFC, betona doluluk ve plastiklik kazandırır. YFC'lu çimentoda, cüruf bileşiminde bulunan silis ve alümin oksitleri çimentonun su ile reaksiyonu esnasında jel (jelatimsi) haline geçerler. Jel agrega arasındaki boşlukları doldurur ve sertleştirir. Jelatimsi yapı beton harcına plastiklik kazandırdığı gibi dolgu vazifesi görmesi nedeniyle de betona doluluk kazandırmaktadır. Geçirgenlik azalır, hava ve su sızmalarını önler. Su sızmasının sonucunda beton içindeki demirin paslanması ile demir oksit teşekkül eder ve böylece oksitlenen kısmın hacmi artar. Hacim artışı betonda çatlamalara ve dağılmalara sebep olacağından büyük zararlar meydana getirir. YFC çimentosu kullanılmak suretiyle yapılan betonarme inşaatlarda, su sızması dolayısı ile demir paslanması olmayacağından bu zararlar önlenerek çatlama karşı betonun direnci artar (Güvercin 2002).

YFC'nun kullanımı hidrasyon ısısının düşük oluşu nedeniyle kütle betonu inşaatları için avantaj teşkil eder. Çünkü sıcaklık yükselişini azaltır. Bu arada sertleşme hızı da düşeceğinden soğuk havalar için dezavantaj anlamına gelirken, sıcak havalar için avantajlıdır. YFC katkılı betonların, plastik özelliğinden dolayı çekme ve eğilme mukavemetleri yüksektir. Sarsıntı ve darbeye karşı daha mukavimdir. YFC çok ince öğütülmüştür, özgül yüzeyi yüksektir. Yüzey arttığında reaksiyona girme kabiliyeti fazlalaşacağından bağlayıcılık tamdır ve mukavemeti artırıcı diğer bir unsuru teşkil eder. Su sızması sonucunda beton içindeki demir paslanması ile demir oksit oluşur ve oksitlenen kısmın hacmi iki misli artar. Hacim artışı betonda çatlamalara ve dağılmalara neden olacağından büyük zarar meydana getirir. YFC çimentosu kullanılmak suretiyle yapılan betonarme inşaatlarda bu tip zararlar önlenmiş olur (Arslan 1998).

Öğütülmüş YFC, uygulamada, aynen ince taneli doğal puzolanlar veya uçucu küller gibi kullanım alanı bulabilmektedir. Yani;

- i. Kalsiyum oksitle sulu ortamda birleştirilerek, hidrolik bağlayıcı madde olarak doğrudan kullanılabilen,
- ii. Portland çimentosu klinkeri ve küçük miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülerek, "cürüflü çimento" üretiminde kullanılabilen,

iii. Beton katkı maddesi olarak kullanılabilir.

İnce taneli durumdaki YFC'nun kalsiyum hidroksitle ve suyla birleşmelerinden elde edilen hidrolik bağlayıcılık özelliği 1774 yılından bu yana bilinmektedir. Bu malzemeye elde edilen bağlayıcılar 1889 yılında Paris metrosunun inşaatında kullanılmıştır. Ancak, günümüzde bu kullanım yok denecek kadar azdır (Öz 2006).

YFC'nun portland çimentosu klinkeriyle öğütülerek cürüflü çimento elde edilebilmesi oldukça eskiye dayanan bir uygulamadır. İlk cürüflü çimentolar, Almanya'da 1982'de üretilmeye başlamıştır. Halen, Türkiye'de ve birçok ülkede cürüflü çimento üretilmektedir (Öz 2006).

Öğütülmüş YFC'nun beton katkı malzemesi olarak kullanılması Güney Afrika'da Stutterheim tarafından 1947–1953 yılları arasında yapılan araştırmalardan sonra başlamıştır. Cürufun bu tarzda kullanımının sağladığı avantajlar aşağıda anlatılmaktadır. Son 10-15 yıldan bu yana, Güney Afrika 'da, Kanada'da, ABD'de, İngiltere'de ve Japonya'da üretilen YFC'lerinin hemen hemen tümü beton katkısı olarak kullanılmakta olup Türkiye 'de cürufun ayrıca öğütülerek beton katkı malzemesi olarak kullanılması son 1-2 yıldan bu yana çok az miktarda uygulanmaktadır (Öz 2006).

Öğütülmüş YFC'nun katkı malzemesi olarak kullanım tarzının sağladığı yararlar aşağıda sıralanmaktadır (Öz 2006);

- i. Ayrı öğütme, tanelerin istenilen inceliğe gelebilmesinde büyük randıman sağlamaktadır. Çünkü YFC, portland çimentosu klinkerinden daha sert bir malzemedir. Cürüflü 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.
- ii. Ayrı öğütülme işlemi, üretilen malzemenin daha iyi kontrol altında tutulmasını

- sağlamaktadır. Çünkü değişik kaynaklardan elde edilen cüruflar değişik sertliğe ve öğütülme kapasitelerine sahiptir. Cürufun ayrı öğütülmeye tabi tutulmasıyla, istenilen incelikte cüruf elde edilebilmektedir.
- iii. Öğütülmüş YFC'nun depolanma özelliği, cürufllu çimentonun depolanma özelliğinden daha iyidir. Çünkü 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.
- iv. Öğütülmüş YFC değişik koşullarda kullanılacak beton karışımlarının hazırlanmasında esneklik getirmektedir. Çünkü beton katkı malzemesi olarak kullanılacak cürufu istenilen inceliğe kadar öğüterek ve istenilen miktarda kullanarak istenilen kalitede beton karışımı elde edebilmek mümkündür.
- v. Öğütülmüş YFC'nun katkı malzemesi olarak kullanılması, betonun işlenebilmesini ve dayanımını artırmakta, büzülmesini azaltmaktadır. Çünkü çok ince taneli durumdaki cürufun katkı maddesi olarak kullanılması taze betonun işlenebilmesini artırmaktadır. Bu nedenle, belirli bir kıvam için gerekli olan karışım suyu ihtiyacı azalmaktadır. Beton karışımında daha az miktarda su kullanılması, dayanımı artırmakta, büzülmeyle ise azaltmaktadır.

2.3.4. Süper akışkanlaştırıcı

TS 3452 (1984)'de kimyasal beton katkıları şöyle tanımlanır; beton kimyasal katkı maddeleri, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bazılarında değişiklik yapmak amacıyla beton karışım suyuna belirli oranlarda katılan kimyasal maddelerdir. Bu kimyasallar betonun akışkanlığını artırması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliğin sağlanması gibi fonksiyonların dışında priz süresinin geciktirilmesi veya erken priz sağlanması gibi sıcak ve soğuk havalarda beton dökümüne imkan vermektedir. Tüm bu nedenlerle beton katkı maddeleri günümüz inşaat teknolojisinde kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir.

Akışkanlığın sağlanması karışım suyunun artırılması veya akışkanlaştırıcı beton

kimyasalların kullanılmasıyla mümkün olur. Karışım suyunun artırılması su/çimento oranını arttıracığından istenilen dayanıma ulaşabilmeyi güçleştirmektedir. Bu noktada akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin beton içerisindeki etkileri ve fonksiyonları önem kazanmaktadır. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddeler olarak bilinirler (Missaglia 1983).

Aynı su/çimento oranına sahip katkılı ve katkısız betonda, katkılı betonun daha yüksek çökme değerine sahip olmasının nedeni katkının defloküler yapısının etkisiyle açığa çıkan sudan kaynaklanmaktadır. Açığa çıkan suyun azaltılmasıyla su/çimento oranında düşme sağlanacağından dayanım artışı olmaktadır (Tosun 1990).

Bu malzemeler betona çok az miktarda, karışım esnasında katılarak betonun yaş veya kuru haldeki bazı özelliklerinin iyileştirilmesini sağlarlar. Katkı maddesinin miktarı ise çimento ağırlığının belirli yüzdesi olarak (en çok %5) hesaplanır (Baradan 1991).

Süper akışkanlaştırıcı katkıları betondaki karışım suyunda eridiklerinden çimento tanecikleri tarafından adsorbe edilerek onların yüzeylerinde ince bir film oluşturur ve film dışı doğru negatif yüklü olarak tanelerin birbirini itmesine yani dispersiyona yol açıp, kolay kaymalarına ve betonda akıcılığın artmasına neden olurlar. Normal akışkanlaştırıcı katkıları hava sürükleyerek ve çimento danelerinin topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır. Süper akışkanlaştırıcılar ise suyun yüzey gerilimini normal akışkanlaştırıcılar kadar fazla düşürmedikleri için aşırı miktarda hava sürüklemeyebilirler ve bu yüzden onlardan daha yüksek yüzdelerde kullanılabilirler (Uyan 1982).

Süper akışkanlaştırıcılar genel olarak uygulamada aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadırlar (Neville *et al.* 1987).

- i. Katkısız beton ile aynı işlenebilirlikte olmak şartıyla su/çimento oranını azaltarak

- daha yüksek dayanım kazanabilmek.
- ii. Ulaşılamayan ve sık donatılı yerlerde kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilirliği arttırmak.
 - iii. Kütle betonlarında hidrasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilirliği kazanmak. Katkının bu şekilde diğer beton türleri için de kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelir.

Süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanım oranları yüksek dayanımlı ve akıcı beton üretme amacına göre değişebilmektedir. Normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranlarda kullanılan bu katkıların kullanılma oranları genelde çimento ağırlığına göre %0,5-3 arasında olmaktadır (Malhotra 1981). ACI Committe 212'ye göre süper akışkanlaştırıcı bir katkı betonun su miktarını en az %12 oranında azaltmalıdır. Yüksek dayanımlı beton imalatında kullanılan süper akışkanlaştırıcılar istenilen işlenebilirlik için su miktarını %25-35 oranında düşürebilirler. Bu şekilde düşük su/çimento oranında beton üretilerek yüksek dayanım elde edilebilir (Neville *et al.* 1987).

Süper akışkanlaştırıcıların kullanılmasına ihtiyaç duyulmasının asıl nedeni, yüksek dayanımlı betonu daha işlenebilir yapmak ve donatının sık olduğu kesimlerde kolay bir yerleşme ve iyi bir kompasite sağlamaktır. Bu etki, çok miktarda oluşan hidrasyonun sonucudur. Süper akışkanlaştırıcıların kullanımı, çimento hamurunda toplam boşlukları biraz arttırırken, büyük boşlukları azalttığı görülmektedir (Balta 1991).

Bir beton karışımında, süper akışkanlaştırıcı katkıların varlığı oldukça avantajlıdır. Bu betonun işlenebilirliğini arttırmak ve çimento parçacıklarının dağılımını iyileştirmek, su/çimento oranını azaltmak, aynı zamanda beton dayanımını arttırarak, daha dayanıklı bir beton elde etmek açısından çok önemli bir katkı malzemesidir. Süper akışkanlaştırıcı katkıları; sülfolanmış melamin-formaldehit sıvısı, sülfolanmış naftalin-formaldehit sıvısı, modifiye edilmiş lignosülfonatlar ile sülfonik asit esterleri ve akrilik esterler içeren diğer akışkanlaştırıcılar olmak üzere dört sınıfa ayrıldığını belirtmektedir (Khatip vd 1999).

Son on yılda beton teknolojisinde meydana gelen en önemli gelişme, süper akışkanlaştırıcı katkıların yaygın olarak kullanılması ve bunun getirdiği yüksek dayanım olmuştur. Bu tür katkılar, çimento ve diğer mineral parçacıkların su içinde topaklanmasını engelleyip, ancak çok miktarda su ile elde edilebilecek işlenebilirliği, betona bir yan etki vermeden sağlarlar. Yüksek kalitede çimentonun, agrega ve mineral katkılarla kullanılmaları neticesinde, son on yıl içinde 90-100 MPa'lık yüksek dayanımlı beton sınıfının üretimi olağan hale gelmiştir (Kocataşkın 1991).

2.3.5. Perlit

Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen “perle” kelimesinden türetilmiştir (Almancada Perlstein = inci taşı). Sözcük, hem ham perlit, hem de genleştirilmiş perlit için kullanılmaktadır (Neufert 1983; Büyükçulha 1987; Karakoç 2002).

Ham perlit, erime bölgesi içinde uygun bir sıcaklıkta (760°C-1200°C) bünyesindeki suyun uzaklaşması ile hacminin yaklaşık 4 ile 30 katı genişleyen silisli asidik bir volkanik camdır (Dagsöz 1991, Anonim 1970). Perlit genellikle %70-75 SiO₂, %12-20 Al₂O₃ ve az miktarda diğer mineral bileşikleri içeren asidik özellikli, püskürük camı kayalara verilen addır (Anonim 1985b;; Dagsöz 1991; Anonim 1982c).

Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit gözle tanımak oldukça zordur. Amorf bir alüminyumun silikat olan ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genişlediğinde renk tamamen beyazlaşır (Karakoç 2002).

Perlit cevheri ilk olarak 1836 yılında bulunmasına karşın, 1946 yılından sonra çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Genleştirme işleminden sonra kazandığı niteliklerden hafiflik ve ısı yalıtıcılık özellikleri dikkate alınarak ilk olarak ABD’de beton ve sıva agregası olarak uygulamaya girmiştir. Araştırma çalışmaları ise

uygulamayı izleyen yıllarda başlamıştır. Rusya'da ise 1950'den sonra araştırma ve uygulama çalışmaları aşağı yukarı aynı yıllarda başlamıştır. Macaristan'da perlitin yapı malzemesi olarak kullanımına başlangıç yılı 1958 olmuştur (Ujhelyi 1979; Karakoç 2002).

Diğer ülkelerde de 1950'den sonra uygulamaya girmiştir. Genleştirilmiş perlitin inşaat alanında kullanılması ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır (Cormon 1973; Karakoç 2002).

Ham perlit, bünyesinde %2-5 arası su içerir. Bu şekilde perlit %2'den az su içeren obsidien'den (kaya çeşidi) ve %5 üzerinde su içeren pekstayndan'dan (kaya çeşidi) ayrılmaktadır.

Perlitin oluşumu konusunda iki ayrı teori bulunmaktadır;

- i. Bates 1960-Richter 1961: Asidik karaktere sahip magmanın yüzeye çıktıktan sonra ani soğuması sırasında yüzeyden derine doğru oluşan kılcal çatlak ve yarıklara, atmosfer, deniz, göl vb. suları girerek perlitini oluşturmaktadır.
- ii. Membel 1968: Perlit, SiO_2 bakımından zengin bir kayacın soğuyarak katılaşması sürecinde bünyesine su girmesi ile oluşmaktadır (Neufert 1983; Büyükçulha 1987).

Perlitin genleşmesi için optimum bir sıcaklığa kadar ısıtılması gereklidir. Bu sıcaklığın altındaki ısıtımlarda, camsı malzemenin viskozitesi ve yüzey gerilimi çok yüksektir ve bunun sonucu olarak genleşme çok başarılı olmaz. Perlit tanelerinin yüzeylerinde ergimiş bir tabaka oluşmazsa, gözenekler ve çatlaklar kapanmaz ve suyun bir kısmı buharlaşıp bu çatlaklardan kaçar. Sıcaklık çok yüksek seçilirse perlit tozlaşır ya da topaklanır. Genleşme sıcaklığı seçimi perlit birleşimine özellikle alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) içeriğine bağlıdır. Alkali içeriği düşük ise, optimum genleştirme sıcaklığı düşüktür. Genleştirme sıcaklığının düşük olması, enerji tasarrufu açısından önem kazanmaktadır. Bergama yöresi perlitlerinin bu bakımdan avantajlı olduğu belirtilmektedir (Stein 1981).

Genleşme süresi perlit türüne ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Perlit tanelerinin, kısa süreli bir ısıtmada plastik hale gelebilmesi için belli bir büyüklükte olması gereklidir. Pratikte bu değer 3 mm'den az olarak verilmektedir (Ujhelyi 1979).

Bu nedenle perlitin genleştirme işleminden önce öğütme gerekmektedir. Öğütücü seçilirken, bu öğütücü için geçerli olan tane büyüklüğü dağılımı karakteristiğinin bilinmesi gerekmektedir. Malzemenin tane büyüklüğü dağılımı karakteristiği, hangi tip öğütücü ile nasıl öğütüldüğüne bağlıdır. Her çeşit genleştirme fırını için geçerli olan kural, homojen, tane büyüklüğü aralığı dar olan ham perlitten, iyi kalitede genleştirilmiş perlit elde edilir şeklinde özetlenebilir (Karakoç 2002).

Perlitin en büyük avantajı genleştirilebilme özelliğine sahip olmasıdır. Bu işlem sırasında, yüksek sıcaklıkta (750–1200°C) birkaç saniyede kayaç içindeki su, su buharına dönüşerek genleşmeye neden olur ve yumuşayan tanecikler içinde sayısız hava boşluğu oluşur. Bu boşluklar perlitin hacmini 4 ila 30 kat artırırken, yoğunluğunu da büyük ölçüde düşürür. Bu özelliği sayesinde, perlitten istenilen tipte malzeme minimum enerji tüketimi ile kısa zamanda üretilebilmektedir (Karakoç 2002).

Perlit başlıca, inşaat sektöründe, tarım sektöründe ve sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır. Dünyada perlitin %35'i sıva agregası olarak, %25'i beton agregası olarak, %23'ü filtre malzemesi yapımında, %8'i yalıtım malzemesi yapımında, %4'ü tarımda ve %5'i diğer alanlarda kullanılmaktadır (Anonim 1985b).

GPA'nın en büyük kullanım alanı yapı sektörüdür. Perlitin kullanım nedenleri, hafiflik, ısı ve ses yalıtımı, ateşe dayanıklılık, kimyasal etkenlerden etkilenmeme ve uygulama kolaylığı olarak sayılabilir.

Ülkemizin hafif agrega kaynakları açısından zengin oluşu ve MTA'nın raporlarında bildirilen 8 milyar ton civarındaki hafif agrega rezervlerinin (Anonim1985b) büyük bir kısmının da Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunduğu gerçeği göz önünde tutulduğunda,

atıl durumda bulunan bu kaynakların harç ve beton üretiminde kullanılarak değerlendirilmesi, geleneksel harç ve betonlarla kıyaslandığında ısı iletkenliğinin daha düşük olacağının düşünülmesi ve böylelikle yapı malzemesi alanında bir yarar sağlaması beklenmektedir.

2.3.5.a. Kimyasal özellikleri

Amorf bir alüminyum silikat olan perlitin kimyasal bileşimi, liyonit, riyodasit, kuvars-latit gibi volkanik kayalarınkine benzer. Hacminin %90-97 kadarını cam, %3-10'unu kristalleşmiş mineraller (feldspat, biyotit) oluşturur. Çoğu kez volkanik camdan oluşan hamuru içinde mikrolitler ve fenokristaller ile sperolitler bulunur. X ışınları analizi ile perlitlerin en çok %4 oranında serbest silis içerdiği saptanmıştır (Tanaçan 1993).

Perlitlerin genişleme özellikleri yönünden en önemli bileşeni %2-6 oranında içerdiği serbest sudur. 450°C'ye kadar ısıtılınca, bu suyun %80-90'ı bünyeden uzaklaşır, geri kalan kısmı ise genişleme işlemindeki aktif suyu oluşturur. Genişleme 760-1200°C'ler arasında meydana gelir (Tanaçan 1993; Anonim 1985b).

Perlit 1200-1300°C'lerde eriyik haline geçmesine rağmen 1500-1600°C'lerde bile hala akışkanlığı az (vizkozitesi yüksek) bir malzemedir. Bu açıdan, yangına karşı da koruyucu bir malzemedir. Böylece perlit katkısıyla malzeme ısı ve mekanik gerilmelerden doğabilecek kırılmalara karşı daha dayanıklı bir hale gelebilmektedir (Tanaçan 1993).

Volkanik camın fiziksel ve kimyasal karakterleri, pek çok faktörün yanında, lavın bileşimine, püskürme tipine, soğuma ve katılaşma hızına, lavın vizkozitesindeki değişime bağlıdır. Perlit kayasının viskozitesi $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ miktarı ile orantılıdır (Anonim 1970; Cormon 1973; Anonim 1985b).

Çizelge 2.4. Perlit mineralini oluşturan bileşikler

Kimyasal İçerik	(%)
SiO ₂	%70–75
Al ₂ O ₃	%12–20
Fe ₂ O ₃	%2,2–3,2
CaO+MgO	%0,6–3,4
Na ₂ O	%1,8–5,4
K ₂ O	%3,1–5,5
H ₂ O	%2–5

2.3.5.b. Çözünürlük özellikleri

- i. Konsantre sıcak alkali ve hidroflorik asitte çözünür.
- ii. Konsantre mineral asitlerinde az çözünür (<%2).
- iii. Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az çözünür (<%0,1) (Yalgın 1983; Toydemir 1968).

2.3.5.c. Fiziksel özellikleri

Perlitin kayaç olarak görünümü, kompakt, ince taneli, gözenekli, gevşek, kolay kırılabilir, kum ve kumtaşı yapısında el ile ufalanabilir bir yapıdadır. Taneli, konsantrik yapılı lifli, fenokristalli ve kum halinde perlit olarak sınıflandırılabilir. Genleşmiş perlit, hafif, yumuşak, hücresel yapıda olup pomzaya benzer (Hornbastel 1961).

Ham perlit ile genleştirilmiş perlit farklı fiziksel özellikler göstermektedir. Bu nedenle ikisinin fiziksel özellikleri ayrı ayrı verilecektir.

2.3.5.d. Ham perlitin özellikleri

- 1) Renk, Ham perlitin rengi şeffaf açık griden camsı siyaha kadar değişir (Tanaçan 1993).
- 2) Özgül ağırlık; Perlitin özgül ağırlığı 2,2-2,4 g/cm³ değerindedir (Yalgın 1983; Toydemir 1968; Tanaçan 1993).
- 3) Birim hacim ağırlık; Ham perlitin birim hacim ağırlığı 950-2700 kg/m³ arasında değişmektedir (Tanaçan 1993).
- 4) Porozite; Çok gözenekli bir yapıya sahip olan perlitin porozitesi %90'a yakındır.
- 5) Sertlik; Perlitin Mohs Skalası'na göre sertliği 5,5-7,0 arasında değişmektedir (Tanaçan 1993).
- 6) Özgül ısı; Perlitin özgül ısısı 0,20-0,23 kcal/kg°C değerindedir (Toydemir 1968; Yalgın 1983; Büyükçulha 1987).
- 7) Su emme; ham perlitin su emmesi %20-35 arasında değişmektedir (Gündüz 1998).
- 8) Erime noktası; 800-1100°C arasında yumuşamaya başlayan perlitin erime noktası 1315-1390°C arasındadır (Yalgın 1983; Toydemir 1968).

Çizelge 2.5. Ham perlitin fiziksel özellikleri

Renk	Siyah ve gri'nin tonları
Özgül Ağırlık	2,2-2,4
Birim Hacim Ağırlık	950-2700 kg/m ³
Porozite	%90
Sertlik (Mohs Skalası)	5,5-7,0
Özgül Isı	0,20-0,23 kCal/kg°C
Su Emme	%20-35
Erime Noktası	1315-1390°C

2.3.5.e. Genleştirilmiş perlitin özellikleri

- 1) Renk; Genleştirilmiş perlitin rengi kar beyazdan gri beyaza kadar değişir (Tanaçan 1993).
- 2) Özgül ağırlık; Genleştirilmiş perlitin özgül ağırlığı $2,2-2,4 \text{ g/cm}^3$ değerindedir.
- 3) Kaba yoğunluk-gevşek yoğunluk; Genleştirilmiş perlitin kaba yoğunluğu $30-190 \text{ kg/m}^3$ arasında değişirken, gevşek yoğunluğu da $32-400 \text{ kg/m}^3$ arasında bir değer almaktadır (Karakoç 2002).
- 4) Erime noktası; Genleştirilmiş perlitin erime noktası 1300°C civarındadır.
- 5) Porozite; Çok gözenekli bir yapıya sahip olan perlitin porozitesi %90'a yakındır.
- 6) Özgül ısı; Perlitin özgül ısı $0,20-0,23 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C}$ değerindedir (Yalgın 1983; Toydemir 1968).
- 7) Isı iletkenlik; Genleştirilmiş perlit, düşük birim hacim ağırlığı ve çok gözenekli yapısı sayesinde $0,039-0,046 \text{ W/mK}$ gibi düşük bir ısı iletkenlik katsayısına sahip olmaktadır (Büyükçulha 1987).
- 8) Isıl genleşme; Genleştirilmiş perlitin ısıl genleşme katsayısı $0,004-0,011 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir (Gündüz 1998).
- 9) Ateşe karşı dayanım; Perlit yanmayan yapı malzemesi sınıfına girmektedir. Belirli bir sıcaklığa kadar değişim göstermeyen perlit, yangına karşı geciktirici olarak sıvalarda kullanılmaktadır.
- 10) Ses yutma; Perlit çok gözenekli yapısının da etkisiyle yüksek bir ses yutma katsayısına sahiptir (Gökhan 1977). Genleşmiş perlitin ses emiciliği 125 Hz 'de 18 dB 'dir (Tanaçan 1993).

Çizelge 2.6. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

Renk	Beyaz
Özgül Ağırlık	2,2-2,4
Birim Hacim Ağırlık	30-190 kg/m ³
Porozite	%90
Sertlik (Mohs Skalası)	5,5-7,0
Özgül Isı	0,20-0,23 kCal/kg°C
Erime Noktası	1300°C
Isı İletkenlik	0,039-0,046 W/mK
Isıl Genleşme	0,004-0,011 mm/m °C
Ateşe Karşı Dayanım	Yanmaz
Ses Yutma	0,60

2.4. Basınç Dayanımı

Betonun dayanımı, taşıyabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanabilir. Dayanım, betonun birçok özelliğinin göstergesi olabilmesi nedeniyle ve özellikle basınç dayanımı deneyinin pratik olması bakımından dayanım beton sektöründe gerek kalite kontrol gerekse kullanılacak betonun tanımlanması için en çok kullanılan özelliktir (Öz 2006).

Büyük oranda karmaşık heterojen bir malzeme olan betonun gerilmelere karşı tepkisi sadece tek tek bileşenlerinin tepkisi değil, aynı zamanda bu bileşenler arasındaki karşılıklı etkileşime de bağlıdır. İri agrega doğrusal elastik bir gevrek malzeme olup, dayanımı betonun bir hayli üzerindedir. Çimento hamurunun elastisite modülü daha küçüktür, ancak basınç dayanımı hem harçtan hem de betondan daha yüksektir. Çimento hamuruna ince agrega katılarak harç elde edilmiş olur, elastisite modülü artar, ancak dayanımda azalma olur. Harç içine iri agrega katılması basınç dayanımının azalmasına neden olur. Dolayısıyla betonun davranışı harcın davranışına benzerdir,

hatta bunların davranışı, çimento hamuru ve agreganın davranışından oldukça farklıdır (Mindess *et al.* 2003).

2.5. Isı İletkenliği

Isı iletkenliği, homojen bir malzemenin kararlı hal şartlarında birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğunda birim zamanda (1 saat) birim alan (1 m^2) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m) geçen ısı miktarıdır. Birimi W/mK ($\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$)'dir (Anonim 1989).

Diğer bir deyişle ısı iletkenliği, verilen bir sıcaklık alanı içinde ölçü yüzeyinden sıcaklık gradyanı etkisi ile meydana gelen yüzey normali doğrultusundaki ısı akışının büyüklüğünü veren bir malzeme özelliğidir. Isı iletkenliğinin sembolü λ 'dır (Anonim 2000c).

Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği; malzemenin gözeneklik derecesine, gözeneklerin büyüklük ve dağılım durumuna, malzemenin türüne, yapısına, malzeme içindeki nem miktarına ve birim hacim ağırlığına bağlı olarak değişir (Yağanoğlu 1994; Brewer 1967).

Betonun ısı iletkenliği; birim ağırlığı, boşluklarındaki nem oranı ve agrega tipi gibi özelliklerine bağlı olduğundan beton türlerine göre çok farklı değerler alabilmektedir (Turgutalp 1978).

Enerji; kömür, petrol, doğalgaz, hidrolik, nükleer, jeotermal, rüzgar, güneş gibi çeşit kaynaklardan elde edilmektedir. Dünyada pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de enerji sorunu en önemli sorunlardan biridir. Çok büyük harcamalarla elde edilen enerjinin bilinçli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Ülkemizin enerji açığı her geçen gün artmakta ve bu açığın büyümesine yapıların yalıtımına gerekli önemin gösterilmemesi de etken olmaktadır (Öz 2006).

Ülkemizde tüketilen toplam enerjinin %41'i konutların ve yapıların ısıtılmasında, %33'ü sanayide, %20'si ulaşımda, %5'i tarımda ve %1'i diğer alanlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde tüketilen enerjinin yaklaşık %47'sinin dış alımla karşılandığı göz önünde bulundurulursa ve dünyada enerji fiyatlarının hızla arttığı hatırlanırsa enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasının gerektiği daha iyi anlaşılır (Yüksel 1991).

Isı iletkenliğini ölçme metotları numune içindeki sıcaklık dağılımının zamana bağlı olup olmamasına göre, statik ve dinamik olarak iki kategoriye ayrılır. Statik ölçümlerde, izotermal yüzeye dik doğrultudaki sıcaklık gradientinin ve ısı akım yoğunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Dinamik metotta ise ısı düzensizliğinin bilinen bir mesafeye yayılması için zamanın ölçülmesi esasına dayanır (Parrott *et al.* 1976).

Kararlı durum, yöntemlerindeki ölçümlerde, test örneği zamanla değişmeyen bir sıcaklık profiline sahip oluncaya kadar ısıtılır. Test örneği ısı yönünden denge durumuna ulaştıktan sonra ısı iletkenliği, birim alandaki ısı akışını ve sıcaklık değerlerini ölçerek doğrudan saptanabilir (Aksoy 1992).

Kaya ve inşaat malzemeleri gibi zayıf iletkenlerin ısı iletkenlik ölçümleri genellikle plaka (guarded hot plate) yöntemiyle yapılır. Bununla birlikte özellikle numune içinde nem varsa kararlı durum (steady state) metodunda dengeye ulaşmak için uzun zaman gereklidir. Bu da önemli dezavantajdır. Bundan başka bir sıcaklık gradienti uzun bir süre devam ettirildiğinde üniform olmayan bir nem dağılımı baş gösterebilir. Bu yüzden dinamik bir ölçüm metodu arzu edilir (Parrott *et al.* 1976; Parikh *et al.* 1979).

Geçici yöntemlerde inşaat malzemeleri, kayalar, gazlar, sıvılar gibi pek çok malzemenin ısı özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Geçici yöntemlerde ısı akımı yerine belirli noktalarda zamanla sıcaklık değişimi ölçülür. Kararlı durum şartlarını gerektiren yöntemlerin aksine geçici yöntemler yalnızca birkaç dakika alır. Yöntem için; zamanla sıcaklık değişiminin belirlenmesi, ölçümlerin alındığı noktaların pozisyonlarının ve

ısıtma teline uygulanan ısıl gücün bilinmesine ihtiyaç duyulur (Grazzini *et al.* 1995; Senqupta *et al.* 1992).

Akışkanların ısı iletkenliklerini ölçmek için geçici sıcak tel yöntemi, ilk olarak Stalhane *et al.* (1931) tarafından önerilmiştir. Sıvı içine daldırılan telden elektrik akımı geçirilerek ve telin zamanla (t) sıcaklık değişimi (θ) kaydedilerek aşağıdaki ampirik ilişki bulunmuştur.

Burada D ve B sabitlerdir. Φ , birim zamanda meydana getirilen ısıdır. L, yarıçapı r olan telin uzunluğudur (Qayyum 1969).

2.6. Birim Hacim Ağırlığı

Gerekli koşullara uyularak üretilmiş betonun birim ağırlığı 2200-2400 kg/m³ arasında değişir. Taze betonun birim ağırlığı kuru betonunkinden biraz daha büyüktür. Bu da beton içindeki suyun buharlaşma yolu ile betondan ayrılmasından ileri gelmektedir. Birim ağırlığı ve özgül ağırlığı normal olan agregaları kullanarak elde edilen betonların birim ağırlığının yukarıda verilen değerlerden küçük olması beton içinde fazla miktarda boşluk bulunduğunu gösterir. Böyle bir betonun dayanımının yüksek olması beklenemez (Postacıoğlu 1987).

Betonların kuru birim ağırlıklarındaki değişiklikler diğer bütün özelliklerini, özellikle mekanik ve termik özelliklerini etkiler. Kuru birim ağırlığın yükselmesi halinde betonun mekanik dayanımları artarken ısı iletkenliği artar. Bu iki özellik göz önünde bulundurulduğunda bulunan, kuru birim ağırlığın optimum değeri en ideal olanıdır (Urhan 1993).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölüm, materyal ve yöntem kısımlarından oluşmaktadır. Materyal kısmında çalışmanın amacı doğrultusunda; DZ, CT, YFC, GPA, çimento, karma suyu ile kullanılan deney aletleri hakkında bilgi verilmektedir. Metot kısmında ise numunelerin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları ile çalışmada elde edilen bulguların tartışılması ve sonuçların belirlenmesinde kullanılan metot açıklanmıştır.

Bu çalışmada deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki laboratuvarında yapılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1.a. Genleştirilmiş perlit agregası

Doğal hafif agregası olarak GPA kullanılmıştır. İzmir Cumaovası Etibank Perlit Genleştirme Tesislerinden sağlanmıştır. GPA karışımlarda ince agregası yerine (0-2 mm) %25 oranında kullanılmıştır. GPA'nın kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.1.1.b. Normal agregası

Üretilen harç numunelerinin tümünde en büyük agregası boyutu 4 mm olan kum kullanılmıştır. Deneylerde normal agregası olarak Erzurum ili sınırları içerisindeki Yağan mevkiinden temin edilen doğal, kırılmamış agregası kullanılmıştır. Agregası dere malzemesi olup kullanımdan önce yıkanmış halde temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Genleştirilmiş perlitin kimyasal yapısı

Bileşimi		YFC (%)
SiO ₂		71-75
Fe ₂ O ₃		-
Al ₂ O ₃		12-16
CaO		0,2-0,5
MgO		-
SO ₃		0,15
Na ₂ O		2,9-4,0
TiO ₂		-
(S ⁻²)		-
(Cl)		0,09
Serbest CaO		-
LOI		-
Özgül Ağırlığı		0,28
Özgül Yüzey (cm ² /g)		- < 75µm
Basınç Dayanımı (MPa)	2 günlük	-
	7 günlük	-
	28 günlük	-

3.1.1.c. Çimento

Çalışmada Erzurum Aşkale Çimento Fabrikasında üretilen özgül yüzey alanı 3410 cm²/g ve özgül ağırlığı 3,13 olan PÇ 42,5 katkısız çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal yapısı

Bileşimi		PC (%)
SiO ₂		20,06
Fe ₂ O ₃		3,6
Al ₂ O ₃		5,16
CaO		62,43
MgO		2,82
SO ₃		2,32
K ₂ O		0,30
TiO ₂		0,20
(S ⁻²)		0,17
(Cl ⁻)		0,04
Belirlenemeyen madde		1,05
Serbest CaO		0,71
LOI		1,55
Özgül Ağırlığı		3,13
Özgül Yüzey (cm ² /g)		3410 < 75µm
Basınç Dayanımı (MPa)	2 günlük	24,5
	7 günlük	42,0
	28 günlük	44,4

3.1.1.d. Yüksek Fırın Cürufu

Deneyleerde kullanılan YFC İskenderun Oysa Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada kullanılan YFC'nun özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yüksek fırın cürufunun kimyasal yapısı

Bileşimi		YFC (%)
SiO ₂		39,56
Fe ₂ O ₃		0,33
Al ₂ O ₃		10,82
CaO		37,68
MgO		6,79
SO ₃		0,33
K ₂ O		-
TiO ₂		-
(S ⁻²)		-
(Cl)		0,125
Belirlenemeyen madde		3,99
Serbest CaO		-
LOI		-
Özgül Ağırlığı (g/cm ³)		2,86
Özgül Yüzey (cm ² /g)		4000 < 75µm
Basınç Dayanımı (MPa)	2 günlük	-
	7 günlük	18
	28 günlük	-

3.1.1.e. Doğal zeolit

Deneylerde kullanılan DZ Manisa'nın Gördes İlçesinden temin edilmiştir. DZ'in kimyasal yapısı Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Zeolitin kimyasal yapısı

Bileşimi		YFC (%)
SiO ₂		65,72
Fe ₂ O ₃		1,19
Al ₂ O ₃		10,88
CaO		1,43
MgO		0,75
SO ₃		0,07
Na ₂ O		-
TiO ₂		-
(S ²⁻)		-
(Cl ⁻)		-
Serbest CaO		-
LOI		-
Özgül Ağırlığı		2,22
Özgül Yüzey (cm ² /g)		4350 < 75µm
Basınç Dayanımı (MPa)	2 günlük	-
	7 günlük	-
	28 günlük	-

3.1.1.f. Cam tozu

Deneylerde kullanılan cam (soda-kireç camı) tozu Trabzon Tuna Cam Mozaik Fabrikasından temin edilmiştir. CT'nun kimyasal özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Cam tozunun kimyasal yapısı

Bileşimi		YFC (%)
SiO ₂		72,5
Fe ₂ O ₃		0,2
Al ₂ O ₃		0,16
CaO		7,18
MgO		3,65
SO ₃		0,39
Na ₂ O		16,1
TiO ₂		-
(S ⁻²)		-
(Cl)		-
Serbest CaO		-
LOI		-
Özgül Ağırlığı		2,47
Özgül Yüzey (cm ² /g)		- < 75µm
Basınç Dayanımı (MPa)	2 günlük	-
	7 günlük	-
	28 günlük	-

3.1.1.g. Karma suyu

Karışım suyu priz olayında, ileri yaşlarda betonun kimyasal dayanıklılığına negatif yönde etki yapmamalıdır (Gül vd 1998).

Beton karışımında kullanılacak olan suyun temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması gerekmektedir. İçilebilir sular beton üretiminde karma suyu olarak rahatlıkla

kullanılabilir (Ekmekyapar vd 1993). TS 3440 (1982a)'a göre beton üretiminde kullanılan sular genelde içilebilir nitelikte olmalıdır. İçerisindeki kimyasal madde miktarları uygun olmayan karışım suyu beton için zararlıdır.

Çimentonun dayanım kazanması, hidrasyon, katılaşma ve sertleşme olaylarının birbirini izlemesi sonucu gerçekleşir. Hidrasyon olayı çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonlardır. Bu durumda beton yapımı sırasında çimento, agrega ve su karıştırılırken suyun miktarı, kalitesi ve bileşimi çok önemlidir. Sudaki sülfat içeriği SO_3 iyonunun, %0,2'yi aşmaması şartı ile sınırlandırılmıştır (Öz 2006).

3.1.1.h. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Deneylerde SİKA firmasının üretmiş olduğu Sikament-FF-N adlı ürün kullanılmıştır. Betonda yüksek oranda su azaltıp akışkanlık kazandıran ve mukavemeti hızlandıran süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. Çimento ağırlığının %0,8-%3'ü oranında karışıma katılır. Malzeme kataloğunda belirtilen maksimum ve minimum değerlerin arasına düşecek şekilde çimento ağırlığının %1'i alınmıştır.

3.1.1.j. Diğer malzemeler

Beton numunelerinin kuru için kirece doymuş su ortamının sağlanmasında söndürülmüş torba kireç ve numuneleri kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan aletler

3.1.2.a. Kalıplar

Deney numunelerini oluşturmak için 4x4x16 cm ve 4x11x16 cm ebatlarında ahşaptan yapılmış prizma kalıplar ve 5x5x5 cm çelikten yapılmış küp kalıplar kullanılmıştır.

3.1.2.b. Pres

AUTOTEST 300 ELE marka 300 tona kadar yükleme yapabilen yükleme hızı otomatik olarak ayarlanabilen hidrolik pres kullanılmıştır. Yükleme hızı betonun basınç mukavemeti üzerinde etkili bir parametredir (Baradan 1991). Bu nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı ($2.5 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$) altında deneye tabi tutulmuşlardır. TS 3114 (1990)'de belirtildiğine göre yükleme hızı $1,5-3,5 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$ arasında ayarlanmalıdır.



Şekil 3.1. Autotest 300 ELE pres makinesi

3.1.2.f. Isı iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı

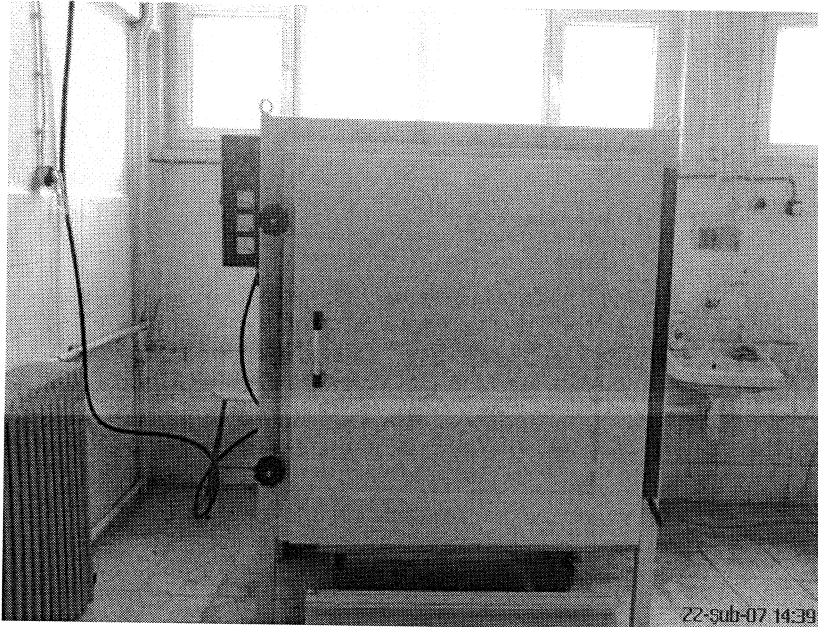
Bu çalışmaya konu olan harç numunelerin ısı iletkenlik katsayıları, Türk Standartlarına ve ASTM'ye uygun, Sıcak Tel Metodu'na (Hot Wire Method) göre, $0,023-12 \text{ W/mK}$ aralığında 60 saniye içinde ölçüm yapan, virgülden sonra dört rakamı dijital olarak gösteren Japon yapımı QTM-500 (Quick Thermal Meter) adlı bir cihazla yapılmıştır. Cihazın hassasiyetinde, %5 oranında hata payı vardır. Cihaz 9 kg ağırlığında olup çok amaçlı ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapabilmekte, bilgisayara ve yazıcıya bağlanabilmektedir.



Şekil 3.2. Isı iletkenlik cihazı

3.1.2.g. Fırın

Numunelerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılması için 1100°C kapasiteli, 5-12°C/dak arasında sıcaklık artışı sağlayabilen fırın kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Fırın

3.2. Yöntem

Bu bölümde agrega özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ile taze ve sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

3.2.1. Agrega deneyleri ve uygulanan yöntemler

Deneylerde kullanılmak üzere laboratuara getirilen dere agregası için agrega deneyleri yapmak üzere numune alınmasında TS 1114 (1986b)'de belirtilen çeyrekleme metodu kullanılmıştır. Bu metotta belirtildiği gibi, laboratuardaki malzemelerin tümünü temsil etmesi için yığının her tarafından alınan örnekler düz bir zemin üzerine her tarafı eşit ve çapı yüksekliğinin dört katı olan bir daire oluşturacak şekilde serilmiştir. Daha sonra bu dairesel yığın kürekle dörde bölünmüş, karşılıklı iki parçası atılıp, deneyler için yeterli miktarda örnek kalıncaya kadar çeyrekleme işlemine devam edilmiştir.

Her bir deney için, numuneler üzerinde üçer defa agrega deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

GPA ve dere agregasının tane büyüklüğü dağılımı TS 3530 (1999)'a göre belirlenmiştir. Deneylerde TS 1227 (1996b)'ye uygun toplama kabı, 2 mm ile TS 1226 (1996a)'ye uygun 4 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

Harçların karışımında agrega 0–2 mm (%50) ve 2–4 mm (%50) olacak şekilde iki elek sınıfına ayrılarak ayarlanmış granülometriye sahip agrega kullanılmıştır.

Organik madde tayini deneyi TS 1744–1 (2000)'e göre yapılmıştır. Bu deneyde %3'lük NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi içinde numune 24 saat ölçüm kabında bekletilerek gözlem yapılmıştır. Ölçü silindirindeki malzeme üzerinde kalan sıvılarda herhangi bir renk değişimi gözlenmemiştir. Yani sıvı renksizdir. TS 3673 (1982)'e göre sıvının renksiz veya açık sarı olması durumunda zararlı oranda organik madde bulunmadığına,

koyu sarı, kahverengi veya kırmızımsı bir renk alması durumunda ise zararlı organik madde bulunduğuna karar verilir. Böylelikle çalışmada kullanılan agregaların harç üretimi için uygun olduğu gözlenmiştir.

İnce madde oranı tayini deneyi TS 3527 (1980b)'de, özgül ağırlık ise TS 3526 (1980a)'da belirtilen kurallar çerçevesinde yapılmıştır. Beton agregalarında ince maddelerin (kil-silt) fazla miktarda olması, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansın zayıflamasına ve çimentonun prizini geciktirmesine neden olduğundan istenmeyen bir durumdur (Postacıoğlu 1987). Deneylerden elde edilen sonuçlar ilgili standartlar ile karşılaştırıldığında kullanılan agregalarda harca zarar verecek oranda ince taneli malzeme bulunmadığı belirlenmiştir. Bu sebeple agregaların beton üretimin için kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir

Hafif agrega olan GPA için beton karışım hesaplarında kullanılan özgül ağırlık faktörü deneyi, agreganın kullanıldığı andaki nem durumuna göre, TS 3234 (1978)'e göre piknometre yöntemi ile belirlenmiştir. Piknometre olarak 1000 ml'lik cam mezür kullanılmış olup 10 dakikalık su emme süresi esas alınmıştır.

3.2.2. Karışım oranlarının belirlenmesi

Standart harçlar için malzeme miktarı çimento ağırlığının 1 kısmı için 2,75 kısım derecelendirilmiş standart kum kullanılmalıdır. S/Ç oranı tüm harç numuneleri için 0,46 olarak sabit alınmıştır. Ek olarak her karışım miktarı için hedeflenen yayılma çapı miktarı işlenebilmeyi sağlamak amacıyla en uygun akışkanlık olan 21 ± 2 cm olarak sabit tutulmuştur. 1:2,75 ve 21 ± 2 cm (S/Ç=0,46) miktarları için hedeflenen yayılma miktarı S/Ç oranına göre harç numunelerinin bazı özelliklerini belirlemek için denemelerle sabit tutulmuştur. 8 grup harç karışımı üretilmiştir. 1 adet kontrol grubunda %100 dere agregası kumu kullanılmış, diğer 7 grup karışımda 0-2 mm ince agrega yerine ağırlıkça %25 GPA'sı kullanılmıştır. Ayrıca 6 grup numunede çimento ağırlığı yerine %10 ve %20 oranlarında sırasıyla CT, YFC ve DZ kullanılmıştır.

Karışımlardaki bütün malzeme miktarları, ağırlık olarak tartılıp karışıma konularak deney numuneleri üretilmiştir. Harç numunelerinde kullanılan malzeme miktarı Şekil 3,3'de gösterilmektedir.

3.2.3. Mineral katkıların karışımda kullanılması

Mineral katkıları (CT, YFC ve DZ) 75 µm'dan daha küçük olmak üzere tane boyutu dağılımı yapılmıştır. Tüm karışımlarda Avrupa Standartı EN-197/1 e uygun olan özgül yüzey alanı 3410 cm²/g ve özgül ağırlığı 3,13 olan PC 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır.

Karışımda kullanılan CT, YFC ve DZ 75 µm'luk elekten geçirilerek kullanılmıştır. Bu şekilde kullanılan bütün mineral katkıların inceliği birbirine yakın tutulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmadaki amaç öğütülmüş CT, YFC ve DZ'nin bağlayıcılık özelliklerini benzer incelikteki bir çimento ile karşılaştırmaktır.

CT, YFC ve DZ'nin inceliğinin tespiti için 200 Φ'lik elekten geçen taneler kullanılmış ve tane büyüklüğü dağılımı "Blaine İncelik Metodu"na göre belirlenmiştir. Benzer tane büyüklüğü dağılımları için CT'nun açılmal taneleri nedeniyle Blaine Özgül Yüzey Alanı çimentonunkinden biraz daha fazladır.

Çizelge 3.6. Harç numunelerinin karışım oranları

Karışımlar	GPA0+PC100	GPA25+PC100	25%GPA + 75%Kum					
			%10CT	%20CT	%10YFC	%20YFC	%10DZ	%20DZ
Su/çimento	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Su, kg/m ³	221	328	328	328	328	328	328	328
PC, kg/m ³	400	400	360	320	360	320	360	320
CT, kg/m ³	-	-	40	80	-	-	-	-
YFC, kg/m ³	-	-	-	-	40	80	-	-
DZ, kg/m ³	-	-	-	-	-	-	40	80
Agrega	Kum 0-2 mm	524	393	393	393	393	393	393
	GPA 0-2 mm	-	131	131	131	131	131	131
	Kum 2-4 mm	539	539	539	539	539	539	539
Su azaltıcı kg/m ³	4	4	4	4	4	4	4	4
Yayıma çapı (cm)	22	22	21	21	24	23	20	19

3.2.4. Harç üretimi, numunelerin yerine konması ve bakımı

Karışım oranları belirlenen malzemeler 1 g hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra ilk önce kuru yüzeyi doygun hale getirilen kum, mineral katkıları ve çimento su katılmadan karıştırıldı. Daha sonra su eklenerek malzemeler karıştırılmıştır.

Üretilen harçlar ahşap olarak hazırlanmış olan 4x4x16, 4x11x16 boyutlu prizmatik ve çelik olarak hazırlanmış 5x5x5 cm boyutlu küp kalıplara yerleştirilmiştir. Numunenin kalıplardan kolaylıkla çıkarılabilmesi için, kalıpların içi ince motor yağı ile yağlanmıştır. Yerleştirme işleminden sonra kalıpların yüzeyleri çelik mala ile düzeltilmiştir. Harç numunelerinin nem kaybını önlemek amacıyla naylon parçaları ile üst kısımları kapatılmış ve 24 saat kalıplarda bekletilmiştir.

Laboratuvar koşullarında 24 saat bekletilen numuneler kalıpları söküldükten sonra su kürü için kür havuzuna konulmuştur. Kür havuzları, numuneler yerleştirilmeden önce su ile doldurulmuş, kirece doygun hale getirilmiş ve sıcaklığının $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ olması sağlanmıştır. Her grubun numuneleri 1, 5 ve 26 gün kürde kaldıktan sonra çıkarılarak bir gün laboratuvar şartlarında bekletildikten sonra sırasıyla 3, 7 ve 28 günlük deneylere tabi tutulmuştur.

3.2.5. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Yayılma tablası aracılığı ile harcın yayılma çapı değerleri ölçülmüştür. ASTM C 109C 109M-98'e (Hidrolik çimentoların testinde kullanılan yayılma tablası için standart şartname) göre yayılma tablası kullanılmıştır. İlk önce yayılma tablasının üst kısmı iyice temizlenerek merkezine numune kabı yerleştirilmiştir. Sonra numune kabına 2,5 cm yüksekliğindeki harç numuneleri koyularak tokmak ile 20 defa tokmaklanmıştır. Daha sonra numune kabı ilk tabakanın doldurulduğu gibi tamamen doldurulmuştur. Numune kabından harç çıkarıldıktan sonra dikkatli ve düzenli bir şekilde 1,27 cm yüksekliğinden 15 sn'de içinde 25 kez düşürülmüştür. Harcın çapı farklı hatlardan 4 kez ölçülerek yayılma çapı değerleri bu ölçümlerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir.

Yayıma testi yöntemi ile yayılma çapı belirlenen taze harç tekrar harmana karıştırılarak 5x5x5, 4x11x16 ve 4x4x16 cm boyutlarındaki kalıplara doldurulmuştur. Doldurma işlemi bittikten sonra kalıpların yüzeyleri mala ile düzeltilmiş ve taze harçta nem kaybını önlemek amacıyla kalıpların üst tarafı naylon bir örtü ile örtülerek sarsıntısız bir yerde sertleşmeye bırakılmıştır.

Bu şekilde 24 saat boyunca kalıpta bekleyen numuneler 24 saatin sonunda kalıptan çıkarılmış ve önceden hazırlanmış, sıcaklığı $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ olan, kirece doymuş su ihtiva eden kür havuzunda su kürü uygulanmıştır. Su içindeki numuneler sertleşmiş harç deneyleri uygulamasından bir gün önce kür havuzundan çıkarılıp laboratuvar şartlarında bekletilerek deneylere hazır hale getirilmişlerdir.

3.2.6. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Bu çalışmada hacimce %0 ve %25 GPA ve farklı oranlarda mineral katkı maddeleri kullanılarak üretilen 8 farklı karışım grubu hazırlanmıştır. Hazırlanan her gruptan 3, 7 ve 28 günde deneyler yapmak için su küründe bekletilmek üzere 9 adet basınç dayanımı, 9 adet eğilme dayanımı ve kuru birim ağırlık, 9 adet ısı iletkenlik ölçümü ve 12 adette yüksek sıcaklığın etkisini incelemek için toplam 312 adet harç numunesi üretilmiştir. Böylelikle her bir karışım grubu için basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık ve ısı iletkenlik analizleri yapılmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklığın harcın ısı iletkenlik, basınç dayanımı ve eğilme dayanımına olan etkileri incelenmiştir.

3.2.6.a. Basınç dayanımı

Numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında standartlardaki yöntemler göz önünde bulundurulmuştur (Anonim 2003a).

Numunelerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ELE firmasının ürettiği 300 ton kapasiteli presle belirlenmiştir. Basınç dayanımı için numuneler küp şeklinde olup

5x5x5 cm ebadındadır. Sonuçlar her grup için üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak yapılmıştır.

Standartlarda belirtildiğine göre yükleme hızı 1,5-3,5 kg/cm²/s arasında olabilmektedir (Anonim 2003a). 300 tonluk preste numunelerin üzerine gelen yük üniform olarak yaklaşık 2,5 kg/cm²/s hızla devam edilmiş numune kırıldığı an presin elektronik göstergesinden kırılma yükü ve basınç dayanımı okunmuştur.

3.2.6.b. Isı iletkenlik

Hazırlanan harç numunelerin ısı iletkenliklerinin belirlenmesinde geçici rejim yöntemlerinden Sıcak Tel Yöntemi kullanılmıştır. Geçici rejim yönteminin esasına uygun QTM 500 adlı TSE standartlarına uygun olarak üretilmiş olan Japon malı, KYOTO marka, ısı iletkenlik cihazı kullanılmıştır. Fırın kuru numuneler (4x11x16 cm) üzerinde yapılan ısı iletkenlik deneylerinin sonuçları Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde ayrıntılı bir şekilde verilerek incelenmiştir.

QTM-500 Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Cihazı aşağıdaki eşitlik 1'i kullanarak gerekli olan λ değerini vermektedir.

$$\lambda = \frac{I^2 \cdot R \cdot \ln(t_2/t_1)}{4\pi \cdot (T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (1)$$

λ : Malzemenin ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)

I: Isıtma telinden geçen akım, (A)

R: Birim uzunluktaki ısıtma telinin direnci, (Ω /m)

t_1 - t_2 : Isıtma teline akım verilmesinden sonra herhangi iki zaman aralığı, (s)

T_1 - T_2 : Seçilen iki zaman aralığına karşılık gelen ısıtma telindeki sıcaklıklar, ($^{\circ}$ C)

3.2.6.c. Birim ağırlık

Sertleşmiş harç deneylerinde önce harç numuneleri için 3, 7 ve 28 günlük kuru birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Kuru birim ağırlık tayininde numune hava dolaşımli etüvde 24 saat $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de tutulduktan sonra çıkarılmış, laboratuvar sıcaklığına ininceye kadar bekletildikten sonra tartılmıştır. Daha sonra milimetrik hassasiyetle boyutları bulunan numunenin bu ağırlığı hacmine bölünerek kuru birim ağırlığı bulunmuştur.

3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan metot

Bu çalışmada, doğal agregata ve GPA kullanılarak üretilen harçların 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık, ısı iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklığın sertleşmiş harç numuneleri üzerindeki etkisini incelemek için numuneler 300 , 500 ve 800°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısı ölçümleri yapılarak yüksek sıcaklık öncesi durumla karşılaştırılmışlardır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Taze Harçların Yayılma Çapları

Harçların yayılma çapları GPA0+PC100 için 22 cm, GPA25+PC100 için 22 cm, CT numunelerinde 21 cm, %10 YFC ve %20 YFC numunelerinde sırasıyla 24 cm ve 23 cm %10 DZ ve %20 DZ numunelerinde sırasıyla 20 cm ve 19 cm olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.6'da tüm harç karışımlarının yayılma çapları verildi. Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi sabit s/ç oranında üretilen numunelerin yayılma çapları önemli ölçüde değişmemiştir.

4.2. Harçların Kuru Birim Ağırlığı

Tüm karışım gruplarının birim ağırlıkları Çizelge 4.1'de verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Tüm karışım gruplarında birim ağırlıklar zamanla artış göstermiştir. Maksimum değerler 28 günlük numunelerden alınırken minimum değerler 3 günlük numunelerden elde edilmiştir. Maksimum kuru birim ağırlık Şekil 4.1'de görüldüğü gibi %100 dere agregası ve normal portland çimentosu ile oluşturulan numunelerden elde edilmiş olup 28 günlük kuru birim ağırlığı 1437 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Grup içinde minimum kuru birim ağırlık değeri, 3 günlük %25 GPA ve %20 DZ içeren numunelerden alınmış olup bu değer 834 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Portland çimentosu yerine kullanılan mineral katkıları birim ağırlığın düşmesine neden olmuştur. En çok düşüş DZ kullanıldığında, en az düşüşte CT kullanıldığında meydana gelmiştir. 28 günlük %20 DZ, %20 YFC ve %20 CT numunelerinde kuru birim ağırlıkta ki azalış oranları sırası ile %5, %5 ve %3 olarak elde edilmiştir. Yine 28 günlük %100 kum ile üretilen numunelerin kuru birim ağırlığı %75 kum+%25 GPA ile üretilen numunelerin kuru birim ağırlığından %49 daha fazla çıkmıştır.

Çizelge 4.1.1. Harç karışımlarının deney sonuçları

Sonuçlar	GPA0+PC100	GPA25+PC100	25%GPA + 75%Kum					
			10%CT	20%CT	10%YFC	20%YFC	10%DZ	20%DZ
3-günlük, Kuru Birim Ağırlık (kg/m ³)	1375	889	877	855	883	879	837	834
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+55	0	-1	-5	-1	-1	-6	-6
7-günlük, Kuru Birim Ağırlık (kg/m ³)	1378	918	914	903	907	883	874	848
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+50	0	-0	-2	-1	-4	-5	-8
28-günlük, Kuru Birim Ağırlık (kg/m ³)	1437	964	955	940	937	920	922	916
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+49	0	-1	-3	-3	-5	-4	-5
3-günlük, Isı İletkenlik(W/mK)	1,9416	0,9876	1,0045	0,9503	0,9723	0,8731	0,8620	0,8168
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+97	0	+2	-4	-2	-12	-13	-17
7-günlük, Isı İletkenlik	2,4306	1,1324	1,1203	1,1051	1,1077	1,0185	0,9637	0,8457
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+115	0	-1	-2	-2	-10	-15	-25
28-günlük, Isı İletkenlik	3,2712	1,3511	1,3428	1,2940	1,2098	1,1799	1,1490	1,0316
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+142	0	-1	-4	-10	-13	-15	-24
3-günlük, Basınç Dayanımı(kgf/cm ²)	194,0	36,2	35,5	27,2	35,3	31,9	25,7	24,3
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+436	0	-2	-25	-3	-12	-29	-33
7-günlük, Basınç Dayanımı(kgf/cm ²)	247,0	52,4	48,2	46,7	53,7	48,3	48,4	38,7
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+371	0	-8	-12	+3	-8	-8	-26
28-günlük, Basınç Dayanımı(kgf/cm ²)	492,4	127,6	103,6	127,8	139,8	133,4	119,0	112,2
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+286	0	-19	0	+9	+5	-7	-12
3-günlük, Eğilme Dayanımı(kgf/cm ²)	41,3	9,8	10,3	9,8	13,6	10,6	10,7	7,8
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+321	0	+5	0	+39	+8	+9	-20
7-günlük, Eğilme Dayanımı(kgf/cm ²)	53,6	17,5	16,5	15,7	18,1	16,0	17,6	14,4
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+206	0	-6	-10	+4	-9	+1	-18
28-günlük, Eğilme Dayanımı(kgf/cm ²)	74,81	31,50	32,63	31,64	36,98	29,95	34,31	33,75
Artış (+) veya Azalış (-)(%)	+137	0	+4	+1	+18	-5	+9	+7

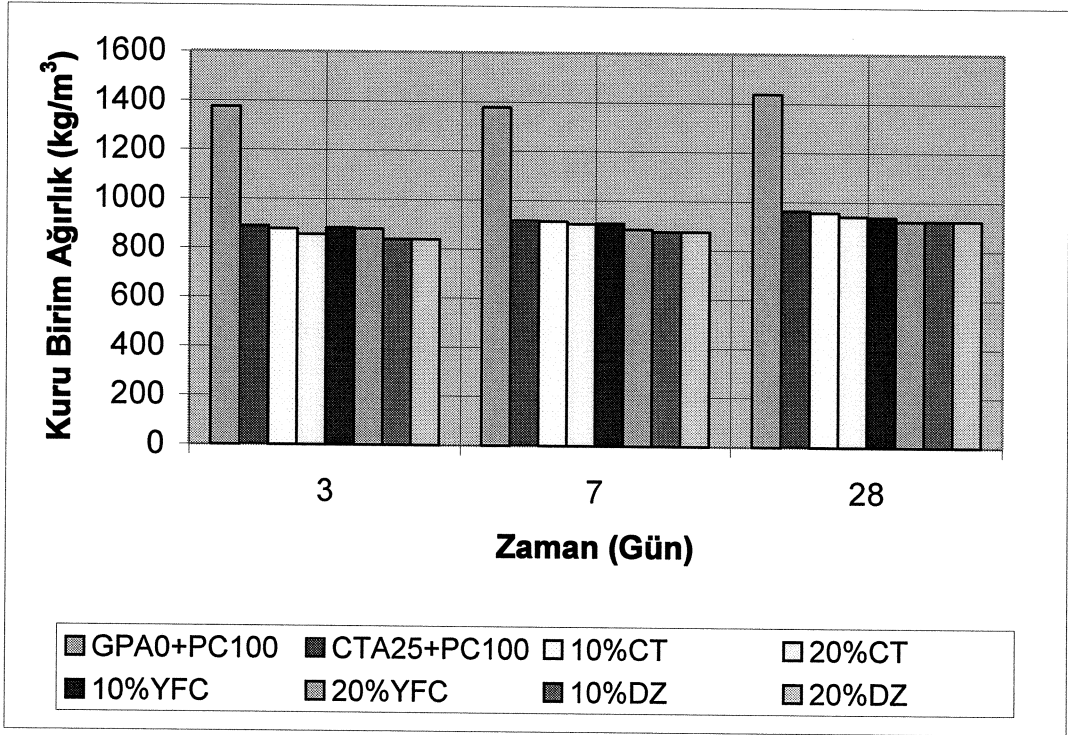
Çizelge 4.2. Yüksek sıcaklığın harçlar üzerindeki etkisi

Sonuçlar	GPA0+PC100	GPA25+PC100	25%GPA + 75%Kum					
			%10CT	20%CT	%10YFC	%20YFC	%10DZ	%20DZ
28-günlük, Isı İletkenlik (W/mK)	3,2712	1,3511	1,3428	1,2940	1,2098	1,1799	1,1490	1,0316
Artış (+) veya Azalış (-)	+142	0	-1	-4	-10	-13	-15	-24
28-günlük, Isı İletkenlik 300 °C	2,9642	1,2598	1,2479	1,1907	1,2066	1,1368	1,1380	1,0224
Artış (+) veya Azalış (-)	+135	0	-1	-6	-4	-9	-10	-19
28-günlük, Isı İletkenlik 500 °C	2,6424	1,1772	1,1634	1,1540	1,1440	1,0711	0,9942	0,9906
Artış (+) veya Azalış (-)	+125	0	-1	-2	-3	-9	-16	-16
28-günlük, Isı İletkenlik 800 °C	2,0040	0,9864	0,9557	0,9440	1,0855	1,0533	0,8756	0,8704
Artış (+) veya Azalış (-)	+103	0	-3	-4	+10	+7	-11	-12
28-günlük, Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	492,4	127,6	103,6	127,8	139,8	133,4	119,0	112,2
Artış (+) veya Azalış (-)	+286	0	-19	0	+9	+5	-7	-12
28-günlük, Basınç Dayanımı 300 °C	490,2	135,2	137,6	150,8	165,6	157,8	132,8	131,0
Artış (+) veya Azalış (-)	+263	0	+2	+12	+23	+17	-2	-3
28-günlük, Basınç Dayanımı 500 °C	386,4	76,8	91,2	121,6	134,0	118,0	85,6	85,2
Artış (+) veya Azalış (-)	+403	0	+19	+58	+75	+54	+11	+11
28-günlük, Basınç Dayanımı 800 °C	242,0	48,4	27,2	83,2	92,8	76,8	55,6	40,4
Artış (+) veya Azalış (-)	+400	0	-44	+72	+92	+59	+15	-17
28-günlük, Eğilme Dayanımı (kgf/cm ²)	74,81	31,50	32,63	31,64	36,98	29,95	34,31	33,75
Artış (+) veya Azalış (-)	+137	0	+4	+1	+18	-5	+9	+7
28-günlük, Eğilme Dayanımı 300 °C	72,46	22,80	23,83	20,83	27,70	25,17	20,25	19,55
Artış (+) veya Azalış (-)	+218	0	+5	-9	+22	+10	-11	-14
28-günlük, Eğilme Dayanımı 500 °C	52,31	10,41	13,22	16,03	14,91	12,81	14,06	11,25
Artış (+) veya Azalış (-)	+402	0	+27	+54	+43	+23	+35	+8
28-günlük, Eğilme Dayanımı 800 °C	30,38	7,88	8,91	10,75	11,13	9,28	8,44	9,56
Artış (+) veya Azalış (-)	+285	0	+13	+36	+41	+18	+7	+21

Kılıç vd (2003), geleneksel agrega yerine hafif agrega (pomza) kullanarak ürettikleri betonların birim ağırlıklarının yaklaşık olarak %20 oranında düştüğünü elde etmişlerdir. Demirboğa ve Gül (2003a), Demirboğa vd (2001) yaptıkları çalışmada, karışımda kullanılan GPA oranları arttıkça birim ağırlığın azaldığını elde etmişlerdir. Demirboğa vd (2001) yaptığı çalışmada, GPA miktarı arttıkça, birim ağırlıklar 1154 kg/m^3 'ten 735 kg/m^3 'e kadar azaldığını belirtmişlerdir. Şahin vd (2003) yaptıkları çalışmada, doğal agrega yerine pomza agregası kullanarak birim ağırlıkta %41,5 oranında bir azalma elde etmişlerdir.

Literatürden de anlaşılacağı üzere mineral katkıların karışıma katılım oranının artmasıyla birim ağırlıkta azalma meydana gelmiştir. Örneğin bu çalışmada %10 YFC katkılı numunelerin 3, 7 ve 28 günlük birim ağırlıkları sırasıyla 883 kg/m^3 , 907 kg/m^3 ve 937 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Karışımdaki YFC içeriğinin %20 olması durumunda 3, 7 ve 28 günlük birim ağırlıklar sırasıyla 879 kg/m^3 , 883 kg/m^3 , 920 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Anlaşılacağı üzere %10 daha fazla YFC'nin karışıma eklenmesi ile birim ağırlıklarda azalmalar meydana gelmiştir. Aynı durum mineral katkı maddesi kullanılan tüm numunelerde gözlenmiştir. Mineral katkıların ilave edilmesi ile birim ağırlıkta meydana gelen azalma, bu katkıların özgül ağırlıklarının, çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Kirece doymun suda kür edilen bulunan harç numunelerin kuru birim ağırlıklarının kür süresi ile orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ancak bu artışlar tüm karışımlarda %1 ile %6 arasında gerçekleşmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi kür süresi arttıkça kuru birim ağırlıklarda önemli bir değişiklik olmamıştır. Tüm harç numunelerinin birim ağırlık değerleri Şekil 4.1'de gösterilmiş olup Çizelge 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Tüm karışımlarda birim ağırlık değerleri

4.3. Harçların Isı İletkenliği

Tüm karışım gruplarının ısı iletkenlikleri Çizelge 4.1’de verilmiş olup grafiksel olarak da Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Birim ağırlıklara benzer biçimde ısı iletkenlik değeri tüm gruplarda zamana bağlı olarak artmaktadır. Maksimum kuru birim ağırlık değeri 28 günlük %100 dere kumu içeren numunelerde 3,2712 W/mK olarak elde edilmiştir. Minimum kuru birim ağırlık değeri de %25 GPA+%20 DZ ile üretilen 3 günlük numunelerden 0,8168 W/mK olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2). CT, YFC ve DZ içeren numunelerin ısı iletkenlik ve birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Numunelere CT, DZ ve YFC ilave edilmesi ile ısı iletkenlik azalmıştır. Ancak 3 günlük %10 CT numunelerinde artış elde edilmiştir. 28 günlük %20 CT, %20 DZ ve %20 YFC numunelerinde ısı iletkenlikteki azalış miktarı sırasıyla %4, %24 ve %13 olarak elde edilmiştir. Kısmen agrega yerine GPA ve portland çimentosu yerine de CT, YFC ve DZ ile elde edilen harçların ısı iletkenlik katsayılarındaki azalma nedeniyle bu harçların özellikle panellerde, bina bloklarında ve harç işlerinde kullanmak için çok

daha uygun oldukları söylenebilir. Benzer bir ilişki Aydın vd (2007) tarafından pomza agregaları ve uçucu kül katkılı betonlardan elde edilmiştir.

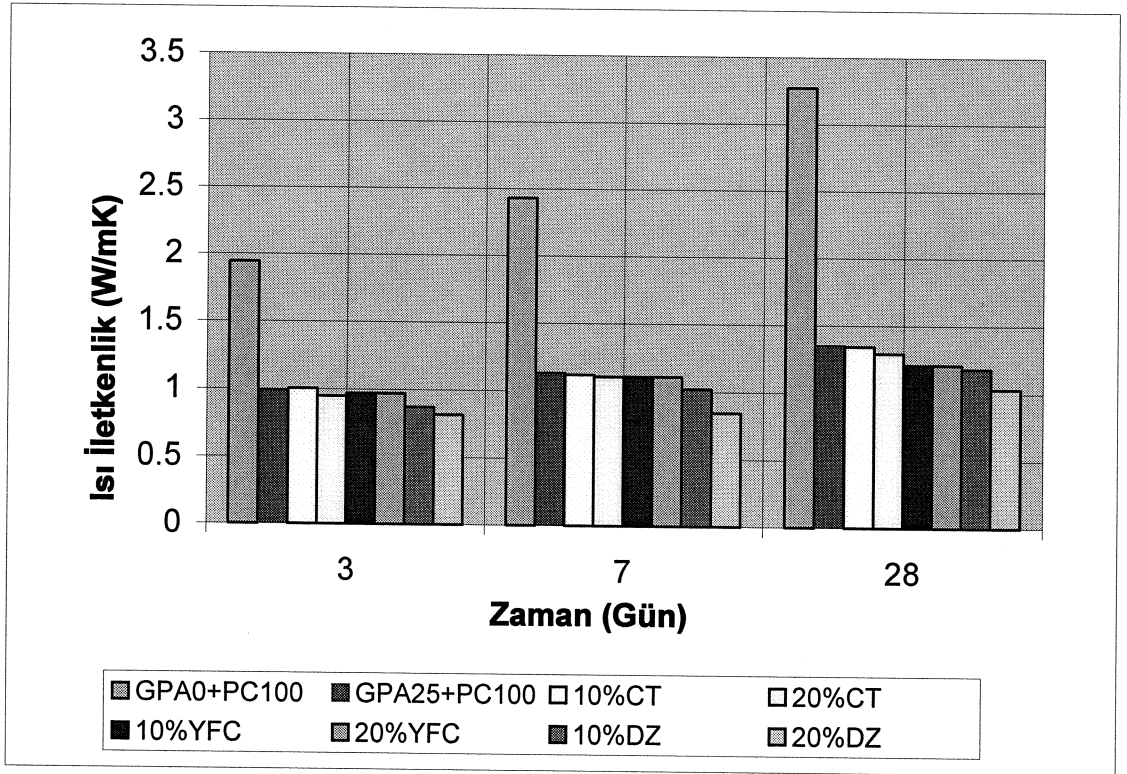
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi ısı iletkenlik ve birim ağırlık arasında üstel bir ilişki elde edilmiştir. Birim ağırlıkların düşmesi ile ısı iletkenlikte düşüş gözlenmiştir. Bu durumun numunelerin boşluklu yapısının artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Örneğin %10 CT numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük birim ağırlıkları sırasıyla 877 kg/m³, 914 kg/m³ ve 955 kg/m³ olarak ölçülmüş olup ısı iletkenlik katsayıları da sırasıyla 1,0045 W/mK, 1,1203 W/mK ve 1,3428 W/mK olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi birim ağırlıklar ve ısı iletkenlikler kür süresine bağlı olarak artmıştır. Bu ilişkiyi başka bir şekilde açıklamaya çalışırsak, örneğin 28 günlük %10 DZ gruplarında birim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri sırasıyla 922 kg/m³ ve 1,1490 W/mK olarak ölçülmüştür. Aynı kür süresinde %20 DZ katkılı numunelerde birim ağırlık 916 kg/m³’e düşerken ısı iletkenlik ise 1,0316 W/mK değerine düşmüştür. Yani karışımdaki mineral katkı malzemesi içeriğinin artmasıyla ısı iletkenlik ve birim ağırlık değerleri azalmıştır. Dolayısı ile birim ağırlık değerinin düşmesi ile ısı iletkenlik katsayısı da düşmüştür. Daha hafif numunelerde daha fazla boşluk bulunduğu için, boşlukta da ısı iletiminin zorlanacağı ilkesinden dolayı ısı iletkenlik katsayıları azalmıştır (Demirboğa 2003).

Harçaların ısı iletkenlik ve birim ağırlık değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Isı iletkenlik ve birim ağırlık arasındaki en iyi korelasyon katsayısı Şekil 4.3’de (R) 0,96 olarak elde edilmiştir. Bu katsayı birim ağırlık ile ısı iletkenlik değerleri arasında %96 oranında bir üstel ilişkinin olduğunu göstermektedir (Şekil 4.3). Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde ısı iletkenlik katsayısı ile birim hacim ağırlıkları arasında eşitlik (2)’deki gibi bir eşitlik elde edilmiştir.

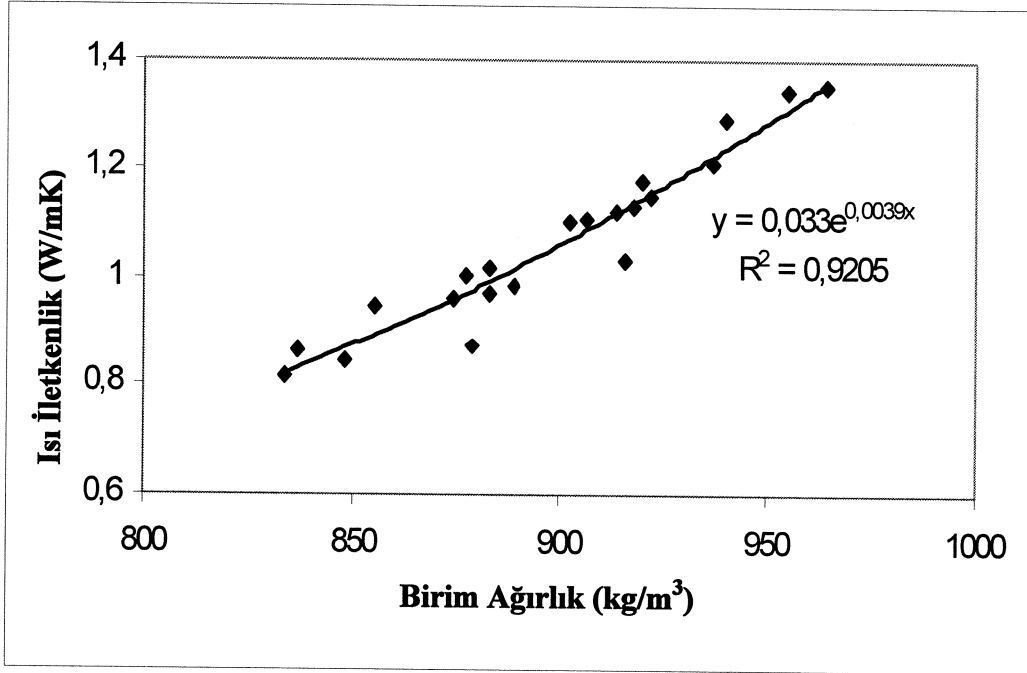
$$\lambda = 0,033e^{0,0398 \dots \dots \dots} \quad (2)$$

Benzer bir ilişkinin olduğu Demirboğa (2003a) tarafından da söylenmiştir. Ancak yalnızca elde edilen sabitler farklıydı. Demirboğa’ya göre birim ağırlığın artmasıyla ısı

iletkenlik artmıştır. Yapılan pek çok çalışmada da ısı iletkenlik katsayısı arttıkça birim hacim ağırlığın arttığı elde edilmiştir (Demirboğa 2003; Kocataşkın 2000; Demirboğa vd 2003; Onat 1998). Mineral katkıların kullanılması sonucu betonun birim ağırlığının azalması muhtemelen düşük olan özgül ağırlıkla ilgili olduğu belirtilmiştir. Tüm karışım gruplarının ısı iletkenlik değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



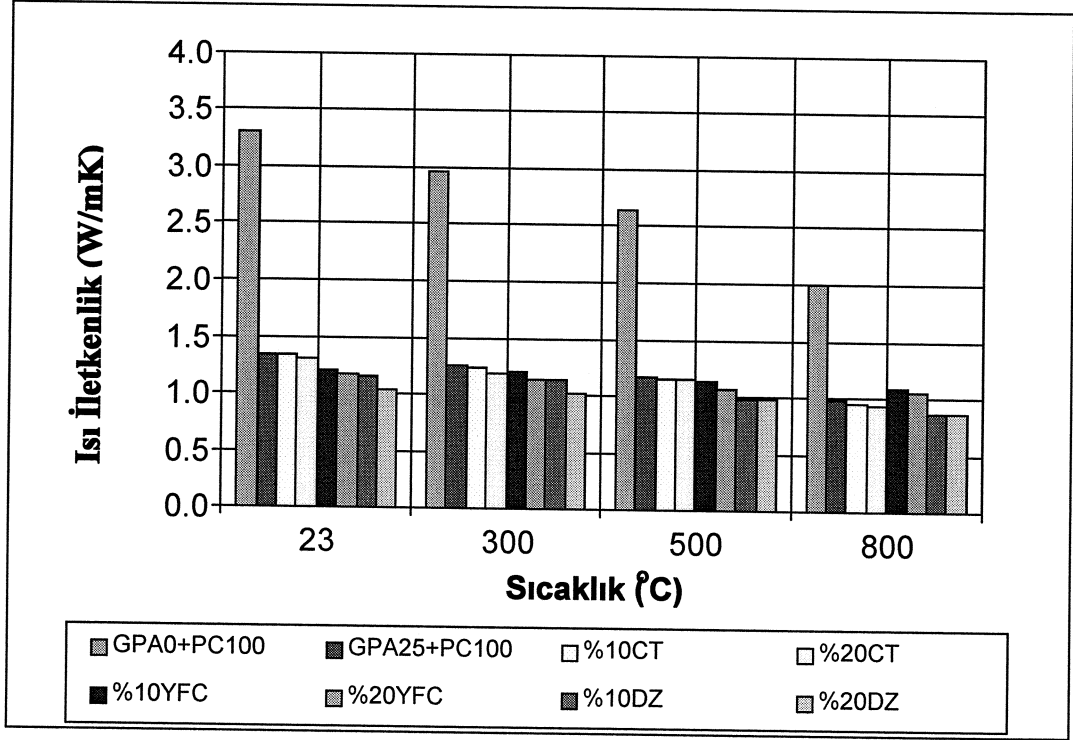
Şekil 4.2. Harç numunelerinin ısı iletkenliğinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.3. Numunelerin birim ağırlıkları ile ısı iletkenlikleri arasındaki ilişki

4.3.1. Yüksek sıcaklığın ısı iletkenliğine etkisi

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi yüksek sıcaklığa maruz kalan tüm numunelerde ısı iletkenlik değeri sıcaklığın artmasıyla birlikte düşmüştür. Başka bir deyişle numunelere tatbik edilen sıcaklık yükseldikçe ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Örneğin %20 YFC içeren numuneler yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce 1,1799 W/mK olan ısı iletkenlik katsayısı 300°C'de yüksek sıcaklığa tabi tutulduktan sonra 1,1368 W/mK değerine kadar düşmüştür. Aynı şekilde numuneler 500°C ve 800°C'de sıcaklık etkisine tabi tutulduğunda ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla 1,0711 W/mK ve 1,0533 W/mK değerlerine kadar düşmüştür. Benzer durum diğer tüm numuneler üzerinde gözlenmiştir. Tüm harç numunelerinin yüksek sıcaklık sonrası ısı iletkenlik değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Yüksek sıcaklık sonrasında ısı iletkenlik değerlerinde meydana gelen azalma numunelerde yüksek sıcaklık etkisinde boşluklu yapısının artmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.4. Harç numunelerinde yüksek sıcaklık ile ısı iletkenlik arasındaki ilişki

4.4. Harçların Basınç Dayanımı

Karışım gruplarının basınç mukavemetleri Çizelge 4.1’de verilmiş olup Şekil 4.5’de de grafiksel olarak gösterilmiştir. YFC ile yapılan numunelerin 28 günlük basınç dayanımında artış gözlenmiş ancak CT ve DZ ile yapılan numuneler de basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir.

GPA’sız (%100 kum ile) üretilen harç numunelerinin 3 günlük basınç dayanımı %75 kum ve %25 GPA ile üretilen harçların basınç dayanımından %436 daha fazla elde edilmiştir. 28 günlük %10 YFC ve %20 YFC kullanımı ile üretilen harç numunelerinin basınç dayanımları kontrol gruplarındakine göre sırasıyla %9 ve %5 artmıştır. Basınç mukavemeti %20 CT ile üretilen numunelerde önemli bir değişime neden olmamış fakat %10 CT ile üretilen 28 günlük numunelerde %19 azalmaya neden olmuştur.

CT’li numuneler yüksek bir puzzolanik aktivite gerçekleştirmişlerdir. 75 µm CT katkılı

harçların erken yaşlardaki dayanımının yüksek olması Na_2O içeriğinin yüksek olmasına dayandırılabilir. Genellikle harç içerisinde bulunan alkaliler, erken yaşlarda kalsiyum silika hidrat şekillendirmesiyle katalizör gibi davranırlar ve erken dayanımın etkisini artırır (Shao vd 2000; Jawed 1978). Çimentolardaki yüksek içerikli alkalilerin 28 günlük harç dayanımını artırdığı bilinmektedir (Shao vd 2000; Jawed 1978).

28 günlük %10 DZ ve %20 DZ içeren harç numunelerinin basınç dayanımlarında azalma olmuştur. Bu azalma miktarı sırası ile %7 ve %12 civarında olmuştur. Aynı şekilde çok sayıdaki çalışma sonuçlarına göre DZ betondaki basınç mukavemetinin azalmasına ve sertleşme oranının azalmasına neden olmuştur (Şahmaran vd 2005; Ay vd 1995). Uzal (2003) çimento ağırlığının %15, %25 ve %35 civarında DZ eklenmesi durumunda 3 günlük basınç mukavemetini %30, 7 günlük basınç mukavemetini de %57 azalttığını belirtmiştir. Çimento hamurundaki DZ'in basınç mukavemetini azalttığı gözlenmiştir. Uzun kür periyotlarında mukavemetteki azalma harçtaki hidratasyon ısısının azalmasından kaynaklanabilir.

Salem ve Burdette (1998) yaptıkları çalışmada, %14 ve %28 oranında uçucu kül içeren betonların, 28 günlük kür süresinde, doğal agrega ile yapılan betonun basınç dayanımını %11 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Topçu vd (2004), agrega olarak kullanılan eski beton parçaları oranı arttıkça, birim ağırlığın %6 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak da BS16 ve BS20 beton sınıfları için %33 ve %23,5 oranında basınç dayanımı azalmıştır. Ramamurty *et al.* (2000)'ın bildirdiğine göre, basınç dayanımı, betonun birim ağırlığının bir fonksiyonudur ve birim ağırlığın artmasıyla, basınç dayanımı artmaktadır (Sahin vd 2003). Gül vd (1997), doğal agrega yerine kullanılan pomza oranının artmasıyla birim ağırlık azalmıştır ve bundan dolayı basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Yukarıda verilen literatürden de görüleceği gibi, birim ağırlık azaldıkça basınç dayanımı da azalmaktadır. Bu çalışmada da düşük birim ağırlığa ve dayanıma sahip GPA harçların, basınç dayanımını azaltmıştır. Örneğin %100 kum ile üretilen 3, 7 ve 28 günlük harç numunelerinin birim ağırlıkları sırası ile 1375 kg/m^3 , 1378 kg/m^3 ve 1437

kg/m³ iken basınç dayanımları da sırası ile 194 kgf/cm², 247 kgf/cm² ve 492,4 kgf/cm² olarak ölçülmüştür. Karışıma GPA katılması ile %75 kum ve %25 GPA numunelerinde 3, 7 ve 28 günlük birim ağırlıklar 889 kg/m³, 918 kg/m³ ve 964 kg/m³ iken basınç dayanımları da 36,2 kgf/cm², 52,4 kgf/cm² ve 127,6 kgf/cm² olarak ölçülmüştür. GPA'nın basınç dayanımını ve birim ağırlığı düşürdüğü gözlemlendi. Aynı durum GPA katkılı tüm harç karışımlar da gözlemlenmiştir. Basınç dayanımında görülen azalma, GPA'nın geleneksel harç agregasına göre daha düşük mekanik dayanımda olması ve harç içerisinde geleneksel agregadan daha fazla boşluk oluşturmuş olması ile açıklanabilir.

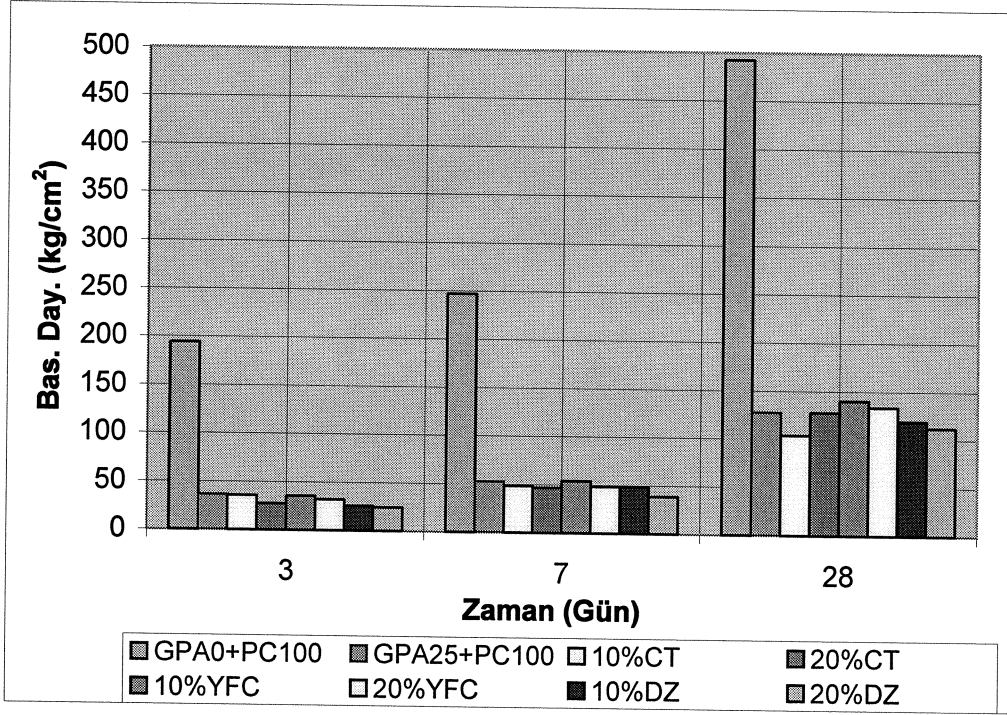
4.4.1. Kür süresinin basınç dayanımına etkisi

Kür süresinin artışı ile numunelerdeki basınç mukavemetinde meydana gelen düşüş miktarı azalmıştır. Erken kür sürelerinde karışımlardaki YFC içeriğinin artması ile basınç dayanımında daha fazla bir düşüş meydana gelmiştir. Türkmen vd (2003) YFC için ve Demirboğa vd (2004) harçlar için benzer sonuçları bildirmişlerdir. Erken yaşlarda YFC katkılı betonlar portland çimentolu betonlardan daha düşük mukavemete sahip olmuştur (Taşdemir 1997). Bununla birlikte YFC katkılı betonlar sonraki yaşlarda portland çimentolu beton ile aynı mukavemete veya daha büyük mukavemete sahip olabilirler. YFC kullanılan betonların hidrasyon ısısının, normal portland çimentosu kullanılan betonların hidrasyon ısısından daha yavaş olması nedeniyle erken mukavemetin düşük, nihai mukavemetin ise yüksek olmasını sağlamıştır (Reeves1986).

Demirboğa vd (2001) yaptıkları çalışmada, GPA'nın etkisi kür süresinin artmasıyla artmıştır. Yapılan çalışmada GPA'nın etkisi kür süresine ve karışım özelliklerine göre değişmektedir. Lee *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada, dozajı 550 kg/m³ ve S/Ç oranını 0.27 aldıkları karışımda 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımını sırasıyla 48,1, 58,2 ve 66,2 MPa olarak elde etmişlerdir. 3 günlük numunelerle karşılaştırıldığında 7 ve 28 günlük numunelerde elde edilen artış oranları sırasıyla %21 ve %38 olduğu görülmüştür. Jianyong *et al.* (1997) yaptıkları çalışmada, kür süresi olarak 3, 7, 28 ve 50 günlük numuneler üretmişlerdir. 3 günlük numunelere göre kıyaslanırsa 7, 28 ve 50 günlük

numunelerdeki basınç dayanımı artış oranı %19, %50 ve %70 olarak elde edilmiştir. Saraswathy *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada kür süresinin basınç dayanımına etkisini incelemişlerdir. 7, 14, 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri hızlı artarken, bu artış hızının 28. günden sonra azaldığını gözlemiştir. Kılıç *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada, 3, 7, 14, 28 ve 90 günlük kür sürelerinin basınç dayanımına etkisini incelemiş ve özellikle ilk 14 gün basınç dayanımındaki artış hızının büyük, 14. günden sonraki artış hızının ise küçük olduğunu belirtmişlerdir.

Yukarıda verilen literatürden de anlaşılacağı üzere kürde bulunan harç numunelerin basınç dayanımları kür süresi ile orantılı olarak arttığı görülmüştür. Yani kür süresinin artmasıyla harç numunelerinin basınç dayanımında artış olmuştur. Bu çalışmada da 3 günlük %75 kum ve %25 GPA katkılı harç numunelerinde basınç dayanımı $36,2 \text{ kg/cm}^2$ iken 7 günlük kür süresi sonunda bu değer $52,4 \text{ kg/cm}^2$, 28 günlük kür süresinde de $127,6 \text{ kg/cm}^2$ olmuştur. Başka bir ifade ile 3 günlük dayanımlar referans alınırsa (yani diğer kür sürelerinde elde edilen basınç dayanım değerlerini, 3 gün kür edilen numunelerin basınç dayanımı değerleriyle kıyaslırsak) %75 kum ve %25 GPA katkılı harçlarda artış oranı 7 ve 28 günlük kür sürelerine göre yaklaşık olarak sırasıyla %45 ve %250 olmuştur. Tüm harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Tüm karışımlarda basınç dayanımı değerleri

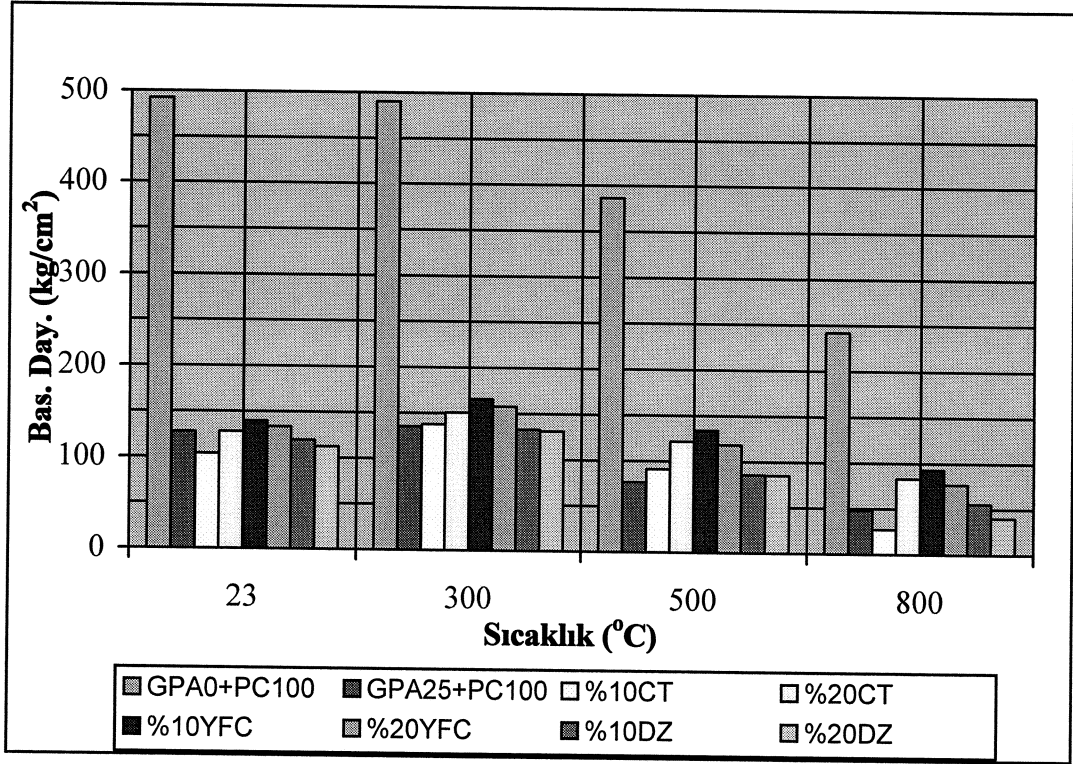
4.4.2. Yüksek sıcaklığın basınç dayanıma olan etkisi

Şekil 4.6'dan anlaşılacağı üzere yüksek sıcaklığa (500, 800°C) maruz kalan tüm numunelerde basınç dayanımı sıcaklığın artmasıyla birlikte düşmüştür. Çizelge 4.2'de görüleceği üzere 300°C'ye kadar ısıtılan numunelerin basınç dayanımları %100 kum ile üretilen numuneler hariç olmak üzere yüksek sıcaklığa maruz kalmamış olanlara kıyasla daha fazladır. %100 kum ile üretilen kontrol numunelerinde yüksek sıcaklık etkisinden sonra basınç dayanımında pek bir değişiklik olmamıştır. Örneğin %100 kum ile üretilen harçlarda basınç dayanımı yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce 492,4 kg/cm² iken 300°C'lik sıcaklığa tabii tutulduktan sonra 490,2 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Ancak GPA katkılı harç numunelerinde 300°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra basınç dayanımında artış gözlenmiştir. Örneğin %10 CT ve %20 CT numunelerinde 300°C'lik sıcaklığa tabii tutulmadan önce basınç dayanımı değerleri sırası ile 103,6 kg/cm² ve 127,8 kg/cm² iken 300°C'lik sıcaklığa tabii tutulduktan sonra sırasıyla 137,6 kg/cm² ve 150,8 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Khoury (1992) küresel bir toprak parçasını çimento hamuru ile sarma temeline dayalı olarak yapılan elastik gerilme analizi sonucu betonun

100°C civarında bozulacağını fakat bununla beraber 300°C'ye kadar mukavemette artış olabileceğini belirtmiştir. 300°C'de betonun mukavemetinde meydana gelen artış, bu sıcaklıkta betonun sıcak kür etkisi görmesi ve hidrate yapının bozulmamasından kaynaklanmaktadır.

%100 kum numunelerinde yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce basınç dayanımı 492,4 iken 300, 500 ve 800°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonra sırası ile 490,2 kg/cm², 386,4 kg/cm² ve 242 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Yani 300°C sonrası basınç dayanımlarında düşüşler gözlenmiştir. Aynı durum tüm harç numunelerinde gözlenmiştir. Genelde 450°C ve daha yüksek sıcaklıklar beton mukavemetinin önemli bir kısmının kaybedildiği değerler olarak göz önüne alınmaktadır. Bu mukavemet kaybına 300-500°C arasında harç-agrega bağlarının zayıflayıp ara yüzey çatlaklarının oluşmasının (Lin *et al.* 1997), 300°C'den sonra kristal suyunun kaybedilmesinin ve 400°C civarında Ca(OH)₂'nin CaO'e dönüşerek hacimce %30 büzülmesinin (Baradan 1991) sebep olduğu düşünülebilir.

Yüksek sıcaklığa maruz kalmış olan tüm GPA'lı numuneler içinde %10 YFC ve %20 CT numunelerinde, basınç dayanımındaki düşüş en azdır. Aynı zamanda %10 YFC ve %20YFC numunelerinin basınç dayanımı %25GPA+%100 kum numunelerine göre 800°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra sırasıyla %92 ve %59 daha fazladır. Bu sıcaklık numunelere kütleme etkisi yaptığından ve gözeneklilikten dolayı yüksek sıcaklıkta dayanım açısından bozulma olmadığı söylenebilir. Tüm harç numunelerinin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

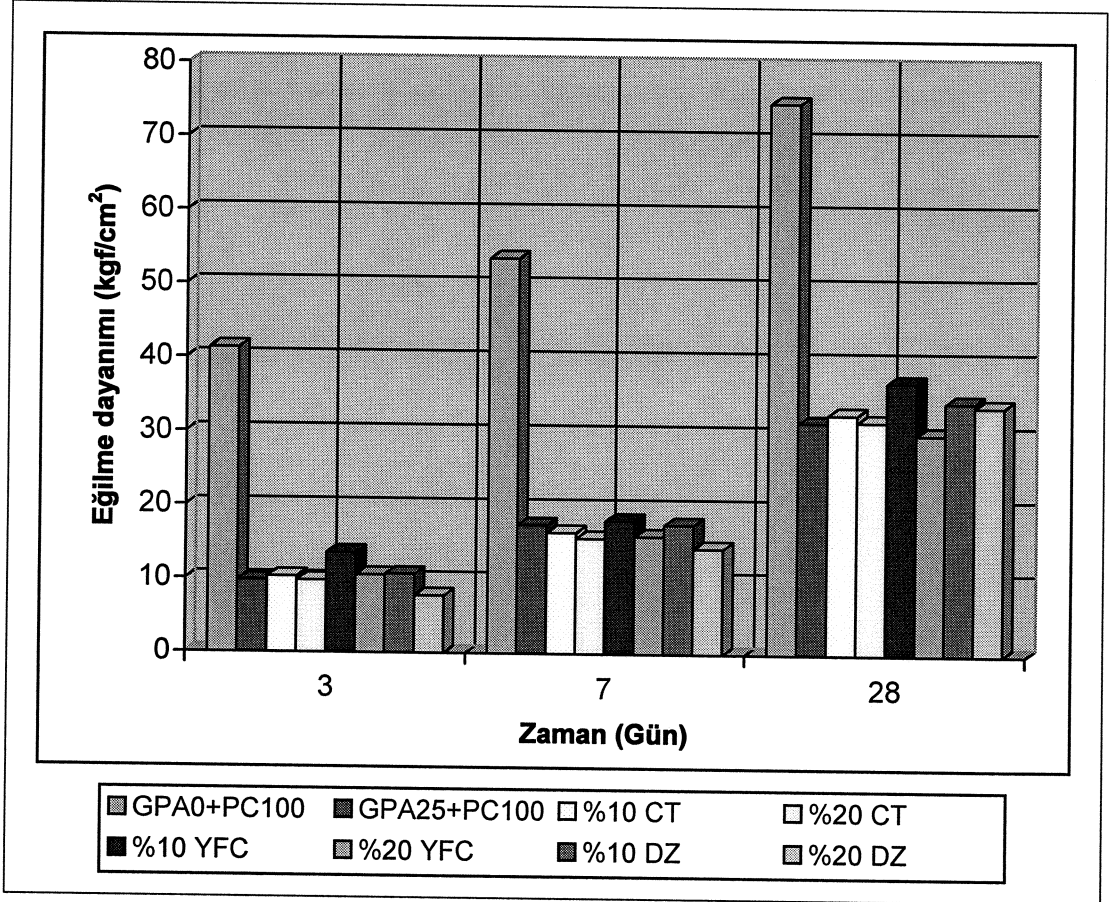


Şekil 4.6. Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi

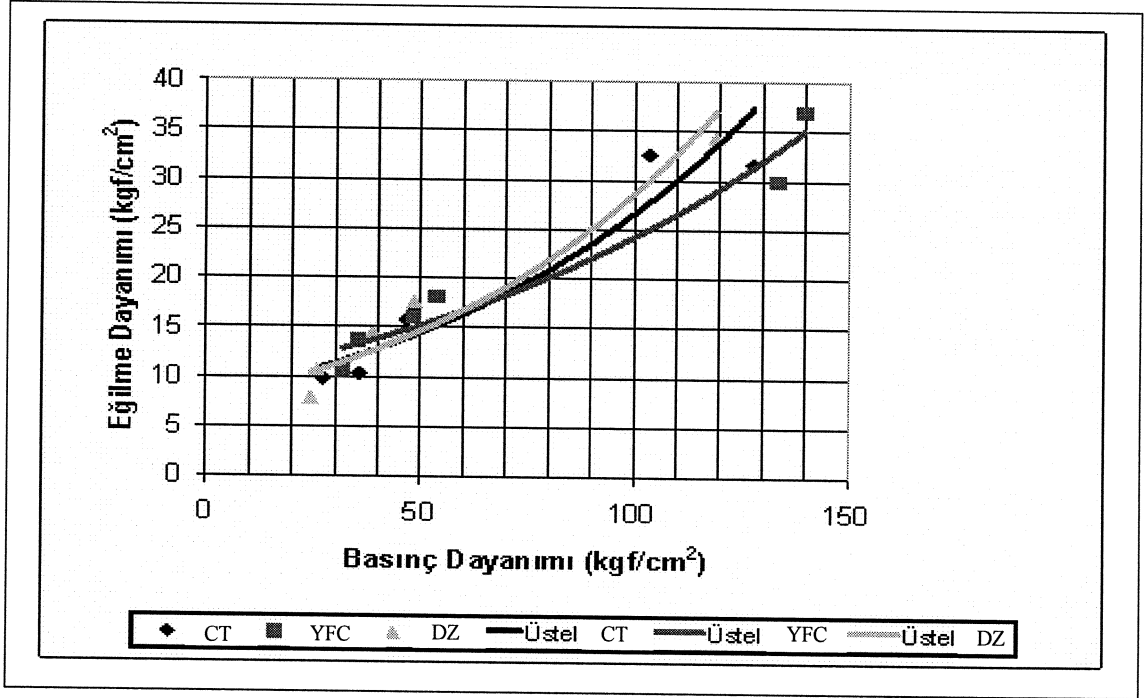
4.5. Harçların Eğilme Dayanımı

Harç numunelerinin eğilme dayanımları Şekil 4.7’de ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. 28 günlük %10 YFC kullanılan numunelerin eğilme dayanımında %18’lik bir artış olmuştur. Ayrıca 28 günlük %10 ve %20 oranlarında kullanılan DZ sırasıyla eğilme dayanımında %9 ve %7 civarlarında bir artışa neden olmuştur. 7 günlük numunelerde CT kullanımı eğilme dayanımının azalmasına neden olmakta ancak 28 günlük %10 CT içeren numunelerin eğilme dayanımını %4 oranında artırmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 28 günlük GPA’sız (%100 çimento) numunelerde 74,81 kgf/cm² olup bu değer %25 GPA ve %100 çimento katkılı numunelerden yaklaşık olarak %137 daha fazladır. %20’lik CT numuneleri eğilme dayanımını fazla etkilememiştir. Örneğin 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları sırası ile 10,3 kgf/cm², 16,5 kgf/cm² ve 32,63 kgf/cm² olarak ölçülmüştür. 3 günlük %20 CT katkılı harç numunelerinin eğilme dayanımı değişmezken 28 günlük numunelerde %1 artma meydana gelmiştir.

GPA katkılı harç numunelerinin eğilme dayanımları katkısız harç numunelerine göre ciddi oranda azalmıştır. Örneğin %100 kum numunelerinde 28 günlük eğilme dayanımı $74,81 \text{ kgf/cm}^2$ iken %25 GPA katkılı harç numunelerde aynı kür süresinde $31,5 \text{ kgf/cm}^2$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Harçların eğilme dayanımı değerleri



Şekil 4.8. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

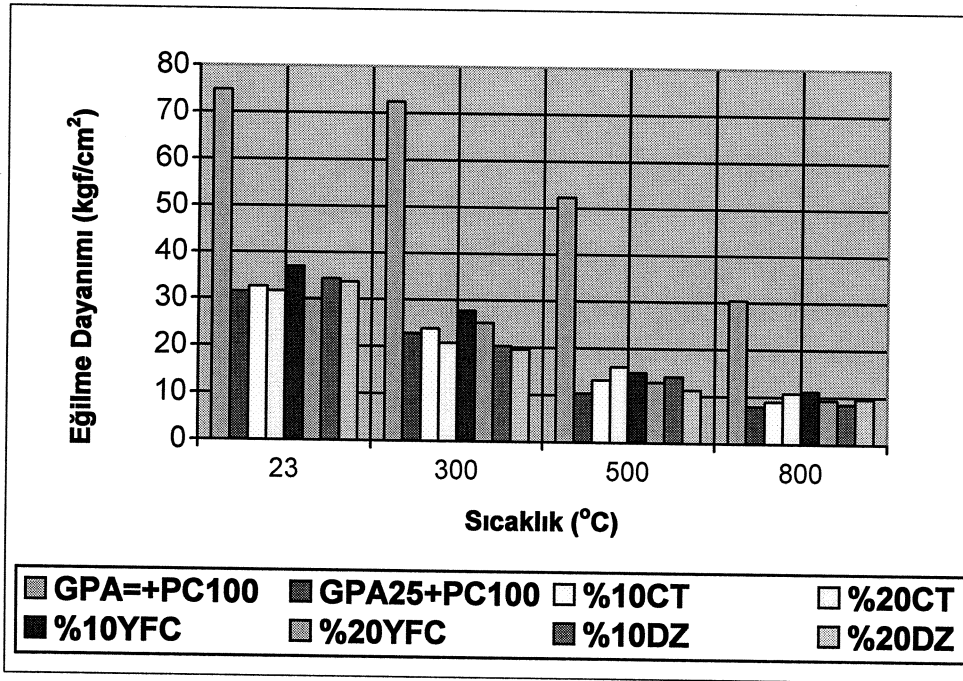
4.5.1. Yüksek sıcaklığın eğilme dayanımına olan etkisi

Şekil 4.9'da görüleceği üzere eğilme dayanımı yüksek sıcaklığa maruz kalan tüm numunelerde sıcaklığın artmasıyla birlikte azalmıştır. Başka bir deyişle numunelere tatbik edilen sıcaklık yükseldikçe eğilme dayanımı düşmüştür.

Çizelge 4.2'de görüleceği üzere 300°C'ye kadar ısıtılan numunelerin eğilme dayanımlarında %100 kum ile üretilen numuneler hariç azalma meydana gelmiştir. %100 kum ile üretilen numunelerinde yüksek sıcaklık etkisinden sonra eğilme dayanımında önemli bir değişiklik olmamıştır.

Yüksek sıcaklığa tabi tutulmamış olan %100 kum numunelerinin eğilme dayanımı 74,81 kgf/cm² 500°C de yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra bu değer %30 azalmış ve 52,31 kgf/cm² olarak ölçüldü. GPA katkılı diğer tüm harç numunelerinde ise yüksek sıcaklığa tabi tutulduktan sonra eğilme dayanımının da %60-%65 oranında azalma meydana gelmiştir. 800°C de %100 kum numunelerinin de eğilme dayanımı değeri %60

düştü ve $30,38 \text{ kgf/cm}^2$ olarak ölçüldü. GPA katkılı harç numunelerinde de eğilme dayanımı %70-75 oranında düştü. Yani GPA katkılı harçlarda 500°C sonrası fazla bir düşüş olmamış %60-65 olan düşüş oranı sadece %10 kadar daha gerilemiş ve %70-75 olmuştur. GPA katkısız harçlarda ise 800°C sonrasında çok fazla bir düşüş olmuştur. 500°C 'de düşüş miktarı %30 iken 800°C 'de %60'a kadar çıkmıştır. %100 kum numunelerinde eğilme dayanımı değeri 300°C sonrasında $72,46 \text{ kgf/cm}^2$, 500°C sonrasında $52,31 \text{ kgf/cm}^2$ iken 800°C sonrasında $30,38 \text{ kgf/cm}^2$ olarak ölçülmüştür. Eğilme dayanımındaki en az düşüş %10 YFC numunelerinde meydana gelmiştir. Yine %25 GPA+%100 kum numunelerine göre en fazla artış yine %10 YFC numunelerinde gözlenmiştir. Örneğin %25 GPA+%100 kum numunelerine göre $300, 500$ ve 800°C yüksek sıcaklık etkilerinden sonra eğilme dayanımı sırasıyla %22, %43 ve %41 daha fazla olmuştur (Çizelge 4.2).



Şekil 4.9. Yüksek sıcaklığın eğilme dayanımına olan etkisi

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada ince agrega yerine GPA ve çimento yerine belirli oranlarda mineral katkı kullanılmış ve üretilen harcın basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık, ısı iletkenlik ve yüksek sıcaklık altında bazı mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın tümünden çıkartılabilecek bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1) Birim ağırlık kontrol numunelerine kıyasla diğer tüm karışımlarda düşmüştür. En fazla düşüş %20 DZ içeren numunelerde meydana gelmiş olup bu değer 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde sırasıyla %6, %8 ve %5 olarak elde edilmiştir.

2) Tüm karışım gruplarında %100 kum ile üretilen harçlara kıyasla basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir. 7 günlük %10 YFC ve 28 günlük %10 ve %20 YFC gruplarında sırasıyla %3, %9 ve %5 oranında artış olmuştur. %10 YFC katılması, nihai beton dayanımında iyi bir sonuç vermiştir. Bu karışım %25 GPA ve %75 kum katkılı numunelere göre %10 daha fazla nihai dayanım elde edilmesini sağlamıştır.

3) Tüm karışım gruplarının ısı iletkenliklerinde 3 günlük %10 CT numuneleri hariç düşüş gözlenmiştir. %20 lik DZ ile üretilen gruplarda ısı iletkenlik 0,8168 W/mK değeri ile tüm gruplardaki en düşük değer olarak elde edilmiştir. Bu değer %100 dere kumu ile üretilen harçların yaklaşık olarak 1/3'ü ve kontrol numunelerindeki harçların da %17 daha azdır. Bu nedenle bu harçlar ısı iletkenlik için uygun bir malzeme olarak göz önüne alınabilir. %20 YFC içeren numunelerde ısı iletkenlikte %13 oranında düşüş elde edilmiştir.

4) Eğilme dayanımında %20'lik YFC numuneleri hariç karışım gruplarının tamamında, 28 günlük kür sonunda olmak üzere artış gözlenmiştir. En fazla artış oranı %10 YFC numunelerinde gözlenmiştir. 3 günlük %10 YFC katkılı numunelerde %39, 7 günlük %10 YFC katkılı numunelerde %4 ve 28 günlük %10 YFC katkılı numunelerde %18'lik

bir artış sağlanmıştır. Eğilme dayanımı için YFC artırıcı bir etki yapmıştır. Bu etki ilk dayanım (başlangıç mukavemeti) ve nihai dayanım için çok önemlidir

5) GPA içeren harçlar 500°C'de ısıtılmadan önceki duruma göre basınç dayanımında %40, eğilme dayanımında da %65'lik bir azalma göstermiştir. Bununla birlikte sıcaklık 800°C iken karışımın mekanik özellikleri önemli bir şekilde düşmüştür. Sonuçta 800°C'de 28 günlük %25 GPA+%100 çimento katkılı numunelerde yüksek sıcaklık sonrasında basınç ve eğilme dayanımı sırasıyla yaklaşık olarak %38 ve %25 oranında azalmıştır.

6) 800°C'de %10 CT ilave edilen numunelerde basınç dayanımı %73 oranında azalmıştır. Hâlbuki %20 CT içeren numunelerde %35 azalmıştır (yüksek sıcaklığa tabi tutulmayanlara göre). En iyi performans %20 CT numunelerinde gözlenmiştir. 800°C etkisinde karışımlardaki performansının iyi olması güçlü agrega çimento pastası ve seramik türdeki mikroskopik yapı şekline dayandırılabilir.

GPA içeren harç karışımları yüksek sıcaklığa maruz kalan yapılar da (bloklar, harçlar) gelecek için izolasyon malzemesi açısından ümit vermektedir.

GPA katkılı %20 DZ içeren harçların ısı iletkenliklerinin standart harçların yaklaşık olarak 1/3'ü olması ve değerinin oldukça düşük (1,0316 W/mK) olması nedeniyle ısı izolasyon amaçları için uygun bir malzeme olabileceği söylenebilir.

Dünya üzerinde katı atıkların yok edilmesi ciddi bir problemdir. Atıkların tahliyesi için iyi bilinen ve genellikle kullanılan metotlar olan açık çöp alanlarının, sıhhi dolguların ve yakmanın çeşitli dezavantajları vardır. Bu çalışmanın sonucu olarak yüksek performans gerektiği zaman harçların üretiminde ince agrega olarak GPA ve çimento yerine kullanılacak mineral katkı malzemesi olarak da CT, YFC ve DZ kullanımı ile alternatif bir yol sunulabilir.

KAYNAKLAR

- Abrams, M., 1971. Compressive Strength of Concrete at Temperatures to 1600^oF , ACI Special Publication SP25, Detroit
- Akman, S. ve Tasdemir, M.A., 1977. Tasıyıcı malzeme olarak perlit betonu. 1. Ulusal Perlit Kongresi Bildirileri, MTA, 40-48, Ankara.
- Aksoy G., 1992. Determination of thermal conductivity and diffusivity of materials by transient measurement techniques. A Master's Thesis in Mechanical Engineering University of Gaziantep.
- Alpaslan, O.K., 1994. Bir Sanayi Yapısının Yangın Dayanımının Artırılması ve Maliyete Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anonim 1985b. Türkiye Perlit envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, 38, Ankara.
- Anonim 1982c. TS 3681, Genleştirilmiş perlit agregası. TSE, Ankara.
- Anonim 1970. Perlite. United States DGPartment of the Interior Bureau of Mines.
- Anonim 1989. TS 825, Binalarda ısı yalıtım kuralları. TSE, Ankara.
- Anonim 2000c. TS 4360, Refrakter ürünler- yogun sekillendirilmiş-deney metotları-kızgın tel metodu ile termal iletkenlik tayini. TSE, Ankara.
- Anonim 2003a. TS EN 12390-3, Beton-sertleşmiş beton deneyleri-bölüm 3: deney numunelerinin de basınç dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- Arslan, M., 1998. Yüksek Fırın Cürüflü Çimentonun Özellikleri ve Kullanım Yerleri, Beton-Çimento ve Boya Semineri, Ankara
- Ashworth, T., Ashworth E., 1991. Insulation materials: testing and applications, in: R.S. Graves, D.C. Wysocki (Eds.), ASTM STP 1116, Philadelphia, pp. 415-429.
- Ataman, R., 1991. Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Atay, Z. Ulviye, 1992. Konya Bölgesindeki Mevcut Tabi Agregası ve Kırmataş ile Yüksek Mukavemetli Beton İmalı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ay, N., Topçu I. B., 1995. The influence of ilicoferrochromium fume on concrete properties, Cement and Concrete Research, vol.25, no.2, pp.387-394.
- Aydin, S., Baradan B., 2007. Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars, *Cement and Concrete Research*, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.02.005
- Aydın, U., 1994. Yapı Elemanlarının Yangına Dayanıklılık Testleri. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balendran, R. V. ve Martin-Baudes, W. H., 2000. The influence of high temperature curing on the compressive, tensile and flexural strength of pulverized fuel ash concrete. Building and Environment, 35 (2000) 415-423.
- Balta, İ., 1991. Yüksek Mukavemetli Betonlar ve Bileşenleri, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, 246-255, İstanbul.
- Baradan, B., 1991. Yapı Malzemesi 2, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, 126, İzmir.
- Bektas, F., Turanlı L., Monteiro P.J.M., 2005. Use of perlite powder to suppress the alkali-silica reaction, Cement and Concrete Research 35, 2014- 2017

- Beyazıt, Ö.L., 1988. Beton ve deneyleri. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü Yayını, 238, Ankara.
- Bingöl, A.F., 2003. Hafif Betonların Yangına Karşı Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Boybay, M., 1979. Çeşitli Çimentolardan Elde Edilen Betonların Dehidrasyon ve Dehidratasyonları ile Dayanımları Arasındaki Bağlıntılar. İstanbul Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Temel Bilimler Fakültesi.
- Brewer, H. W., 1967. General relation of heat flow factors to the unit weight of concrete Journal of the PCA research development laboratories, 48-58.
- Büyükçulha, I., 1987. Perlit Katkısının Pismış Toprak Malzemenin Mekanik Ve Fiziksel Davranışlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chan, Y. N. et al., 2001. Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800°C. Journal of Cement and Concrete Research, 30 (2001) 247-251.
- Chan, Y. N. et al., 1999. Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures. Journal of Cement and Concrete Composites, 21 (1999) 23-27.
- Chang, Y.F. et al., 2006. Residual Stress-Strain Relationship For Concrete After Exposure to High Temperatures. Journal of Cement and Concrete Research.
- Chen, B. ve Liu, J., 2004. Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures. Journal of Cement and Concrete Composites, 34 (2004) 1065-1069.
- Chen, G., Lee, H., Young, K.L., Yue, P.L., Wong, A., Tao, T., Choi, K.K., 2002. Glass recycling in cement production-an innovative approach, Waste Manage. 22, 747-753.
- Cormon, P., 1973. Betons Legers d'Aujourd'hui Ed. Eyrolles, Paris.
- Dağsöz, A.K., 1991. Yapılarda Isı Yalıtımı ve Buhar Geçisi. Emre Matbaacılık, İstanbul.
- Demirboğa, R., Örüng, I., Gül, R., 2001. Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. Cem. and Conc. Res., Vol.32, 1627-1632.
- Demirboğa, R., 2003. Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar, Energy and Buildings, 35, 189-192.
- Demirboğa, R., Türkmen, İ., Karakoç, M.B., 2004. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixed concrete, Cement and Concrete Research, 34, 2329-2336.
- Demirboğa, R., 2003. Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar, Energy and Buildings, 35, 189-192.
- Demirboğa, R., 2003a. Thermo-mechanical properties of sand and high volume mineral admixtures. Energy and Buildings, Vol. 35, 435-439.
- Demirboğa, R. ve Gül R., 2003b. Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures. Energy and Buildings, Vol. 35, 1155-1159.
- Demirboğa, R., and Gül, R., 2003. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume, and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, Cement and Concrete Research, 33 (5), 723-727.

- Demirboğa, R., Turkmen, İ., Karakoc, M.B., 2007. Thermo-mechanical properties of concrete containing high-volume mineral admixtures, *Building and Environment* 42, 349-354
- Dyer, T.D., Dhir, R.K., 2001. Chemical reactions of glass cullet used as cement component, *J. Mater. Civ. Eng.*, 13, 412-417.
- Ducman, V., Mladenovic, A., Suput, J.S., 2002. Lightweight aggregate based on waste glass and its alkali- silica reactivity, *Cem. Concr. Res.* 32, 223- 226.
- Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ., 1993. İnsaat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, no:145, Erzurum.
- Erdoğan, T.Y.,1995. Agregalar. Türkiye Hazır Beton Birliği, 162, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 1995b. Karışım ve bakım suları. Türkiye Hazır Beton Birliği, 67, İstanbul.
- Erdoğan, E., 2006. Çimentoya bor katkısı, uçucu kül, YFC ilavesiyle özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi
- Eriç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yay., İstanbul.
- Feng, N.Q., Li, Z.G., Zang, X. W., 1998. Study on the suppression effect of natural zeolite on expansion of concrete due to the alkali-aggregate reaction, *Magazine of concrete research*, 50, 17-24.
- FIP State of Art Report, 1978. Principles of Thermal Insulation with respect to Lightweight Concrete, FIP/8/1, C&CA, Slought, England.
- Grazzini, G. and Balocco, C., 1995. Determination of thermal parameters of poor conductors by transient techniques. *Int. Journal of Energy Res.*, 19(1), 37-44.
- Gökhan, Ç., 1977. İnsaat Malzemesi Olarak Perlit, I. Ulusal Perlit. Kongresi, Ankara.
- Gulan, Z.A.,1992. The effects of microsilica on HSC. A Master's Thesis, Bogaziçi University, İstanbul, Türkiye.
- Gül, R. ve Türkmen, İ., 1998. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması, Beton-Çimento ve Boya Semineri, DSI-TAKK, 24-26 Haziran.
- Gündüz, L., 1998. Pomza Teknolojisi: Pomza Karakterizasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, cilt 2, Isparta.
- Güvercin, T., 2002. Silis Dumanı, Uçucu Kül ve YFCnün Bağlayıcı olarak Çimento Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Hornbastel, C., 1961. *Materials for Architecture*. Reinhold Publishing Corp., New York.
- Haque, M.N. and Kayali, O., 1998. Properties of high strength concrete using a fine fly ash. *Cem. and Conc. Res.*, Vol. 28(10), 1445-1452.
- Jawed, I. Skalny, J., 1978. Alkalies in cement: A review, *Cement and Concrete Research*, 37-51.
- Jianyong, L. and Pei, T., 1997. Effect of slay and silica fume on mechanical properties of HSC. *Cem. Conc. Res.*, 27(6), 833-837.
- Johnson, C.D., 1974. Waste glass as coarse aggregate for concrete, *J. Test. Eval.* 2 (5), 344- 350.
- Karakoç, M.B., 2002. Genleştirilmiş Perlit Agregasının Yüksek Dayanımlı Betonların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Karakule, F., Akalın T., Uçar S., 2004. Türkiyede ve Dünyada Hazır Beton Sektörü, Beton 2004 Kongresi.

- Khan, M.I., 2002. Factors effecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models. *Building and Environment*;37, 607-14.
- Khatip, J.M. and Mangat, P.S., 1999. Influence of Superplasticizer and Curing on Porosity and Pore Structure of Cement Paste. *Cem.& Conc. Comp.*, (21), 431-437.
- Khoury, G.A., 1992. Compressive Strength of Concrete at High Temperatures, *Magazine of Concrete Research*, No:61
- Kılıç, A., Atis, C.D., Yasar, E. ve Özcan, F., 2003. High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures. *Cem. Conc. Res.*, (33), 595-1599.
- Kim, H.K., Jeon, S.E., Kim, J.K. and Yang, S., 2002. An experimental study on thermal conductivity of concrete. *Cem. and Conc. Res.*, Vol.33, 363-371.
- Kocataşkın, F., 2000. *Yapı Malzemesi Bilimi*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kocataşkın, F., 1991. Yüksek Dayanımlı Betonun Bilesimi, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, 211-226, İstanbul.
- Köksal, T., 2002. Portland Kompoze ve Aynı Dayanım Sınıfındaki Çimentolarla Üretilen Harç ve Betonlarda Geçirgenlik ve Diğer Özelliklerin Araştırılması, Kahramanmaraş.
- Kömürcü, M.Ç., 1993. Effect of the type of aggregate on the mechanical properties of the HSC. A Master Thesis in Civil Engineering METU, Ankara.
- Lankard, D.R., 1971. Effects of Moisture Content on the Structural Properties of Portland Cement Exposed to Temperatures up to 500 °F, ACI Special Publication SP25, Detroit
- Lee, H.K., Lee, K.M., Kim, Y.H., Yim, H. and Bae, D.B., 2004. Ultrasonic in-situ monitoring of setting process of high-performance concrete. *Cem. Conc. Res.*, 34, 631-640
- Lin, W.M., LIN, T.D., POWERS-COUCHE, L.J., 1996. Microstructures of Fire Damaged Concrete, *ACI Materials Journal*, V:93, No:3
- Malhotra, V.M., 1981. Superplasticizers: Their Effect on Fresh and Hardened Concrete, *ACI Concrete International*, 66.
- Mazlum, F., 1989. Pirinç Kabuğu Külünün Pozzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Mavi, Ö., 2000. Kireç, Harç ve Sıvaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D., 2003. *Concrete*. Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Missaglia, C., 1983. *The Concrete*, Course Notes W.R. Grace C.
- Morabito, P., 1989. Measurement of thermal properties of different concretes, *High Temperatures-High Pressures* 21 (1), 51-59.
- Neufert, E., 1983, *Neufert Yapı Tasarımı Temel Bilgileri*, Güven Yayıncılık, İstanbul.
- Neville, A.M., ve Brooks, J.J., 1987. *Concrete Technology*. Longman Scientific and Technical, 155.
- Onat, O.B., 1998. *Türkiyede Üretilen Yüksek Fırın Cürufalarının Çimento Özelliklerine Etkisi*, İstanbul.
- Orton, A., 1986. *Structural Design of Masonry*, Newyork.

- Öz, A., 2006. YFC Ve Doğal Zeolit Katlı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Termo-Mekanik Özellikleri, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Öz, U., 1998. Türkiyede Üretilen Çimentolar, Standartları ve Kullanımı, Beton-Çimento ve Boya Semineri, Ankara.
- Özdemir, E., 2006. PÇ ve mineral katkı maddelerinin ikili, üçlü ve dördü kombinasyonlarını içeren harç numunelerinin bazı özelliklerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi
- Özmal, F., 2005. Bor Enstitüsü Atıkları, Uçucu Kül, Taban Külü ve Alünit Mineralinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Kütahya.
- Park, S.B., 2000., Development of Recycling and Treatment Technologies for Construction Wastes, Ministry of Construction and Transportation, Seoul.
- Parikh, R.J., Havens, J.A. and Scott, H.D., 1979. Thermal diffusivity and conductivity of moist porous media. Soil Science Soc. Am. Journal, (43), 1050-1052.
- Parrott, J.E. and Stuckes, A.D., 1976. Thermal conductivity of solids. Pion Limited, 1-43, London.
- Poon, C.S., Lam, L., Kou, S.C., Lin, Z.S., 1999. A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes, Construction and Building Materials, 13, 427-432.
- Postacıoğlu, B., 1986. Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 1, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, Agregalar-Beton, (2). 177-402, İstanbul.
- Poon, C. S., Ho D. W. S., 2004. A feasibility study on the utilization of r-FA in SCC, Cement and Concrete Research 34, 2337-2339
- Qayyum, M.A., 1969. Investigation of steady and periodic heat flow through composite walls. A Master Thesis in The Middle East Technical University, Ankara.
- Raumoin, J.C., Sarkar, S.L., 2000. Cement of the 21th Century, Second International Symposium on Cement and Concrete Technology in the 2000, 1:29-40, İstanbul.
- Ravindrarajah, R.S. and Tam, C.T., 1985. Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. Mag. Conc. Res., 37(130), 29-38.
- Reeves, C.M., 1986. The Use of GGBS to produce durable concrete. Improvement of concrete durability, Thomas Telford-Limited, pp.59-95.
- Rostasy, F.S., 1980. Changes of Pore Structure of Cement Mortars due to temperature, Concrete Research, No:10
- Salem, R.M. and Burdette, E.G., 1998. Role of the chemical and mineral admixtures on physical properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete. Journal ACI Materials, 95(5), 558-563.
- Saraswathy, V., Murlidharan, S., Thangavel, K. and Srinivasan, S., 2003. Influence of activated fly ash on corrosion-resistance and strength of concrete. Cem. Conc. Comp., 25, 673-680.
- Schnider, U., 1982. Behavior of Concrete at High Temperatures, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 337, Berlin.
- Scmidt, A., Saia, W.H.F., 1963. Alkali- aggregate reaction tests on glass used for exposed aggregate wall panel work, ACI Mater. J. 60, 1235- 1236.
- Sen Gupta, K., Das, R. and Banerjee, G., 1992. Measurement of thermal conductivity of refractory bricks by the nonsteady state hot-wire method using differential platinum resistance thermometry. J. of Testing and Evaluation, 20,(6), 454-459.

- Shao, Y., Lefort T., Moras, S., Rodriguez, D., 2000. Studies on concrete containing ground waste glass, *Cement and Concrete Research* 30, 91-100
- Short, A., Kinniburg, W., 1978. *Lightweight Concrete*, Galliard Printers Ltd., Great Yormouth, Great Britain.
- Steiger, R.W., Hurd, M.K., 1978. Lightweight insulating concrete for floors and roof decks, *Concrete Construction* 23 (7), 411-422.
- Şahin, R., Demirboğa, R., Uysal, H., Gül, R., 2003. The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete. *Cem. and Conc. Res.*, (33),1245-1249.
- Şahmaran, M, Yurtseven, A, Yaman, I. O., 2005. Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete, *Building and Environment*, 40, 1672-1677.
- Şengün, N., 2004. Pomzanın Hafif Harç Yapımında Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi
- Şensöz, B.Ö., Yalçın, S., 2000. Çimento ve beton, *Batıçim Yayını*.
- Stein, H.A., 1981. Energy consumed in the production of expanded perlite. *The Perlite Cooperation. USA.*
- Tanaçan, L., 1993. Hafif Duvar Tuğlası Üretiminde Perlit Ve Bazı Katkıların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taşdemir, C., 1998. Mineral katkıların ve kür kosullarının betonun kılcal geçirimsizliğine etkileri. *Beton Çimento ve Boya Semineri, DSİ-TAKK Dairesinin Kuruluşunun 40. Yılı Anısına 24-26 Haziran, Ankara.*
- Taşdemir, M A., Taşdemir, C., Özbek, E. and Altay, B., 1997. Fineness Effect of GGBS on the Properties and microstructure of Concrete, 1st International Symposium on Mineral Admixtures in Cement., İstanbul, Turkey, pp.198-215
- Tonak, T., 2001. Türkiyedeki Çimento Tipleri, T.Ç.M.B Çimento ve Beton Ar-Ge Enstitüsü Seminer Notları, Nuh Dünyası Dergişi Ocak sayısı.
- Topçu, B., Şengel, S., 2004. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cem. and Conc. Res.*, (34), 1307-1312.
- Topçu, İ.B., Canbaz, M., 2003. Properties of concrete containing waste glass, *Civil Engineering DGPartment, Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye.*
- Tosun, M., 1990. Beton Katkı Maddeleri ve Önemi, *KTMMOB İns. Müh. Odası Kuzey Kıbrıs 1. Beton Kongresi, Grace Temel Kimya Ltd. Sti, 133-139, Lefkoşe.*
- Toydemir, N., 1968. Toprak Taşıyıcı Döşeme Bloklarının Rasyonelasyonu Üzerine Bir Deneme, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Turgutalp, Ü.,1978. Sarıkamıs yöresi dogal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılabilme olanakları üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Erzurum, Türkiye.*
- Türkmen, İ., Gül, R., Çelik, C. and Demirboğa, R., 2003. Determination by the Taguchi method of optimum conditions for mechanical properties of high strength concrete with admixtures of silica fume and blast furnace slag, *Civil Engineering and Environmental Systems*, Vol. 20(2), pp. 105-118.
- Ujhelyi, A., 1979. *Documentation On Perlite And Its Industrial Uses*, Hungarian Institute for Building Science, Budapest, Macaristan.
- Urhan, S., 1993. Hafif ve çok hafif betonların karakteristik özellikleri ve teknik kapasiteleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (369), 34-40.
- Uyan, M., 1982. Isıl İşlem Uygulaması İle Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi, Doçentlik Tezi, İnsaat Fakültesi, İstanbul.

- Uysal, H., Demirboğa, R., Sahin, R. ve Gül R., 2003. The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete. *Cem. and Conc. Res.*, in press.
- Uzal, B., Bektaş, F., Turanlı, L., 2003. Investigation of expansion due to alkali-silica reaction and sulfate attack of granulated natural zeolite (Öğütülmüş doğal zeolitin alkali-silika reaksiyonu ve sülfat etkisi ile genişmesinin incelenmesi), 5th National concrete congress, TMMOB, 1-3 October, pp. 403-409, İstanbul, Turkey
- Xie, Z., Xi, Y., 2002. Use of recycled glass as a raw material in the manufacture of portland cement, *Mater. Struct.* 35, 510- 515.
- Yağanoglu, V., 1994. Tarımsal yapılarda kullanılan bazı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, Erzurum, Türkiye.
- Yalgın, S., 1983. “İnşaat Sektöründe Genleşmiş Perlit Kullanımı”, Etibank Matb., Ankara, Türkiye.
- Yüksel, B., 1991. Konutlarda enerji tasarrufu. Panel, Atatürk Üniversitesi, Müh. Fak., Erzurum, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1998 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında mezun oldu. 2002-2003 Öğretim Yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2005 yılından itibaren Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığında İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.