

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE KÜR ŞARTLARININ
ETKİSİ**



Cemal SÖNMEZOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

769358

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE KÜR ŞARTLARININ
ETKİSİ

Cemal SÖNMEZOĞLU

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 23.09.05 tarihinde aşağıda belirtilen juri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarı / başarısız değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Salih YAZICIOĞLU

Üye: Prof. Dr. Ali Sayıl ERDOĞAN

Üye:Yrd.Doç.Dr. Servet YILDIZ

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.09.2005 tarih ve 2005/33-4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılabilmesini ve yürütülmesini sağlayan ayrıca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Salih YAZICIOĞLU'na teşekkürü borç bilirim. Deneysel çalışma ortamlarını sağlayan Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Başkanı sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca tezin hazırlanması ve yazılması aşamasında bana destek olan sevgili eşim ve oğluma, Nusret BOZKURT'a ve Kazım AYDIN'a teşekkür ederim



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	IV
KISALTMALAR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Araştırma Materyali ve Metodu.....	2
1.2 İlgili Literatürün Işığında Tezin Yeri ve Önemi	2
2. HAFİF BETON VE HAFİF BETONU OLUŞTURAN ELAMANLAR.....	4
2.1 Genel bilgiler	4
2.2. Hafif Agregalar	6
2.3. Hafif Agregaların Sınıflandırılması	6
2.4. Hafif Betonların Sınıflandırılması.....	7
2.5. Hafif Agrega İle Üretilen Hafif Betonlar	7
2.6. Hafif Agregalı Betonların Özellikleri ve Etkileyen Faktörler	8
2.6.1 Basınç Mukavemetini Etkileyen Faktörler	8
2.6.2 Kısa Süreli Yük Altında Şekil Değıştirme.....	9
2.6.3 Sünme Şekil Değıştirmeleri	9
2.6.4 Rötire Özeliğı	9
2.6.5 Su Emme Miktarı	10
2.6.6 Donmaya Dayanıklılık.....	10
2.6.7 Isı Genleşmesi	10
2.6.8 Isı İzolasyonu	10
2.6.9 Yangına Dayanıklılık.....	10
2.6.9 Ses Emme	11
2.7 Hafif Agregalı Betonun Karışım Hesabı	11
2.8 Çimento	11
2.9 Beton Katkıları	12
2.9.1 Kimyasal Katkıları.....	13
2.9.2 Mineral Katkıları	14
2.10. Karışım Suyu.....	22

3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
3.1 Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	23
3.1.1 Numune Kalıpları.....	23
3.1.2 Çalışmada Kullanılan Agregalar.....	24
3.1.3 Çalışmada Kullanılan Çimento.....	24
3.1.4 Karışımında Kullanılan Katkılar.....	24
3.1.5 Beton Karışımları.....	27
3.1.6 Beton Numunelerin Kür ve Bakımı.....	27
3.2 Numunelere Uygulanan Deneyler.....	28
3.2.1 Ultrasonik Test Deneyi.....	28
3.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi.....	30
3.2.3 Yarma Dayanımı Deneyi.....	33
4. SONUÇ.....	36
KAYNAKÇA.....	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Hafif agregalı beton serilerinin hava kür periyodu-geçiş hızı grafiği

Şekil 3.2 Hafif agregalı beton serilerinin naylon kürü periyodu-geçiş hızı grafiği

Şekil 3.3 Hafif agregalı beton serilerinin su kürü periyodu-geçiş hızı grafiği

Şekil 3.4 Hava kürü periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.

Şekil 3.5 Naylon kürü periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.

Şekil 3.6 Su Kürü periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.

Şekil 3.7 Hafif agregalı beton serilerinin hava kürü beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.

Şekil 3.8 Hafif agregalı beton serilerinin naylon kürü beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.

Şekil 3.9 Hafif agregalı beton serilerinin su kürü beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.

Şekil 3.10 Tüm beton serilerinin beton yaşı ve kür şartları-ortalama küp Basınç dayanımı grafiği.

Şekil 3.11 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin hava kürü ortalama silindir yarma dayanımı.

Şekil 3.12 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin naylon ortalama silindir yarma dayanımı.

Şekil 3.13 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin su kürü ortalama silindir yarma dayanımı.

Şekil 3.14 Hafif agregalı beton serilerinin hava kürü beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı

Şekil 3.15 Hafif agregalı beton serilerinin naylon beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı.

Şekil 3.16 Hafif agregalı beton serilerinin su kürü beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı

Şekil 3.17 Tüm beton serilerinin beton yaşı ve kür şartları-ortalama silindir yarma dayanımı grafiği.

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Uçucu Küllerin Tipik Kimyasal Kompozisyonlarının Yüksek Fırın Cürufu, Kil ve Çimento ile Karşılaştırılması

Tablo 2.2 Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonları

Tablo 2.3 Silis Dumanlarının Kimyasal Kompozisyonları,(%)

Tablo 3.1 Deneylerde kullanılan kaba agregaların fiziksel özellikleri

Tablo 3.2 Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Tablo 3.3 Soma uçucu külü kimyasal analiz sonuçları

Tablo 3.4 Soma Uçucu Külünün Kimyasal Kompozisyonunun Standart Sınırlarıyla Karşılaştırılması.

Tablo 3.5 Antalya silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: Amerikan Standardı
A.Ş.	: Anonim Şirketi
CSA	: Kanada Standardı
ENV	: Avrupa Standardı
PÇ	: Portland Çimentosu
UK	: Uçucu Kül
SD	: Silis Dumanı
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
VC	: Volkanik Curuf
HB-K	: Hafif Beton-Kontrol
HB-UK	: Hafif Beton-Uçucu Kül
HB-SD	: Hafif Beton-Silis Dumanı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE KÜR ŞARTLARININ ETKİSİ

Cemal SÖNMEZOĞLU

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa: 40

Bu çalışmada, hafif betonun mekanik özellikleri üzerine kür şartlarının etkisi araştırılmıştır. Kaba agregası olarak Elazığ yöresi volkanik cürufu (VC), ince agregası olarak Elazığ Palu yöresi nehir kumu kullanılmıştır. Çalışmada PÇ 42.5 (CEM I 42.5 N) çimentosu ile silis dumanı (SD) ve uçucu kül (UK) iki farklı mineral katkı kullanılmıştır. Kullanılan mineral katkılarında SD %10, UK ise %20 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmiştir. Bu malzemelerle hazırlanan deney numuneleri 3, 7 ve 28 günlük su, hava ve naylon kürüne tabi tutularak basınç dayanımı, yarma dayanımı ve ultrasonik test deneylerine tabi tutulmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre tüm beton serilerinin dayanım özellikleri kür süresine göre artmıştır. En yüksek dayanım özelliklerini su kürüne tabi tutulan numuneler ve bunu takiben naylon kürüne tabi tutulan numuneler gösterirken en düşük dayanım özellikleri hava kürüne tabi tutulan numunelerde gözlenmiştir. Farklı kürlere tabi tutulan numunelerde ise en yüksek dayanım özelliklerini silis dumanı katkılı beton serileri gösterirken, kontrol betonuna göre uçucu kül katkılı beton serileri daha düşük dayanım özellikleri göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, Mekanik özellikler, Agregası, Uçucu kül, Silis dumanı.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF CURING CONDITIONS ON MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Cemal SONMEZOGLU

Firat University
Institute of Science and Technology
Department of Construction Education

2005, Page: 40

It has been researched the effects of curing conditions on mechanical properties of lightweight concrete. Volcanic pumice from Elazığ neighbourhood has been used as coarse aggregate, river sand from Elazığ-Palu neighbourhood has been used as fine aggregate. Two different minerals admixtures which are silica fume (SF) and fly ash (FA) has been used in this work. They have been replaced with cement as their weight which are used as mineral additions of SF %10, FA %20, experimental samples which are prepared with those. In this thesis materials have been applied with compressive strength, split tensile strength and ultrasonic test experiments such as 3, 7 and 28 days long conditions of water, air and sealed pressure resistance and separation resistance.

As the result obtained at this work, the strength properties of all concrete series are increased by depending on their conditional time line. The highest strength properties are being obtained the samples which are effected by water conditions. Followings are the samples which are affected by sealed conditions and the less strength characteristics are being obtained which are effected air cure. While concrete specimens effected by different curing conditions which are added with SF are shown that the highest strength properties, the concrete specimens with FA admixture did not increase.

Key words: Lightweight Concrete, Mechanical Properties, Aggregate, Fly ash, Silica fume

1. GİRİŞ

Son yıllarda enerjiden tasarruf edilmesi ve yerel malzeme kaynaklarının değerlendirilmesi fikirleri her konuda yeni araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Bulunuşundan günümüze kadar uygulama alanı çok yaygınlaşan normal beton, yüksek dayanım istenen yerlerde, bilhassa yük taşıyan yapı elemanlarında kullanılır. Normal betonun birim ağırlığının yüksek olması, betonarme yapı sistemlerinde yapının kendi ağırlığının, taşıdığı yararlı ağırlığa yakın olmasına sebep olur. Bu durum ekonomik olmayıp, deprem ve temel problemlerini zorlaştırır. Normal betonun bu sakıncası belli bir dayanımı sağlamak kaydı ile, birim ağırlığının düşürülmesini gerekli kılmaktadır. Bu da daha çok normal beton agregaları yerine hafif agregaların kullanılmasıyla sağlanır. Hafif agreganın kullanılması ile elde edilen hafif betonlar, normal betonun yüksek olan ısı geçirgenliğini de düşürmektedir. Ayrıca betonda ses yutuculuğu da hafif agreganın kullanılması ile artmaktadır. Betonun birim ağırlığının düşürülmesi yapıyı hafifletmekte, böylece donatıda azalma, kolon, kiriş, döşeme ve temel kesitlerinde küçülme meydana getirebilmektedir. Ayrıca ses ve ısı yalıtımının da sağlanmış olması betonu daha kullanışlı hale getirmektedir. Dünya ülkelerinin çoğunda olduğu gibi yurdumuzda da bu konudaki araştırma ve uygulamalar gün geçtikçe artmakta, çeşitli bölgelerimizde bol miktarda bulunan doğal hafif agregaların bilimsel yöntemlerle incelenerek değerlendirilmesi ve hafif beton uygulama alanlarının geliştirilmesi çalışmaları yapılmaktadır. Hem hafif hem de izolasyon için uygun olmaları hafif betonların konut yapımında kullanılmasını normal betona kıyasla daha faydalı hale getirmektedir.

Hafif malzemeler ile ilgili çalışmalar çok eskilere dayanır. Romalılar süngertaşı (bims) gibi hafif taşları inşaatlarda kullanmışlardır. Hafif agregaların beton içinde kullanılması ise geçen yüzyılın ortalarında başlamıştır. Almanya'da süngertaşı betonda kullanılarak "Bims Betonu" yapılmış, daha sonra A.B.D. , İsveç, Danimarka ve diğer bazı Avrupa ülkelerinde çeşitli hafif betonlar imal edilmiştir. Hafif betonların endüstrileşmiş yapıya girmesi ise daha çok 2. Dünya Savaşı'ndan sonraya rastlanmaktadır. Pek çok ülkede hafif beton konusunda yapılan çalışmalar değişik özelliklere sahip çok çeşitli betonların üretimine yol açmıştır. Doğal ve yapay hafif agregaların kullanılmasıyla normal betonlara kıyasla daha hafif, daha yüksek ses ve ısı yalıtım özellikleri sağlayan betonlar üretilmiştir. Günümüzde ekonomik sebepler ve yapılarda konfor taleplerinin artması da bu çalışmaların daha geniş boyutlara ulaşmasına sebep olmaktadır. Ülkemizde de hafif beton üretimi ile ilgili çalışma, araştırma ve uygulamalar gün geçtikçe çoğalmaktadır.

Ülkemizin doğal hafif agregalar bakımından büyük rezervlere sahip olması bu konudaki çalışmaları desteklemektedir. Bayındırlık Bakanlığının ve Üniversitelerimizin çalışmaları ile ülkemizin 26 ilindeki hafif doğal agregaların % 57 sinin basınç mukavemetinin 110 kg/cm^2

nin üstünde olduğu, bu doğal agregalar ile orta mukavemetli ve taşıyıcı hafif beton üretilebileceği ortaya konmuştur. Enerji kullanılarak pahalı şekilde üretilen hafif yapı elemanları yerine bu doğal malzemelerin kullanımı yoluna gidilmesi ülkemizde çok daha ekonomik olacaktır. Ayrıca bu doğal agregaların kullanımı yapay hafif agrega sanayiinde olduğu gibi büyük yatırımları gerektirmemektedir. İşin diğer bir ilginç yanı da bu doğal malzeme rezervlerinin pek çoğunun ısı yalıtımına daha fazla ihtiyaç duyulan Orta ve Doğu Anadolu Bölgelerimizde oluşudur. Ulaşım imkanlarının kolay olduğu bölgelerde, kısa bir süre içinde az bir yatırımla kurulabilecek kırma, eleme ve yıkama tesisleri bu malzemelerin yapı endüstrisinde kullanılmasını kolaylaştıracaktır.

1.1 Araştırma Materyali ve Metodu

Bu tez çalışmasında öncelikle konu ile ilgili literatür taraması yapılarak gerekli bilgi, doküman ve kaynaklar sağlanmıştır. Bu amaçla konu ile ilgili yerli ve yabancı tüm kaynaklardan araştırma yapılmış, daha sonra çalışmada kullanılacak malzemeler olan çimento (PÇ 42.5), agregası (2 farklı tipte), kimyasal katkı maddeleri (uçucu kül, silis dumanı) yeterli miktarda tedarik edilmiştir. Tüm bu ön çalışmalar yapıldıktan sonra laboratuvar şartlarında, Türk Standartlarına göre gerekli sistem ve düzenekler oluşturulmuş ve deneysel çalışmalara geçilmiştir. Bu tezdeki asıl amaç hafif betonun farklı kür şartları altında mekanik özelliklerinin incelenmesi olduğundan tez amacına uygun olarak karışım hesapları yapıp, farklı karışım ve özelliklerde beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler gerekli dayanım yaşlarına (3, 7, 28 gün) ulaştıklarında mekanik deneylere tabi tutulmuşlardır. Elde edilen deney sonuçları kontrol numuneleri ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

1.2 İlgili Literatürün Işığında Tezin Yeri ve Önemi

Yapılan literatür araştırmasında hafif agregalar ile yapılan beton deneyleri ve betonların mekanik özellikleri ile ilgili kaynaklar toplanmıştır. Elde edilen bu kaynakların çoğu, hafif agrega ve hafif betonun mekanik özellikleri hakkında olup, değişik katkıları birlikte kullanılarak ve farklı kür şartlarının tesiri altında oluşturulacak hafif betonun mekanik özellikleri üzerinde göstereceği etkiler konusu araştırılmıştır. Yapılan bu tez çalışması atık malzeme olarak bilinen termik santral baca küllerinin, kullanılabilirliğinin de incelenerek ekonomiye katkıları araştırılmıştır. Betonun mekanik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları, örnek olarak aşağıda verilmiştir

K.D.Schmidt, Hurtienne [1], fazların özellikleri bilinirken hafif betonların basınç mukavemetlerinin elde edilebilmesine çalışmışlar, iki fazlı model üzerinde teorik olarak buldukları sonuçları deneysel yolla gerçekleştirmişlerdir.

Cruyshievicz [2], hafif agregada dane biçiminin hafif beton basınç mukavemetinde etkili olduğu, yassı ve uzun agregaların basınç mukavemetinin düşmesine sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Schütz [3], farklı hafif agregalar üzerinde hafif betonun nihai dayanımı üzerine yaptığı çalışmalarda, matris mukavemetinin artmasının hafif betonun nihai dayanımına etkisinin az olduğu, hafif agregada çekme mukavemetinin artmasının ise hafif beton mukavemetini artacağı sonucuna varmıştır.

Wesche [4], hafif agregalı betonların elastikiyet modüllerinin normal betona nazaran çok düşük olduğunu, hafif agreganın tipi, betonun birim ağırlığı ve basınç mukavemetine göre hafif betonların elastikiyet modüllerinin 8000-24000 N/mm² gibi geniş bir aralık arasında değiştiğini belirtmiştir.

Pauw [5], hafif betonlarda elastikiyet modülünün hesabında betonun birim ağırlığı ve basınç mukavemetinin ikisinin de etkisini içeren bir bağıntı vermiştir.

Atan [6], betonu iki fazlı malzeme olarak değerlendirerek, hafif betonların tek eksenli yükleme halindeki davranışlarına agregada ve harç fazının etkilerini araştırmıştır. Atan [41], bir diğer çalışmada iki fazlı kompozit modellerle ilgili olarak tuğla kırığı hafif agregası ile elde ettiği betonlara kompozit modellerini uygulamıştır.

Taşdemir [7], normal betonun agregada granülometrisinin çeşitli bölümlerini hafif agregalarla değiştirerek, karışımların elastikiyet modüllerinin, modeller yardımı ile hesaplanabileceğini, aynı birim ağırlık için ortalama mukavemetinin azaldığını göstermiştir. Aynı şekilde normal agregada ile değiştirilen hafif agreganın boyutu arttıkça hafif beton gevrek kırılmakta, tokluğu azalmakta, nihai basınç birim kılması yine azalma göstermektedir. Böylece aynı bir sürekli granülometriye ve birim ağırlığa sahip beton içinde ince bölümü hafif agregada olan betonlar mekanik özellikler bakımından daha iyi sonuç vermektedir.

İhtiyaroğlu [8], ponza taşı, tuf ve volkanik cüruf agregalar ile imal edilen hafif beton blokların duvar elemanı olarak özelliklerinin tayini üzerinde yaptığı çalışmalarda malzeme olarak Kayseri- Develi Bölgesi ponza taşlarını (Bims), Kayseri Himmetdede andezit tüflerini ve Manisa Salihli bazalt cüruflarını kullanmış, sonuçta, genel olarak hafif agregalı betonlarda istenilen işlenebilirlik özelliğinin elde edilebilmesi için normal betona göre daha fazla ince malzeme konması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca hafif agregalı betonlar ile bunları ihmal edilen blokların normal betona göre daha fazla ısı direnci, ses izolasyonu, yangına karşı daha iyi bir dayanım, ve düşük özağırlık özelliklerine sahip olduğunu, hafif agregalı beton blokların daha fazla rötre yapmalarına karşılık düşük elastikiyet modüllerinin uzama

miktarını düşürmesi ile rötre fazlalığının telafi edildiğini ve rötre çatlaklarının böylece önleneceğini göstermiştir. İhtiyaroğlu'nun kullandığı hafif betonların birim ağırlıkları 900-1800 Kg/m³, basınç mukavemetleri ise 2.0-12.0 N/mm² arasında değişmiştir.

Turgutalp [9], Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla (ponza taşı) üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanabilme olanakları üzerinde çalışmış, üretilen hafif betonların tarımsal yapılarda kullanılan taş, kerpiç, tuğla ve briket gibi malzemelere oranla daha hafif olduğunu, bazılarının basınç mukavemetinden daha yüksek olduğunu, ısı iletkenliklerinin ise daha düşük olmasından iyi bir ısı yalıtımı sağlanabileceğini, hafif beton kullanımının yapım kolaylığı sağlayabileceğini ve yapı maliyetinin düşebileceğini belirtmiştir. Turgutalp [9]'in ürettiği betonların birim ağırlıkları 1190-1520 Kg/m², basınç mukavemetleri 2, 5 ~ 16.0 N/mm² arasında değişmiştir.

Erciyes [10], ponza taşı ve ponza taşından yapılmış hafif beton üzerinde yaptığı araştırmada ponzanın don tesirlerine karşı mukavemetinin düşük olduğunu, ponzanın içinde eser miktarda SO₂ ile % 4,99 oranında yanabilen maddenin bulunduğunu belirtmiştir. Bu betonların ölü ağırlığın azaltılmasının istendiği yerlerde dolgu betonu olarak, ısı yalıtımının önemli olduğu teras, çatı, sanayi tesisleri, fabrikalar ve soğuk hava depolarında kullanılabileceği belirterek birim ağırlıkları 900-1340 Kg/m³, basınç mukavemetleri 0,7-9,0 N/mm² arasında değişen hafif betonlar üretmiştir.

Sükan, Ermutlu [11], Türkiye'nin değişik yerlerinden doğal hafif agregaları alarak bunlarla hafif betonlar üretmişlerdir. Bu doğal hafif agregaların jeolojik etütlerini yapmışlar, ürettikleri hafif betonlara ait mekanik özellikler ile bazı beton karakteristiklerini saptamışlardır.

Trabzon'dan İran'a mal götüren kamyonların dönüşte boş gelirken Ağrı yöresinde çıkan bir ponza taşını Trabzon'a getirdikleri ve bu malzemeden Trabzon'da bir imalci tarafından hafif beton briketler imal edildiği ve bunların yörede inşaatlarda çok kullanıldığı bilinmektedir. Hatta Karadeniz Teknik Üniversitesi malzeme laboratuvarınca bu malzeme üzerinde deneyler de yapılmıştır [12].

2. HAFİF BETON VE HAFİF BETONU OLUŞTURAN ELAMANLAR

2.1 Genel bilgiler

Kum, çakıl, kırmataş gibi tabiatta çok bulunan agregalarla üretilen beton, bulunduğu günden beri yaygın olarak kullanılmıştır. Bu agregalarla üretilen normal betonun birim

ağırlığını düşürebilmek için düşük birim ağırlıklı hafif agregası kullanımı ile beton üretme çalışmaları bilhassa son elli yıl içerisinde çok araştırılan bir konu olmuştur.

Yeni yapım metotları ile hafif agregaların beton üretiminde kullanılması yapı ağırlıklarının önemli ölçüde azalmasını sağlamış, gökdelen ve büyük açıklığa sahip köprüler gibi yeni ve çeşitli yapıların yapılması kolaylaştırılmıştır. Taşıyıcı hafif beton yapımında en yaygın metot hafif agreganın kullanılmasıdır. Bu metot hafif betonarme açısından da uygun şartları sağlamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarla, özellikle yüksek mukavemetli genişleşmiş kil ve şist yapay agregaları kullanımı ile beton birim ağırlığı 1.6 kg/dm^3 ün altına indirilmiş ve toplam yapı yükünde % 20 ~ 25 oranında bir azalma sağlanmıştır [13, 14]. Yapı yükünün azalması, kullanılan donatının azalmasına, kesitlerin küçülmesine, daha büyük açıklıkların elde edilmesine, düşük emniyet gerilmeli zeminlerde yapı yapılabilmesine, ve neticede maliyette büyük ölçüde düşmelere sebep olmaktadır. Yine polimer esaslı genişleşmiş agregalar kullanılarak üretilen hafif betonların birim ağırlıkları çok düşmekte, yalıtım özellikleri ise çok artmaktadır. Hafif malzemelerin kullanılması daha büyük boyutlarda prefabrik elemanlar yapılmasına da imkan vermektedir. Böylece inşaat yapım hızı artmakta, işçilik ve zamandan kazanç sağlanabilmektedir. Betonda birim ağırlığın düşmesi ısı izolasyon kabiliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle hafif betonlar ısı iletkenliği düşük ve yalıtım gerektirmeyebilen bir malzeme türüdür. Hafif betonlar duvar elemanı olarak kullanıldıkları takdirde tuğlaya nazaran daha az bir duvar kalınlığı kaplar. Böylece binanın faydalı alanı da artmakta ve bina yüklerinde yine belirli bir azalma olmaktadır. Aynı duvar kalınlığında bile birim ağırlık düşük olduğundan bina zati yükleri azalmakta, yapının ısıtma masrafları düşmektedir. Hafif betonların yapı endüstrisinde kullanılması bazı sanayi artıklarının (yüksek fırın cürufu, kömür cürufu, kül vb.) değerlendirilmesini de sağlamıştır. Daha önce atılan, yapıda kullanılmaya elverişsiz pek çok malzeme agregası olarak kullanıma imkanları bulmuştur. Tuğla yapılamayan killerden “şişirilmiş kil agregası” yapılmış ve bu malzeme dahi değerlendirilmiştir.

Hafif betonların yukarıda sayılan üstünlüklerinin yanında, boşluklardan dolayı düşük mukavemetli olmaları, aşınmaya mukavim olmamaları, rutubete karşı yalıtıma ihtiyaç duymaları, rötne ve sünme değerlerinin yüksek olması, daha gevrek kırılmaları gibi sakıncaları vardır [7].

Hafif betonlar fonksiyonlarına göre;

- a) Taşıyıcı hafif betonlar
- b) Orta mukavemetli betonlar
- c) Yalıtım betonları

Olarak üçe ayrılırlar [15-17]. Taşıyıcı hafif betonun normal beton gibi yük taşıması, izolasyon betonunun ise yalıtım yapması istenir. Hafif betonların boşlukları üç yolla sağlanır [15,17].

- a) Normal agregaya yerine boşluklu doğal veya yapay agregaya kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betonlar
- b) Beton içinde fiziksel veya kimyasal yolla boşluklar oluşturularak üretilen gaz veya köpük betonlar.
- c) Beton ince agregasını çıkarmak yoluyla üretilen kumsuz betonlar.

Bu çalışmada ise kaba agregaya olarak hafif agregaya kullanılması ile üretilen hafif betonlar üzerinde durulacaktır.

2.2. Hafif Agregalar

Taşıyıcı hafif beton üretiminde en yaygın yöntem hafif agregaya kullanılmaktadır. Hafif agregalar yüksek boşluk oranlarına sahip olduklarından düşük birim hacim ağırlıkları olup, normal agregalara göre daha yüksek su emme, daha az ısı iletimi ve düşük mukavemet gibi özellikleri vardır. Hafif beton üretimi bakımından agreganın önemli özellikleri granülometri bileşimi, birim ağırlığı, dane şekli, yüzey yapısı ve su emmesidir. Hafif agregalar altı ana grupta toplanabilirler [15-19].

- a) Doğal hafif agregalar: Ponza taşı (bims), volkanik cüruf, volkanik tuf.
- b) Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş arduvaz, perlit, vermikülit.
- c) Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregalar: Cüruf, uçucu kül.
- d) Endüstriyel artıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Cüruf, kızdırılmış uçucu kül.
- e) Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları, ahşap artıkları.
- f) Polimer kökenli malzemeler: Styrofor.

2.3. Hafif Agregaların Sınıflandırılması

Hafif agregalar birim ağırlıkları bakımından kullanılma alanlarına göre şöyle sınıflandırılırlar [15, 16, 20].

- a) Birim ağırlığı 400 kg/m^3 den küçük olan hafif agregalar: Bunlarla yalıtım betonları üretilir.
- b) Birim ağırlığı $400\text{-}650 \text{ kg/m}^3$ arasında olan hafif agregalar: Bunlarla yalıtım ve orta mukavemetli hafif betonlar üretilir.

- c) Birim ağırlığı 650 kg/m^3 den büyük olan hafif agregalar: Bunlarla taşıyıcı hafif betonlar elde edilir.

2.4. Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle hem birim ağırlık hem de mukavemet koşuluna göre yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından farklı sınıflamaları yapılmıştır.

Hem birim ağırlık hem de mukavemete bağlı olarak yapılan sınıflamaya göre birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç mukavemeti 17 N/mm^2 yi aşan betonlar taşıyıcı hafif beton sayılırlar [21].

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerin standartlarında hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m^3 e kadar çıkmasına izin verilir [22, 23].

Genelde hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ tür. Taşıyıcı hafif betonların birim ağırlığı $1450\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte, çoğunluk birim ağırlık $1600\text{-}1700 \text{ kg/m}^3$ arasında kalmaktadır. Mukavemetleri $7\text{-}17 \text{ N/mm}^2$ arasında olan betonlar yalıtım betonu ile orta mukavemetli beton sınıfına girerler [15, 20].

DIN 1045 [24]' e göre betonlar birim ağırlıklarına göre, birim ağırlığı 2000 kg/m^3 ün altındakiler hafif beton, $2000\text{-}2800 \text{ kg/m}^3$ arasındakiler normal beton, 2800 kg/m^3 den büyük olanlar ağır beton olarak sınıflanır.

Diğer bir birim ağırlığına göre sınıflandırma şöyledir [16].

- a) Birim ağırlığı $400\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlara hafif beton.
- b) Birim ağırlığı $1800\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar yarı hafif beton.
- c) Birim ağırlığı $2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar normal beton.

Bu çalışmada betonların birim ağırlıkları bakımından kabul edilen sınıflama standartlarımıza uygun olarak şöyledir [22].

- a) Hafif betonlar: Birim ağırlık 1900 kg/m^3
- b) Yarı hafif betonlar: $1900 \text{ kg/m}^3 \leq \text{Birim ağırlık} \leq 2100 \text{ kg/m}^3$
- c) Normal Betonlar: $2100 \text{ kg/m}^3 \leq \text{Birim ağırlık} \leq 2400 \text{ kg/m}^3$

2.5. Hafif Agrega İle Üretilen Hafif Betonlar

Hafif betonlarda en önemli iki parametre basınç mukavemeti ile birim ağırlıktır. Bu iki özeliğe su/çimento oranı, çimento türü, hafif agreganın özellikleri etki eder. Donatısız, özellikle yalıtım betonları için gerekli çimento dozajı $90\text{-}200 \text{ kg/m}^3$ ve yapı betonlarında ise bu değer $300\text{-}500 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir [25]. Basınç altında yüklerin iletimi bakımından

normal beton ile hafif betonu karşılaştırsak, şu fark dikkate çarpar. Normal betonda agreganın elastikiyet modülü çimento hamurunun (harç) elastikiyet modülünden büyük olduğundan, yüklerin iletimi agregada daneleri vasıtasıyla yapılır. Çimento hamuru agregada danelerinin birbirine yaklaştığı bölgelerde, kuvvet iletimine kısmen katılır ve bu noktalarda agregaları birbirine yapıştırarak aderansı sağlar. Normal betonda bu yüzden kırılma, düşük mukavemetli harç fazının kırılması ile başlar.

Hafif betonda agreganın elastisite modülü harca nazaran daha düşüktür. Yüklerin iletimi bal peteği şeklinde düşünülebilen çimento hamur sistemi ile yapılır. Agregaların bulundukları yerler zayıf bölgeleri teşkil ederler. Kırılma olayı zayıf olan agregadan başlar. Hafif betonda kullanılan çimento, su ve agregada malzemeleri ile karışım oranlarının bilinmesi bu betonun taze ve sertleşmiş haldeki muhtemel özelliklerin tahminine yeterli olmamaktadır. Hafif betonun iç yapısının normal betonunkine uymaması bu özelliklerin deneylerle tespitini zorunlu kılmaktadır. İç yapıyı etkileyebilecek bir değişim (su-çimento oranı değişimi, agregada kalitesinin değişimi, agregada miktarının değişimi) normal betonda bilinenlerden farklı sonuçlar vermektedir. Kullanılan hafif agregalardaki boşlukların azalması hafif betonun ağırlık, elastikiyet modülü ve mukavemetinin artmasına sebep olmaktadır. Agregaların yüzey özellikleri de (yüzeyin boşluklu ve kapalı oluşu) su emme özelliğini değiştirebileceğinden, betonun işlenebilme özelliği ile, sertleşmiş betonun mukavemetine etki edebilmektedir [15].

Granülometri bakımından ise istenilen normal betonunkine uyar. Ancak hafif agregada ile elde edilen çeşitli dane gruplarında dane boyutu büyüdükçe malzemenin özgül ağırlığının azalması, bu grupların mutlak hacim oranına göre birbirlerine karıştırılıp, granülometri ayarlaması yapılması gerektirmektedir. Genellikle betonarme şartnamesindeki ideal granülometri ve maksimum dane çapının daha küçük seçilmesine uygun olmaktadır.

Hafif betonun su/çimento oranını hesaplarırken agreganın emeceği su miktarını da hesaba katılması ve gerçek su/çimento oranının kullanılması gerekmektedir. Bu bakımdan karışım suyu iki kısımda düşünülür.

- a) Gerçek su ihtiyacı (etkin su)
- b) Hafif agregada tarafından emilen su (emme suyu), (emme suyu pratikte 105°C' de ısıtılarak tamamen kurutulmuş agregaların su içinde 30 dakika bırakılmaları halinde emdikleri su miktarıdır)

2.6. Hafif Agregalı Betonların Özellikleri ve Etkileyen Faktörler

2.6.1 Basınç Mukavemetini Etkileyen Faktörler

Karışımın su/çimento oranı ve çimentonun standart basınç mukavemeti normal betondaki gibi etki yaparlar. Ancak hafif betonda mukavemet üzerine hafif agreganın

zayıflatıcı etkisi olduğundan, normal betondaki su/çimento oranına karşılık gelen mukavemetin çok altında kalınır ve su/çimento oranı mukavemet bağıntısı agreganın mukavemetine de bağlı bir şekilde değişir. Aynı birim ağırlığına sahip yuvarlak şekilli ve düzgün yüzeyli agregalar kırılmış veya köşeli, pürüzlü yüzeyli agregalardan daha fazla dayanıma sahiptir. Betonda çimento miktarını etkileyen başlıca özelliğin agreganın dayanımı ile daneler arasındaki boşluk hacmi olduğu görülmüştür [26].

Hafif beton mukavemetinin zamanla artması, zaman ve bakım şartlarına bağlı olarak değişimi esas itibarı ile normal betona benzer. Hafif betonlarda ısı iletkenliği düşük olduğundan çimento hidratasyonu sırasında açığa çıkan ısı dışarıya kolay verilmez ve beton sıcaklığı artar. Böylece betonun fazla ısınan iç kısımlarında sertleşme olayı daha çabuk gerçekleşerek mukavemet erken kazanılır. Buna karşılık ısı genleşmeleri nedeni ile çatlama tehlikelerinin artması da zararlı olabilir.

2.6.2 Kısa Süreli Yük Altında Şekil Değiştirme

Bu özellik malzemenin elastikiyet modülüne bağlıdır. Betonun elastikiyet modülü agreganın ve çimento hamuru fazlarının elastikiyet modüllerine bağlıdır. Normal Betonda agreganın miktarının artması betonun rijitliğini artırırken bu olay hafif betonda tersine olur. Yüksek rijitlik ve yüksek mukavemet istenilen hafif betonda daha sert ve elastikiyet modülü daha yüksek ve biraz daha ağır malzeme kullanılması tavsiye edilmektedir. Hafif betonların elastikiyet modülü genel olarak aynı dayanımdaki normal betona oranla % 20-50 daha düşük olabilir [27].

2.6.3 Sünme Şekil Değiştirmeleri

Hafif betonlarda aynı mukavemet için normal betonlara kıyasla daha fazla çimento hamurunun hazırlanması zararlı etkisine karşılık, hafif agreganın çimento hamurundaki suyu emme yolu ile değiştirmesi, böylece su-çimento oranının düşmesi bu zararı yok etmekte, sonuçta normal betonunkine eşit bir sünme özeliği görülmektedir. PCA [27]'nin belirttiğine göre, yüksek dayanımlı hafif betonların aynı yaştaki daha düşük dayanımlı olanlara göre yüklemeye uygulandığında %20-40 oranında daha az sünme değeri elde edilmektedir.

2.6.4 Rötrey Özeliği

Çimento miktarının fazla oluşu ve agreganın rijitliğinin düşüklüğü rötreyi artırır. Gerçek su/çimento oranı değerinin az oluşu ise bunu önleyen bir etki yapar. Sonuçta agreganın

rijitliğine bağlı olarak normal betona kıyasla, çok zayıf agregası için % 20 oranında daha fazla rötre değeri görülür.

2.6.5 Su Emme Miktarı

Hafif betonun, normal betona kıyasla daha fazla ve %12~22 oranında su emdiği görülmüştür.

2.6.6 Donmaya Dayanıklılık

Hafif agregası içindeki boşluklar su ile dolu olmak koşuluyla, yani betonun tam kuru olmaması halinde donmaya dayanıklılık bakımından, hava sürüklenmiş bir betondaki gibi faydalı olduğu hava katkılı hafif betonların donmaya karşı normal betonlara göre daha fazla veya eşit dayanım özelliği sergilediği, genel olarak çimento oranının artması ve toplam su oranının azalmasının betonun bu özelliğini iyileştirdiği belirtilmektedir [27].

2.6.7 Isı Genleşmesi

Hafif agregaların ısı genleşme katsayısı daha düşük olduğu için hafif betonda ısı genleşme katsayısı agregası çeşidine ve katılan doğal kum miktarına bağlı olarak normal betonun yaklaşık % 80' kadar olup $\alpha_t=8 \cdot 10^{-6} \sim 10 \cdot 10^{-6}$ m/m°C arasında değiştiği kaydedilmektedir [28].

2.6.8 Isı İzolasyonu

Hafif betonun ısı yalıtımının normal betona kıyasla, hafif beton birim ağırlıklarına ve hafif beton yapımında kullanılan hafif agregası cinslerine bağlı olarak önemli ölçüde ve faydalı olarak değiştiğine işaret edilmektedir [27].

2.6.9 Yangına Dayanıklılık

Hafif beton yapıların yangına dayanıklılığı, ısı yalıtımının daha fazla, ısı genleşmelerinin daha az olması nedeniyle normal betonunkinden daha iyidir. Belirli bir yangın yüküne dayanma süresi normal betona kıyasla % 20 ~ 30 daha fazla olmakta olduğu açıklanmaktadır [29].

2.6.9 Ses Emme

Ses emme özeliği havadaki ses enerjisinden betonun çok küçük kanallarında ısıya dönüştürülmesi nedeniyle iyi olduğu belirlenmiş, dolayısı ile ses emme katsayısının normal betona oranla yaklaşık iki kat fazla olduğu belirtilmiştir.

2.7 Hafif Agregalı Betonun Karışım Hesabı

Agrega granülometrisi normal beton ile aynı olmakla beraber iri ve ince hafif agregada danelerinin farklı yoğunluklara sahip olması ve dane biçimlerinin köşeli oluşu, yüzey yapılarının pürüzlüğü gibi nedenlerle hafif beton karışımları normal betonlara oranla daha fazla ince dane oranına gereksinme gösterir. İyi bir işlenebilirlik için hafif beton karışımlarından toplam agregada hacminin % 40-60'ı oranında ince agregaya gerek duyulur [15]. Ancak bunun ayarlanması sırasında, dane gruplarının özgül ağırlıklarının farklı olduğu göz önünde tutularak, mutlak hacim oranları göz önüne alınması tavsiye edilmektedir. Hafif betonun işlenebilmesi için gerekli su miktarı, genellikle normal agreganınkinden fazladır. Hafif betonun ağırlığının az olması nedeniyle çökme değerleri, aynı kıvam için, normal betonunkinden bir miktar daha az çıkacağına işaret edilmekte olup, hafif betonun bileşiminin ancak uygun deneysel araştırmalar sonucu uygulama amaçlarına göre tayin edilebileceği belirtilmektedir [17].

2.8 Çimento

Su ile reaksiyona girerek sertleşen bir yapı malzemesidir. Beton yapımında kullanılan agregaları (kum, çakıl vb.) birbirlerine bağlayıcı bir özelliğe sahiptir. Su ile temas eden çimento parçacıklarının yüzeyinde oluşan kristaller kenetlenerek katılaşır. Kenetlenerek katılaştığı için betonun sıklığını artıran bir malzemedir. Betonun içerisindeki boşlukları azaltarak geçirgenliği düşürmeye de neden olur. Beton üretiminde kullanılacak çimentonun ağırlık olarak miktarına dozaj denilmektedir.

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket gibi) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütölüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçıtaşı eklenip (%4-5 oranında), çok ince toz halinde öğütölerek Portland Çimentosu elde edilir [30].

Portland çimentosu olarak elde edilen ürün genellikle gri renktedir. Bu gri renk, çimento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirilmek üzere seçilen hammaddede demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde, üretilen portland çimentosunun rengi beyaz veya beyaza yakın renkte olmaktadır. Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir; tanelerin boyutları 1-200 µm arasında değişmektedir.

Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 gr/cm³ kadardır. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı 1.5 t/m³ civarındadır. Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında “hidratasyon” olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşp, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilemez bir duruma gelmesine “priz alma” denilmektedir.

Çimento hamurunun katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu “sertleşmiş çimento hamuru” olarak adlandırılmaktadır. Çimento hamurunun içerisindeki su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonlar uygun sıcaklık ve nemlilik ortamı mevcut olduğu sürece devam etmekte, kazanılan dayanım miktarında artma olmaktadır [31].

2.9 Beton Katkıları

Katkı maddeleri; Taze veya sertleşmiş betonun yada taze durumdan sertleşmeye geçen betonun bazı özelliklerini değiştirmek amacıyla harman sırasında betonun, kum, çakıl, çimento ve su gibi normal bileşeni kabul edilerek karışıma ilave edilen maddelerdir.

Katkı maddeleri çeşitli nedenlerden dolayı kullanılmaktadır.

Bunlar:

- Priz süresini kısaltmak veya uzatmak,
- Karışım suyu miktarını azaltmak ve sertleşmeyi kontrol etmek,
- Beton içinde hava sürüklemek,
- Hava oranını azaltmak ve betonu yoğunlaştırmak,
- Betonu daha akışkan bir hale getirmek,
- Genleşmeyi sağlamak,
- Betonun su ve buhar geçirimsizliğini sağlamak,
- Aderansı arttırmak,
- Alkali-daneli malzeme genleşmesini azaltmak,
- Donatı korozyonunu önlemek,
- Beton terlemesini kontrol etmek,

- İstenen rengi vermek için belli oranlarda betona ilave edilirler [32].

Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür.

2.9.1 Kimyasal Katkıları

a) Su Azaltıcıları (Akışkanlaştırıcıları)

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin, daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper akışkanlaştırıcı şeklinde isimlendirilirler.

b) Priz Geciktiriciler

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdır.

c) Priz Hızlandırıcıları

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkıları betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

d) Antifrizler

Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

e) Hava Sürükleyici Katkıları

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı drenajını ve işlenebilirliğini artırır.

f) Su Geçirimsizlik Katkıları

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılarıdır. Ancak, yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozup bozmadıkları araştırılmalıdır. Bu sebeplerden dolayı kimyasal katkıları, betonun ayrılmaz parçası olmuştur.

2.9.2 Mineral Katkılar

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taşunu... vb. çeşitli maddelere “Mineral Katkı” adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat, birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkıları doğal puzolanlar, uçucu küller, silis dumanı, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu tez çalışmasında mineral katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanıldığından, diğer katkılardan bahsedilmemiştir.

2.9.2.1 Uçucu Küller

Termik santrallerin en önemli atık malzemesi toz kömürün yanmasıyla meydana gelen baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bunlar elektrostatik yöntemlerle elektrofiltrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazlarıyla atmosfere çıkışları önlenmektedir. Bu şekilde elde edilen küle uçucu kül adı verilir. Uçucu kül tanecikleri çoğunlukla küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200 µm arasında değişmektedir. Bir uçucu külün tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanına bağlıdır. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça uçucu küllerin renkleri koyulaşır.

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları santralde kullanılan kömürün içerdiği mineral safsızlıkların tipi ve miktarına bağlıdır. Genellikle uçucu küllerin %85’ini SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve MgO oluşturur.

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklamaları ile sıralanmıştır.

I. Kireç ve SO_3 ’e Göre Sınıflandırılması: Bu sınıflandırmaya göre;

a) Esas yapısı silikoaluminatlardan meydana gelen ve genellikle taş kömüründen elde edilen uçucu küllere “silikoaluminoz uçucu küller”,

b) Genellikle linyit kömüründen elde edilen ve diğerlerine oranla yüksek miktarda SO_3 ve CaO içeren küllere “sülfokalsik uçucu küller”,

c) Diğerleri gibi genellikle linyit kömürlerinden elde edilen kireç silika miktarı yüksek uçucu küllere ise “silikokalsik uçucu küller” adı verilir [33].

II. CaO Miktarına Göre Sınıflandırma: Son yıllarda oldukça geniş kabul gören bir başka sınıflandırma ise uçucu külün içerdiği analitik CaO miktarına dayanmaktadır. Buna göre, CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılırlar.

III. ASTM C 618 Sınıflandırması: ASTM C 618 [34] 'e göre uçucu küller iki kategoriye ayrılmaktadır. Buna göre:

a) F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ şartını sağlayan uçucu küllerdir,

b) C sınıfı uçucu küller ise genelde linyitler veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ şartını sağlayan uçucu küllerdir.

Yukarda sözü edilen silikoaluminöz küller F sınıfına dahildirler. Silikokalsik uçucu küllerin kimi F sınıfına kimide C sınıfına; sülfokalsik uçucu küllerin bir çoğu ise C sınıfına girerler.

IV. ENV 197-1 Sınıflandırması: Tokyay ve diğ. (1998) araştırmasına göre, Avrupa Çimento Standardı ENV 197-1'e göre uçucu küllü çimentolarda kullanılabilecek uçucu küller:

a) Silisli Uçucu Küller (V) ve,

b) Kalkerli Uçucu Küller (W) olarak iki gruba ayrılmaktadır [33]. V sınıfı küller esas itibariyle reaktif silika ve aluminadan meydana gelmiş olan reaktif CaO miktarı %5'in altında, reaktif SiO_2 miktarı ise %25'in üstünde olan uçucu küllerdir. W sınıfı uçucu küller ise esas itibariyle reaktif CaO , reaktif SiO_2 ve aluminadan oluşan, reaktif CaO miktarı %5'in üstünde uçucu küllerdir.

Yukarda belirtilenlerin dışında, Polonya'da benimsenmiş olan iki sınıflandırma da ilginçtir. Her iki sınıflandırmada da uçucu küller dört gruba ayrılmaktadır. Birinci sınıflandırma SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve SO_3 miktarı ve oranlarına göre yapılmıştır. Buna göre,

Grup I: İçerdikleri SiO_2 miktarı, Al_2O_3 miktarından yüksektir. CaO miktarı %15'in altındadır.

Grup II: SiO_2 miktarı Al_2O_3 miktarından daha düşüktür. CaO miktarı yine %15'in altında SO_3 miktarı ise %3'ün altındadır.

Grup III: Sülfokalsik uçucu küller niteliğinde olan bu grupta CaO %15'in, SO_3 %3'ün üzerindedir.

Grup IV: Bu grupta CaO yine %15'in üstünde iken, SO_3 %3'ün altındadır.

İkinci sınıflandırma ise küllerin yalnızca CaO içeriklerine bağlı olarak yapılmaktadır. Buna göre,

$\text{CaO} < \%3.5$ olan küller çok düşük aktiviteli

$\%3.5 < \text{CaO} < \%7$ olan küller düşük aktiviteli

$\%7 < \text{CaO} < \%14$ olan küller aktif

$\text{CaO} > \%14$ olan küller çok aktif uçucu küller olarak adlandırılmaktadır [33].

Ancak, belirtilen tüm bu sınıflandırmalar sorunu gerçektekinden daha basitleştirmektedir. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının elde edildikleri kömürün jeolojik geçmişiyle, termik santraldeki yanma sıcaklığıyla, üretilen enerji miktarıyla, kül toplama sisteminin özellikleriyle, v.b. doğrudan ilişkili olması her türlü sınıflandırma çabasını yetersiz kılmaktadır. Yukarıda da görüldüğü gibi, geniş sınıflandırmalar yapmak mümkündür ancak, bazı uçucu küller birden fazla sınıfın özelliklerini taşıırken bazıları da neredeyse kendileri bir sınıf oluşturacak kadar özel niteliklere sahip olabilirler. Bazı araştırmacılar uçucu küllerin sınıflandırılması çabalarına oldukça radikal bir biçimde yaklaşarak her uçucu külün bizzat kendi sınıfını meydana getirdiğini belirtmektedirler [33].

a) Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Yapıları

Uçucu küller senosfer (içi boşluklu) ve plerosfer (iç içe geçmiş) olarak adlandırılan camsı kürecikler, süngerimsi yapıda, yanma sonucu dekompoze olmuş, kil safsızlıkları, hematit ve manyetit kürecikleri, bir kristal üzerinde oluşan daha kaba kürecikler (demosfer), diğer mineral parçacıkları ve yanmamış kömür taneciklerinden oluşur. Kimyasal yapılarında ana elementler olarak Si, Al, Ca, Fe ve S bulunur. Bu elementler yanma biçimine bağlı olarak, SiO_2 , Al_2O_3 , demir oksitler (Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4), kireç (CaO) ve SO_3 oluştururlar. Bunların dışında, daha az miktarda MgO , alkali oksitler (Na_2O , K_2O), TiO_2 v.b. uçucu küller içinde bulunabilir.

Uçucu küllerin karbon içeriği termik santralin verimine bağlıdır. Genel olarak modern termik santrallerde bu miktar $\%3$ 'ün altındadır. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının yüksek fırın cürufu, kil ve çimentolarda karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Uçucu Küllerin Tipik Kimyasal Kompozisyonlarının Yüksek Fırın Cürufu, Kil ve Çimento ile Karşılaştırılması

Oksit	Silikoaluminöz Uçucu Kül	Sülfokalsik Uçucu Kül	Silikokalsik Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu	Kil	Portland Çimentosu
SiO ₂	50.0	18.0	38.0	30.0	50.0	22.0
Al ₂ O ₃	30.0	12.0	22.0	11.0	17.0	6.0
Fe ₂ O ₃	7.0	7.0	4.0	1.0	8.0	3.0
CaO	2.6	67.0	24.0	40.0	5.0	65.0
MgO	1.8	1.8	5.0	-	-	
SO ₃	0.5	6.0	1.0	-	7.0	
K ₂ O	5.0	6.0	2.0	-	0.4	
Na ₂ O	0.8	8.2	1.0	-	0.4	
Diğer	3.0	1.2	3.0	-	12.4	

Uçucu küllerin çimento ve beton endüstrisinde kullanılma nedenleri içinde en önemlilerinden birisi olan puzolanik özellikleri kimyasal kompozisyonlarından ziyade mineralojik yapılarına bağlıdır. Düşük kireçli uçucu küllerdeki ana aktif bileşen silika ve aluminadan oluşan amorf veya camsı fazdır. Bu tür uçucu küller rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özelliklere sahip bileşenler meydana getirirler. Diğer bir deyişle, düşük kireçli uçucu küller puzolanik özeliğe sahiptirler. Yüksek kireçli küller ise bir yandan puzolanik özellik gösterirken, içerdikleri serbest kireç, anhidrit, trikalsiyum aluminat, amorf silika ve alumina v.b. nedeniyle de kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özeliğe sahip olabilirler. Düşük kireçli uçucu küllerin camsı faz miktarı yüksek kireçlilere oranla daha yüksektir [33].

Düşük kalsiyumlu uçucu küllerde görülen mineral fazlar camsı faz, mullit (Al₆Si₂O₁₃), hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₃O₄), kuvarz (SiO₂), v.b. iken yüksek kalsiyumlu küllerde bunlara ek olarak, zaman zaman daha fazla miktarda serbest (CaO), anhidrit (CaSO₄), trikalsiyum aluminat (Ca₃Al₂O₆) ve feldspat, gehlenit gibi çeşitli kalsiyum silikatlar bulunur. Uçucu küllerin tipik mineralojik kompozisyonları Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonları

Mineral (%)	Silikoalüminöz Uçucu Kül	Sülfokalsik Uçucu Kül	Silikokalsik Uçucu Kül
Camsı ve Amorf Faz	60	35	50
Mullit	20	1	5
Hematit	7	4	3
Manyetit	6	1	1
Kuvartz	5	5	5
Anhidrit	-	15	5
Serbest Kireç	-	20	10
Feldspat ve Gehlenit	-	≥20	≥15

b) Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

I. İncelik: Uçucu küllerin incelikleri kül tutma mekanizmalarına bağlıdır. Ancak, elektrostatik yöntemlerle tutulan uçucu kül, çimento ve beton endüstrisinde kullanım açısından daha uygundur. Bir termik santralden elde edilen uçucu külün tane dağılımları zaman içinde kömür kaynağında, kömür öğütme yönteminde, termik santralin çalışma prensiplerinde büyük değişiklikler olmadığı sürece, sabit kabul edilebilir.

Uçucu külün inceliklerinin tayini yöntemleri konusunda araştırmacılar arasında çeşitli anlaşmazlıklar mevcuttur. İnceliğin özgül yüzey cinsinden ölçülmesi (Blaine, Wagner v.b.) portland çimentoları için anlamlı bir yöntem olmakla birlikte uçucu kül için aynı güvenilirlikte kullanılamayacağı iddia edilmektedir. Buna karşın, şimdiye kadar yapılan çeşitli araştırmalar uçucu külün özgül yüzeylerinin 1800-5000 cm²/gr arasında değiştiğini göstermektedir. Öte yandan pratik oluşu nedeniyle sıkça kullanılan bir başka yöntem ASTM No 325 (45 µm) eleğinin üstünde kalan kısmın tespit edilmesidir. Bunların dışında lazerli tane dağılım analizi, hidrometre analizi, azot absorpsiyonu, x ışınları sedimantasyonu gibi yöntemler de uçucu külün inceliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

II. Yoğunluk: Uçucu külün yoğunlukları inceliklerine ve mineralojik yapılarına bağlıdır ve genellikle 1,9-2,4 gr/cm³ arasında değişir. Kuru uçucu külün gevşek birim ağırlığı yaklaşık 800 kg/m³ tür [33,35].

c) Radyoaktivite

Çeşitli mineraller, kayalar, kömürler gibi birçok doğal malzeme az veya çok radyoaktif özellik taşır. Radyoaktivite bu malzemelerde eser miktarda bulunan ve çekirdekleri kendiliğinden bozularak α,β veya γ ışınları yayan elementlerden kaynaklanır. α ve β ışınları, sırasıyla, iyonize helyum atomları ve elektronlardır. γ ışınları ise elektromanyetik radyasyondur [33,35].

2.9.2.2 Silis Dumanı

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutularak yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya kısaca “silis dumanı” adı verilmektedir.

Bu malzeme, “mikrosilis” veya “silis tozu” veya “silika fume” gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıya sahip olduğundan, çok ince taneli malzeme olduğundan ve yüksek miktarda SiO_2 içerdiğinden, mükemmel bir puzolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirildiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık göstermektedir.

Silis dumanı, portland çimentosu klinkeriyle ve küçük bir miktardaki alçıyla birlikte öğütülerek “silis dumanlı çimento” (çimento-silika fume) üretiminde kullanılabilir. Ancak, asıl kullanımı, beton katkı maddesi tarzındadır. Genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarı yaklaşık %10 kadar azaltılmakta ve onun yerine bu puzolanik madde yerleştirilmektedir. Çok ince taneli olması ve çok yüksek miktarda SiO_2 içermesi nedeniyle gerek ilk zamanlarda ve gerekse nihai olarak oldukça yüksek dayanımlı betonların elde edilebilmesinde kullanılmaktadır.

Silis dumanının çok ince tanelerden oluşmuş olması, taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını artırmaktadır. O nedenle, yüksek dayanımlı beton üretimi için katkı maddesi olarak silis dumanı kullanıldığında, ayrıca, su-azaltıcı katkı maddesi de kullanılmaktadır [36].

a) Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

I. Renk: Silis dumanının rengi açık griden koyu griye kadar değişiklik göstermektedir. Karbon içeriği arttıkça renk daha koyu olmaktadır. Su ile birleşmiş durumda, siyaha yakın bir renk sergilemektedir.

II. İncelik: Silis dumanını oluşturan taneciklerin boyutları 0.1-0.2 μm kadardır. 45 μm boyutlu elekten elendiğinde, elek üzerinde kalan taneler aşırı büyük boyutlu taneler olarak kabul edilmektedir. Bu tür tanelerin miktarı genellikle %6'nın altındadır. Kanada standardı aşırı büyük boyutlu tanelerin %10'dan çok olmaması gerektiğini belirtmektedir [36].

Silis dumanının inceliği çimentonun ve diğer puzolanların inceliğini ölçmek için kullanılan Blaine yöntemiyle tayin edilememektedir. Özgül yüzey tayini için nitrojen emme yöntemi kullanılmaktadır. Silis dumanının özgül yüzeyi 130,000-280,000 cm^2/g arasında değişmektedir. Beton katkı maddesi olarak kullanılan silis dumanının özgül yüzeyi, genellikle, 200,000 cm^2/g civarındadır.

Silis dumanının ne kadar ince taneli olduğunu daha iyi açıklayabilmek amacıyla, aşağıda silis dumanının ve bazı malzemelerin özgül yüzeylerine dair değerler verilmektedir [36]:

Silis dumanı	: ~200,000 cm ² /gr.
Sigara dumanı	: ~100,000 cm ² /gr
Uçucu kül	: ~4,000-7,000 cm ² /gr
Portland çimentosu	: ~3,000 cm ² /gr

III. Özgül ağırlık: Silis dumanının özgül ağırlığı 2.2-2.3 gr/dm³ kadardır. Bilindiği gibi portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 gr/dm³ civarındadır.

IV. Gevşek Birim Ağırlık: Silis dumanının birim ağırlığı, üretildiği haliyle, 240 – 300 kg/m³ civarındadır. Sıkıştırılmış durumdaki portland çimentosunun birim ağırlığı 1200 kg/m³ kadardır. Yani 50 kg portland çimentosu alan torbaya ancak 10-12 kg kadar gevşek durumdaki silis dumanı yerleştirilebilmektedir.

V. Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite: Silis dumanı çok ince taneli olduğundan, su ihtiyacı oldukça yüksektir. Ayrıca, çok kuvvetli bir puzolanik bağlayıcılık göstermektedir.

Silis dumanının su ihtiyacının en fazla ne miktarda olması ve en az ne miktarda olması dayanım-aktivite indeksine sahip olması gerektiğini, TS ve ASTM standartlarında yer almamaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda kontrol numunesine oranla silis dumanı katkılı numunelerin su emmesi %134, dayanım-aktivite indeksi ise %110 kadardır [37,38].

b) Silis Dumanının Kimyasal Kompozisyonu

Silis dumanındaki SiO₂ miktarı, genellikle %85'in üzerindedir. Bunun yanı sıra, çok küçük miktarda bazı değişik maddeler de bulunabilmektedir.

Tablo 2.3, ABD'de, Norveç'te ve Türkiye'de üretilen silis dumanlarının kimyasal kompozisyonlarını göstermektedir.

Tablo 2.3 Silis Dumanlarının Kimyasal Kompozisyonları, (%)

İçerik	ABD	Norveç	Türkiye
SiO ₂	90.0-93.0	90.0-96.0	93.0-95.0
C	1.3-2.6	0.5-1.4	0.8-1.0
Fe ₂ O ₃	0.4-0.7	0.2-0.8	0.4-1.0
Al ₂ O ₃	0.5-1.6	0.5-3.0	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	1.0-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.6-1.0
Na ₂ O	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.4
K ₂ O	1.0-1.2	0.4-1.0	0.5-1.0
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	1.4-2.8	0.7-2.5	0.5-1.0

“Karbon miktarı” ile “kızdırma kaybı miktarı”, Tablo 2.3’den görülebileceği gibi, çok yakın değerlerdir. Kızdırma kaybı değerinin %85 - %95’i, silis içerisinde yer alan yanmamış kömür taneciklerinden oluşmaktadır. O nedenle, çoğu zaman, bu iki değer eş anlamda kabul edilmektedir. Silis dumanında karbon miktarının fazla olması, sürüklenmiş beton üretiminde kullanılacak hava sürükleyici katkı ihtiyacını artırmaktadır. Kanada standartları, silis dumanındaki karbon miktarının %6’yı geçmemesi gerektiğini belirtmektedir [37].

c) Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri

Silis dumanının beton özelliklerine etkilerini şöyle özetlemek mümkündür:

a) Olumlu etkileri;

- I. Betonda yüksek basınç dayanımı elde edilmesini sağlamaktadır,
- II. Taze betondaki terlemeyi ve ayrışmayı azaltmaktadır,
- III. Betonun hidratasyon ısını azaltmaktadır,
- IV. Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır,
- V. Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır,
- VI. Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırmaktadır.

b) Potansiyel zararlı etkileri;

- I. Silis dumanı kullanılarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyu ihtiyaçları vardır. Bunu telafi edebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir,
- II. Silis dumanı çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından, betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha zor olabilmektedir,
- III. Silis dumanı kullanılması durumunda, daha çok miktarda plastik büzülme çatlağına yol açabilmektedir.
- IV. Silis dumanı, nispeten daha koyu renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır [32].

d) Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanabilirliğine Dair Standartların Belirtildiği Sınır Değerler

Silis dumanının beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiğine dair, Türk Standartları’nda ve ASTM’de sınır değerler belirtilmemektedir. Ancak, CSA –A23.5.M.86 no.lu Kanada Standardı bu

konuda yararlı bilgileri ve hükümleri içermektedir [31,32,33]. Bazı değerler belirtmek gerekirse: dayanım aktivite en az %85, 45µm üzerinde kalan miktar en çok %10 olmalıdır. SiO₂ miktarı en az %85, SO₃ ve kızdırma kaybı, sırasıyla, en çok %1.0 ve %6 olmalıdır.

2.10. Karışım Suyu

Karışım suyu olarak doğada bulunan her türlü su kullanılabilir. Ancak, karışım suyunda beton prizini, katılaşmayı engelleyecek, donatı korozyonuna sebep olacak maddeler, bitkisel ve hayvansal yağlar, alkali tuzlar, amino asitler ve diğer zararlı maddeler bulunmamalıdır. Bu nedenle tuzlu, şekerli sular, deniz suları, endüstri atıkları ile kirlenmiş sular, bataklık suları vs. beton yapımında kullanılmamalıdır.

Bir dereeden alınan ve içinde çeşitli maddeler bulunan su, ya dinlenme havuzlarında dinlendirilmeli, yada çeşitli metotlarla temizlenmelidir. Bu konuda yapılan bazı deneyler göstermiştir ki, %1'e kadar SO₄ ihtiva eden suların betonda tesiri pek fazla değildir. %0.5'lik bir SO₄ konsantrasyonu betonda ortalama %4'lük bir mukavemet düşmesine neden olurken, %1'lik bir konsantrasyonda azalma %10'u geçmektedir. %5'lik bir tuz, mukavemeti %30 azaltmaktadır. Az miktarda sülfat ve klorür ihtiva eden yüksek karbonlaşmış mineralli sular, %80 kadar düşük mukavemete neden olmaktadır [32].

Betonda kullanılacak en iyi karma suyu olarak içme suyu tavsiye edilir önceden denenip uygun sonuçlar alınmış sularda kullanılabilir. İçerisinde betonun dayanımını olumsuz etkileyen amonyum tuzları, serbest klor, organik maddeler ve madeni yağlar gibi maddeler bulunmaması gerekir. Kullanılan su, çimentonun katılaşması için gerekli olmasının yanında betonun işlenebilirliğini de sağlamaktadır.

Kullanılacak su-çimento oranı iyi ayarlanmalıdır. Su-çimento oranı, betonun dayanımını ve dış etkilere karşı dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Su-çimento oranı ile betonun dayanımı ters orantılıdır. Karışımında kullanılacak su-çimento oranı küçüldükçe betonun dayanımı artar.

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

1. Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek,
2. Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamak.

Kıvam 1 m³'e giren su miktarına bağlıdır. Beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini önemli derecede azaltır. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan

bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla içilmeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım, endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkilere neden olabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır [30].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Hafif betonun mekanik özellikleri üzerine kür şartlarının etkilerini araştıran bu tez çalışmasında Elazığ yöresi volkanik cürufu ile birlikte iki ayrı mineralojik katkı kullanılmıştır. Çalışmada mineralojik katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Volkanik cüruf ve mineralojik katkılarla birlikte kontrol betonu, uçucu kül katkılı beton ve silis dumanı katkılı beton olarak üç değişik türde beton üretilmiş ve üretilen bu betonlara üç farklı kür (hava, naylon, su) şartı uygulanmıştır. Bu şekilde hazırlanan betonlara 3, 7 ve 28. günlerde ultrasonik test, basınç dayanımı ve yarma dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3.1 Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan malzemelerden agregalar ve çimento Elazığ yöresinden temin edilirken kullanılan uçucu kül Soma Termik Santrali'nden, silis dumanı ise Antalya ilinde bulunan Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den temin edilmiştir. Deney numuneleri Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Laboratuvarında hazırlanmış ve belirlenen deneylere tabi tutulmuştur.

3.1.1 Numune Kalıpları

Deney numunelerinin hazırlanışında standart çelik kalıplar kullanılmıştır. Ultrasonik test ve basınç dayanımı deneyleri için 150 x 150 x 150 mm'lik küp kalıplar, yarma dayanımı deneyi için ise çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan silindir kalıplar kullanılmıştır. Her deney için kalıplar temizlenip yağlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

3.1.2 Çalışmada Kullanılan Agregalar

Çalışmada kullanılan hafif agregası Elazığ Meryem dağından elde edilen hafif agregası (volkanik cüruf) dır. ince agregası Elazığ Palu yöresi doğal agregasıdır. Bu malzemelerin her biri, çalışmada kullanılacak olan elek sınıflarında ayrılmış ve depolanmıştır. Çalışmada kullanılan kaba agregaların bazı fiziksel özellikleri tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneylerde kullanılan kaba agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Tipi	Özgöl Ağırlık (gr/dm ³)	Su Emme Mik.(%)	500 Devirdeki Aşınma (%)
Doğal Agr.	2.76	1.15	16.41
Hafif Agr. (VC)	1.85	22.36	42

Çalışmada kullanılan elek aralıkları ise;

İnce Kum: 0-5 mm,

Orta Sınıf: 5-10 mm,

İri Sınıf : 10-20 mm şeklinde hazırlanmıştır.

3.1.3 Çalışmada Kullanılan Çimento

Çalışmada numunelerin hazırlanmasında Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.’nin üretmiş olduğu PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. Çimento, fabrikadan alındıktan sonra deney süresince uygun koşullarda saklanarak tüm seriler için aynı koşullarda kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan çimentonun dozajı 310 kg/m³’tür. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Çimento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K.K.	Blaine	Öz.Ağ.	f _{ce}
PÇ 42.5	21.12	5.62	3.24	62.94	2.73	1.79	1.78	3382	3.07	51.7

3.1.4 Karışımda Kullanılan Katkılar

Daha önceki çalışmalardan elde edilen bulgulara dayanarak bu tez çalışmasında karışıma giren çimentonun ağırlıkça %30’u uçucu kül ve %10’u oranında silis dumanı kullanılmıştır. Uçucu kül Soma Termik Santrali’nden silis dumanı ise Antalya’da bulunan Eti Elektro Metalurji A.Ş.’den belirli miktarlarda temin edilmiştir. Elde edilen bu mineralojik katkı maddeleri laboratuvar şartlarında torbalanmış olarak çalışma süresince muhafaza edilmiştir. Bu malzemelere ait çeşitli bilgiler aşağıda sunulmuştur.

a. Uçucu Kül

Soma uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un üzerinde olması (%17,71) nedeniyle TS EN 197-1'e göre W sınıfı (kalkersi uçucu kül) kapsamına girmektedir. Buna karşılık standartta reaktif silis için istenilen > % 25 koşulunu da (% 32,04) sağlamaktadır. Buna göre TS EN 197-1 standardına tamamen uymaktadır.

ASTM C-618 standardına göre, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının %50'nin üzerinde (%70,48) olması ve CaO miktarının % 10'u geçmesi (%20,95) nedeniyle, C sınıfı (yüksek kireçli) uçucu kil şartlarına uygun olmaktadır.

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı için TS 639'da istenilen %70 veya üzerinde olma koşulunu da sağlamaktadır.

TS EN 450'de SO_3 miktarı için getirilen en fazla %3,0'lük sınırı ortalama geçmemekle (%2,55) birlikte; bu değer %4,11 olup, %3,0'ün üzerindedir. Yüksek kireçli kül olması nedeniyle, serbest kireç miktarı da TS EN 450'deki en fazla %1,00'lik sınırın üzerindedir.

Tablo 3.3 Soma uçucu külü kimyasal analiz sonuçları

Oksit	Ortalama (%)
SiO_2	42,82
Al_2O_3	20,82
Fe_2O_3	4,57
S+A+F	68,21
CaO	23,45
MgO	1,74
SO_3	1,47
K_2O	1,31
Na_2O	0,32
K.K	2,75

Soma uçucu külünün, başlıca kuvars, anhidrit, serbest kireç ve bunun yanı sıra albit, kalsiyum – orto – silikat, hematit, dolomit ve mullit içerdiği tespit edilmiştir.

Kristalize fazların yanı sıra camı faz da belirgin olarak mevcut olup, 27-32 °C arasında maksimuma yükselmiştir. Bu durum, camı fazın yapısında silisyum da içeren kalsiyum alüminat fazı, dolayısıyla kalsiyum alüminasilikat fazı bileşiminden olduğunu göstermiştir.

Soma uçucu külünün morfolojik analizinde, genellikle büyüklükleri 0,5-20 µm arasında değişen, çoğunluğu düzensiz şekilli olmak üzere yüzeyi pürüzlü küresel ve yarı

küresel tanecikler içerdiği gözlenmiştir. Özellikle 2-3 mikronluk taneciklerin tam küresel olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.4 Soma Uçucu Külünün Kimyasal Kompozisyonunun Standart Sınırlarıyla Karşılaştırılması.

Oksit (%)	Uçucu Kül	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618	
			V	W		F	C
SiO ₂	42,82						
Al ₂ O ₃	20,82						
Fe ₂ O ₃	4,57						
S+A+F	68,21	> 70.0			> 70.0	> 70.0	>50.0
CaO	23,45						
Serbest CaO	9,27	< 1.0					
Reaktif CaO	19,88		< 10.0	> 10.0			
Reaktif SiO ₂	30,04	< 25.0	> 25.0	> 25.0			
Cl ⁻	0,01	< 0.10					
MgO	1,74	< 5.0			< 5.0		
SO ₃	1,47	< 3.0			< 5.0	< 5.0	< 5.0
K ₂ O	1,31						
Na ₂ O	0,32						
KK	2,75	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 10.0	< 6.0	< 6.0

Sonuç olarak, Soma uçucu külü üç standartta (TS EN 197-1, TS 639, ASTM C618) istenilen koşullara tamamen; diğer standart (TS EN 450) belirtilen koşullara kısmen (SO₃ ve serbest kireç hariç) uygun bir küldür.

b. Silis Dumanı

Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi, Antalya ili Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den elde edilen silis dumanı kullanılmıştır.

Silis dumanı kimyasal özellikleri şöyledir: Silis dumanındaki "SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃" miktarının yüksek olması, puzolanik aktivitenin daha iyi olmasına yol açmaktadır. MgO'nun, kükürt'ün ve alkali miktarlarının yüksek olmasının sertleşmiş betonda genleşmeye yol açıkları bilinmektedir. Betonda genleşme oluşturabilecek bu maddelerin miktarları silis dumanının yapısında çok düşüktür. Tablo 3.5'te kullanılan silis dumanının kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5 Antalya silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

SiO ₂	(%)	91
Al ₂ O ₃	(%)	0,58
Fe ₂ O ₃	(%)	0,24
CaO	(%)	0,71
MgO	(%)	0,33
SO ₃	(%)	1,06
Na ₂ O	(%)	0,38
K ₂ O	(%)	4,34
TiO ₂	(%)	-
CL ⁻	(%)	0,09
Çözünmeyen Kalıntı(%)		-
Kızdırma Kaybı(%)		1,84
Serbest Kireç(%)		-
Özgöl Ağırlık(gr/cm ³)		2,20

Rengi açık gri, su emme oranı ve puzolanik aktivitesi oldukça yüksektir. Silis dumanı katkılı betonlarda su emme yüzdesi %134 ve dayanım aktivite indeksinin %110'lara ulaştığı bilinmektedir.

3.1.5 Beton Karışımları

Hafif Beton mekanik özellikleri üzerine kür şartlarının etkisi araştırılması maksadıyla hafif agregaya ile; katkısız (kontrol betonu), uçucu kül (UK) katkılı ve silis dumanı (SD) katkılı beton olmak üzere üç çeşit beton karışımı oluşturulmuştur. Bunlar sırasıyla;

- 1.1. Hafif (VC) agregalı katkısız beton (HB-K)
- 1.2. Hafif (VC) agregalı uçucu kül katkılı beton (HB-UK)
- 1.3. Hafif (VC) agregalı silis dumanı katkılı (HB-SD) betondur.

Mineral katkıların kullanılmasıyla hem betonun parametreleri artırılmış hem de agregaya tipi ile birlikte, beton mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Beton karışımları oluşturulurken malzemelerin (özellikle silis dumanı ve agregaya olarak VC'un) su emmeleri farklılık göstereceğinden dolayı, taze beton çökme miktarı sabit tutulmuştur (6-9 cm).

3.1.6 Beton Numunelerin Kür ve Bakımı

Dökülen beton numuneler bir gün süre ile kalıplarda bekletildikten sonra, özellikle numunelerin farklı kürlere tabi tutulması maksadıyla üç farklı karışım da hazırlanan numuneler 3 gruba ayrılmıştır.

1. Hava Kürü; sıcaklık ve nem derecesi değişmeyen penceresiz bir laboratuvar ortamında belirtilen periyotlarda kür edilmiştir.

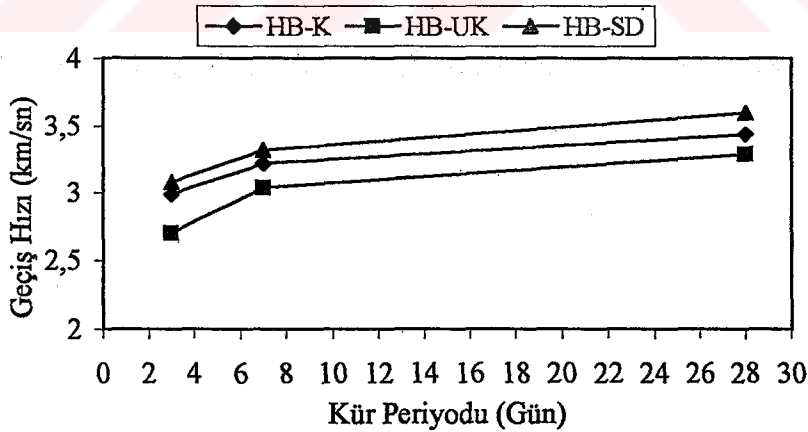
2. Naylon Kürü; özenle naylon torbalara yerleştirilip hava almaması için ağızları sıkıca bantlanarak hava kürü uygulanan deney numuneleri ile aynı ortamda saklanmıştır.

3. Su Kürü; standartlarda belirtildiği gibi kür tanklarına yerleştirilerek normal beton kürü uygulanmıştır. Kür tankının sıcaklığı 23 ± 2 °C de sabit tutulmuştur.

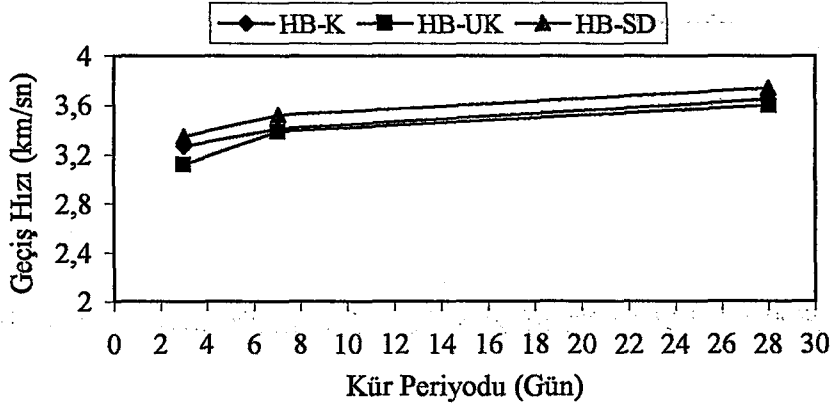
3.2 Numunelere Uygulanan Deneyler

3.2.1 Ultrasonik Test Deneyi

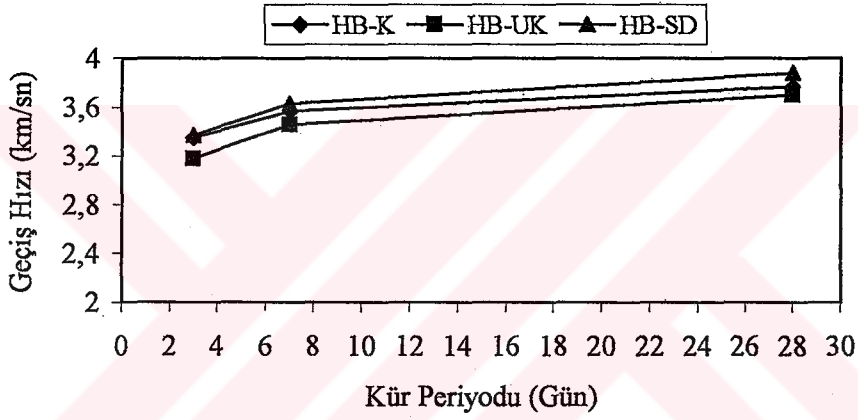
Ultrasonik test için 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler kullanılmıştır. Belirlenen yaşa erişen numuneler kür tankından çıkarılıp belirli bir ortalama nem derecesine ulaştıklarında deney numunesi yüzeylerindeki toz, kireç ve benzeri temizlenmiştir. Ultrasonik test cihazı dalga verici ve alıcısının numune yüzeylerinde birbirlerini tam olarak karşılamaları için deney numunesi yüzeyleri karşılıklı şekilde işaretlenmiştir. Bu şekilde deney için hazırlanan numunelerin 4 kenarından karşılıklı olarak 2 okuma gerçekleştirilerek ortalama değerler kaydedilmiştir. Bu şekilde farklı agrega tipi ve farklı mineralojik katkılar ile oluşturulan beton serilerinin farklı yaşlardaki ses geçirgenlik hızları araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şekil (3.1-3.3)'de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Hafif agregalı beton serilerinin hava kür periyodu-geçiş hızı grafiği



Şekil 3.2 Hafif agregalı beton serilerinin naylon kürü periyodu-geçiş hızı grafiği



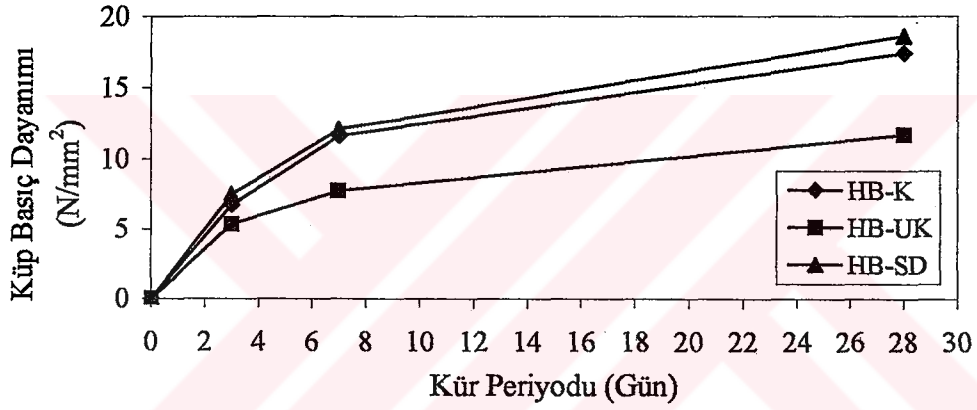
Şekil 3.3 Hafif agregalı beton serilerinin su kürü periyodu-geçiş hızı grafiği

Boşluk miktarı çok olan hafif betonda ses üstü dalga hızının geçiş süresi daha uzundur. Betonun boşluk yapısı ve yoğunluğu agregalar ile yakından ilişkilidir. Değişik kür şartlarında bekletilen hafif beton numunelerinin kür periyodu süresi arttıkça ses üstü dalga geçiş hızının arttığı görülmektedir. En yüksek geçiş hızının su kürüne tabi tutulan numunelerde ortaya çıktığı bunu naylon kürü ve hava kürüne tabi tutulan numunelerin izlediği görülmektedir. Numuneler kendi içerisinde incelendiğinde SD katkılı beton serilerinin en yüksek kontrol beton numunelerinin bunu takip ettiği en düşük verileri UK katkılı serilerde ortaya çıktığı görülmüştür.

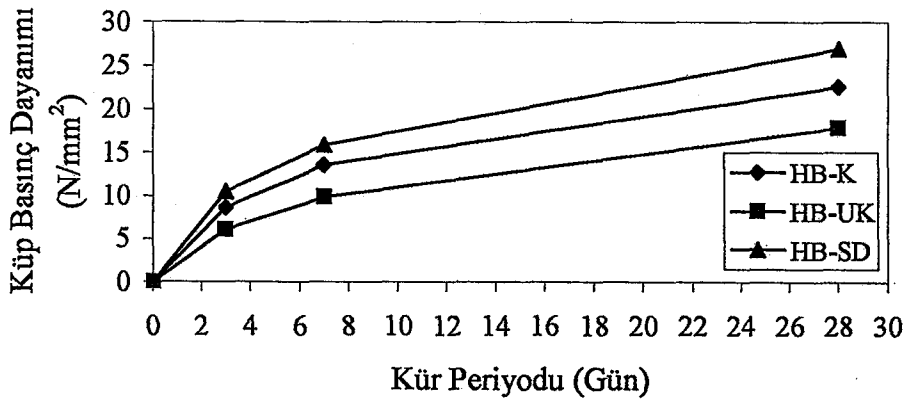
Ultrasonik test sonuçları incelendiğinde kür şartlarının hafif betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi hakkında fikir edinilebilir. Su kürüne tabi tutulan hafif beton numunelerinin diğerlerine göre daha yüksek dayanım özellikleri sergileyeceği söylenebilir.(şekil 3.3) Kür periyodu başlangıcında düşük değerler veren SD katkılı numuneler zamanla daha yüksek dayanım kazanmaktadırlar.

3.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi

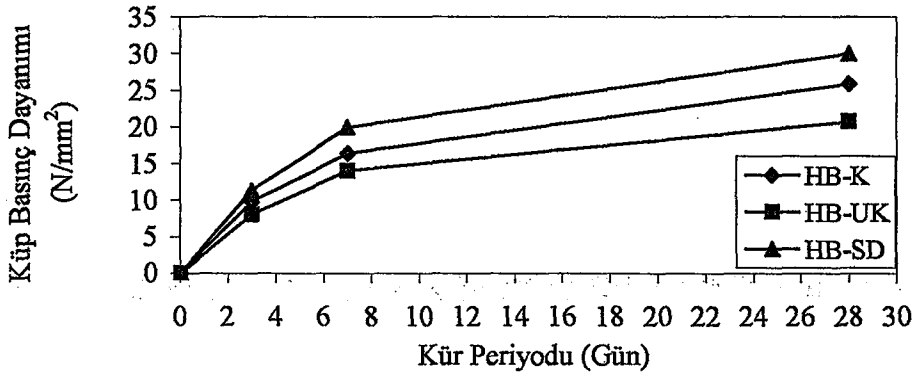
Basınç dayanımı deneyi için 3'er adet 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Her bir agrega tipi için kontrol, uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) katkılı üçer adet olmak üzere 9 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Basınç dayanımı deneyleri 3, 7 ve 28 günlük betonlarda yapılmıştır. Bu yaşlara ulaşan beton numuneler kür tankından çıkarılıp aynı nem derecesinde ve standartlarda belirtilen hususlara da dikkat edilerek deney presine yerleştirilip kırımı gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kırılmasını takiben deney presi ekranından kırılma yükü, gerilme v.b. bilgiler okunarak kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında grafikler oluşturulmuştur. (Şekil 3.4-3.10)



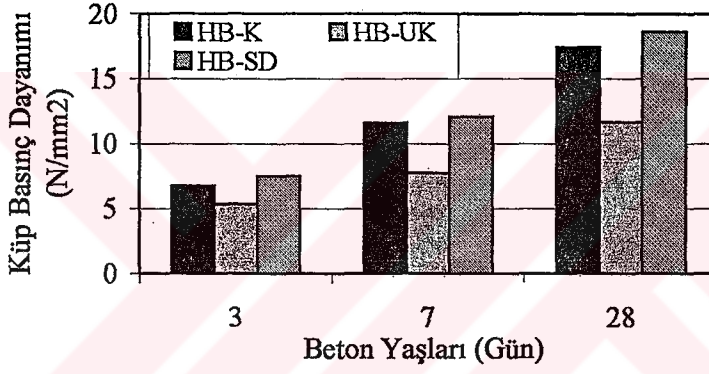
Şekil3.4 Hava kürü periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.



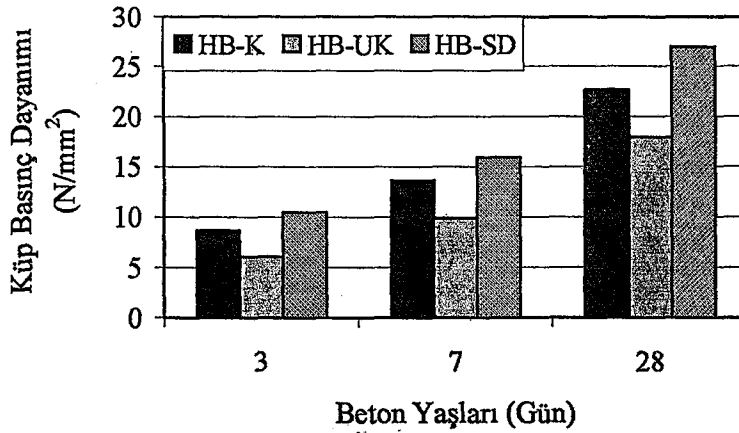
Şekil 3.5 Naylon kürü periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.



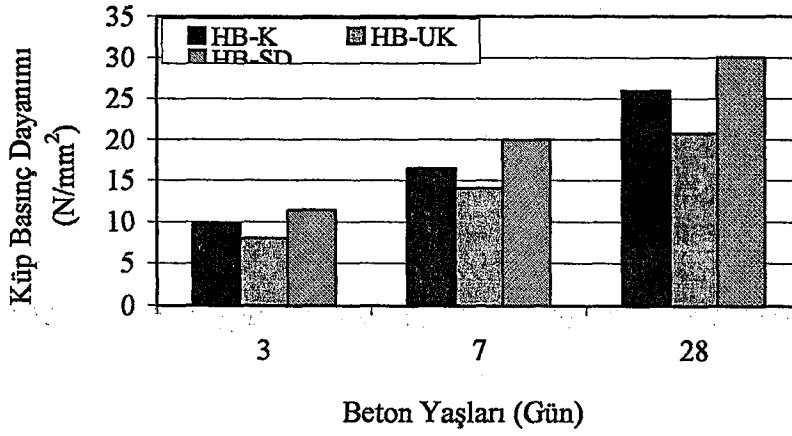
Şekil 3.6 Su Kürü periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin ortalama küp basınç dayanımları.



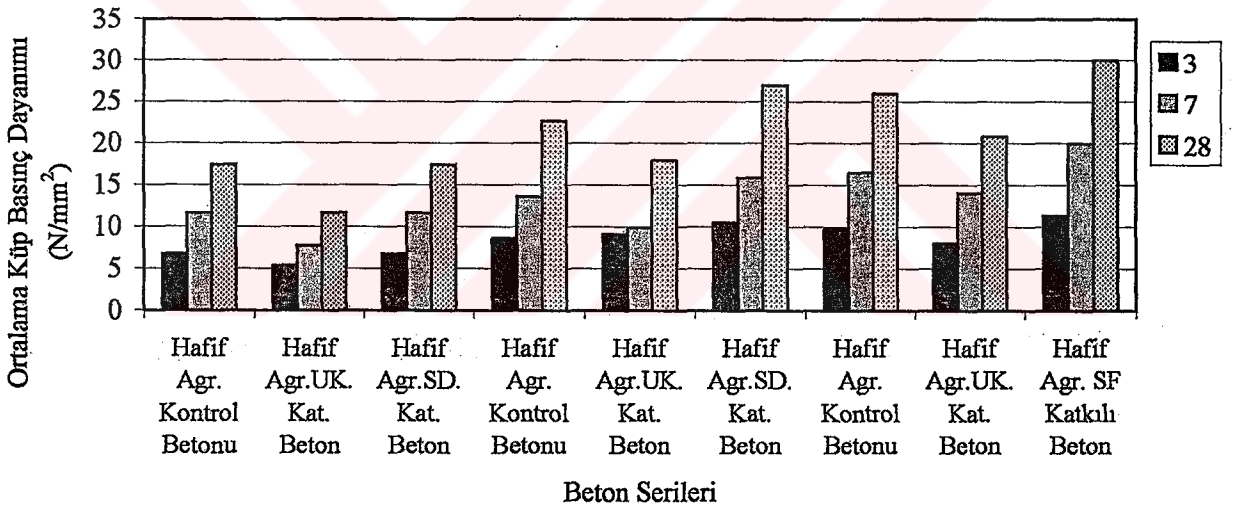
Şekil 3.7 Hafif agregalı beton serilerinin hava kürü beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.



Şekil 3.8 Hafif agregalı beton serilerinin naylon kürü beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.



Şekil 3.9 Hafif agregalı beton serilerinin su kürü beton yaşına göre ortalama küp basınç dayanımı.



Şekil 3.10 Tüm beton serilerinin beton yaşı ve kür şartları-ortalama küp Basınç dayanımı grafiği.

Erken yaşlarda tüm serilerde (kontrol, UK ve SD katkılı) benzer basınç dayanımı artışları görülmüştür. Üç günlük yaştan sonra uçucu kül katkılı beton serileri ile diğer beton serileri arasında belirgin bir basınç dayanımı farkı göze çarpmaktadır. Buna karşılık 7 günlük yaşa kadar benzerlik gösteren kontrol betonu serileri ile silis dumanı katkılı beton serileri bu yaştan sonra daha hızlı bir basınç dayanımı artışı sergilemiştir.

Farklı beton (kontrol, UK ve SD katkılı) serilerinde ise en yüksek basınç dayanımı artışı silis dumanı katkılı beton serilerinde gözlenirken en düşük basınç dayanımı artışı uçucu kül katkılı beton serilerinde gözlenmiştir.

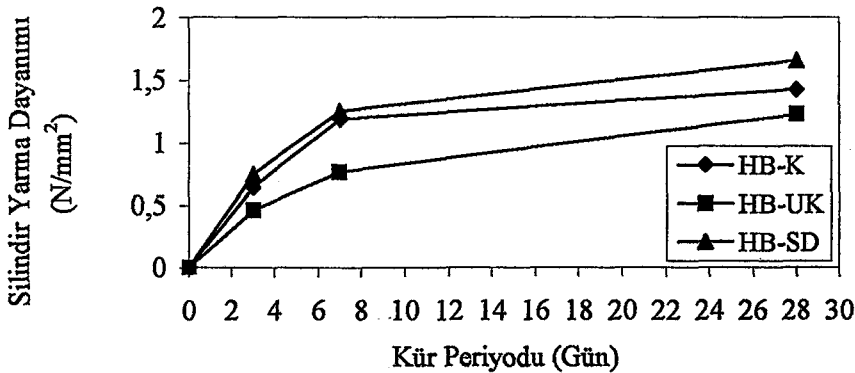
Tüm beton serilerinin yaşlara ve kür şartlarına göre dayanım ilişkisinin verildiği Şekil 3.10 incelendiğinde de aynı beton yaşlarındaki hafif beton serilerinin basınç dayanımlarındaki değişim belirgin olarak göze çarpmaktadır. Yine SD katkılı beton serileri her yaşta diğer betonlara göre daha yüksek basınç dayanımı sergilediği ve hafif agregalı kontrol beton serilerinin bunu takip ettiği görülmektedir. UK katkılı beton serilerinin basınç dayanımı ise diğerlerine göre daha düşüktür.

3.2.3 Yarma Dayanımı Deneyi

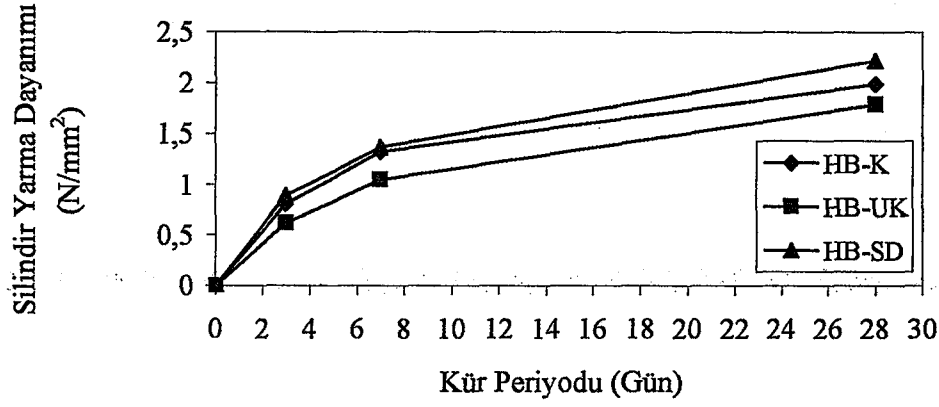
Yarma dayanımı deneyi 150 mm çapında ve 300 mm boyunda hazırlanan silindirik beton numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyinde olduğu gibi yarma dayanımının belirlenmesinde de 3'er adet deney numunesi hazırlanmıştır. Bölüm 3.1'de belirtildiği gibi dökümü ve bakımı gerçekleştirilen deney numuneleri, belirtilen yaşlara ulaştıklarında yine aynı nem ve kuruluk derecesinde yarma deneyine tabi tutulmuşlardır.

Kalıplardan dolayı numune yüzeyinde oluşan beton çapakları temizlenerek yanal olarak prese yerleştirilen deney numunelerinin alt ve üstüne (pres başlıklarına temas eden yüzeyleri boyunca) kontrplak çitalar yerleştirilmiştir. Üst kısma yerleştirilen çitanın üzerine, çita boyunca yükün tek noktadan ve düzgün bir şekilde yayılması amacıyla standartlarda belirtildiği üzere demir levha yerleştirilmiştir. Bu şekilde deneye hazırlanan numune, preste yüklemeye tabi tutularak yarma deneyi gerçekleştirilmiştir. Yarma deneyi yapılırken tüm beton yaşları için yükleme hızı 1.0 kN/sn seçilmiştir. Bu oranın seçilmesinde yükleme oranı-dayanım ilişkisi göz önünde tutulduğu gibi yükleme oranı-beton yaşı ilişkisi de göz ardı edilmemiştir.

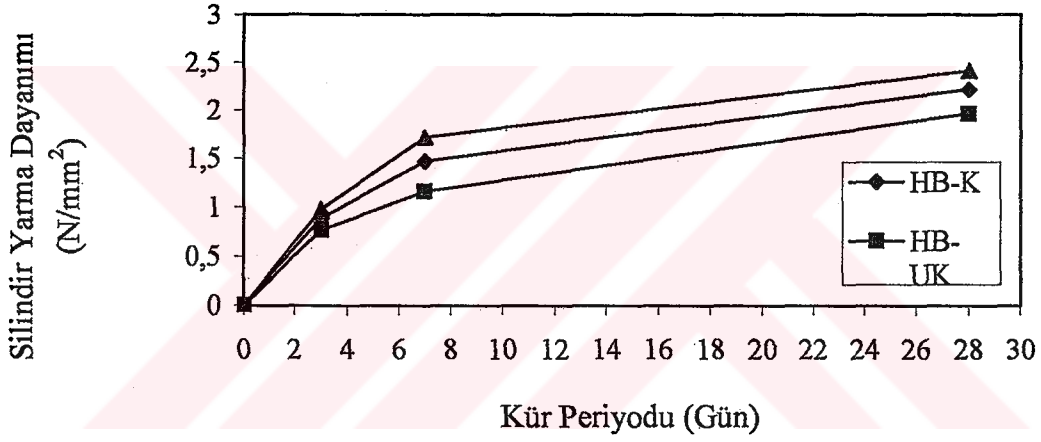
Belirlenen beton yaşına ulaşan numunelerin kırımından sonra deney verileri kaydedilerek grafikler oluşturulmuştur (Şekil 3.11-3.17).



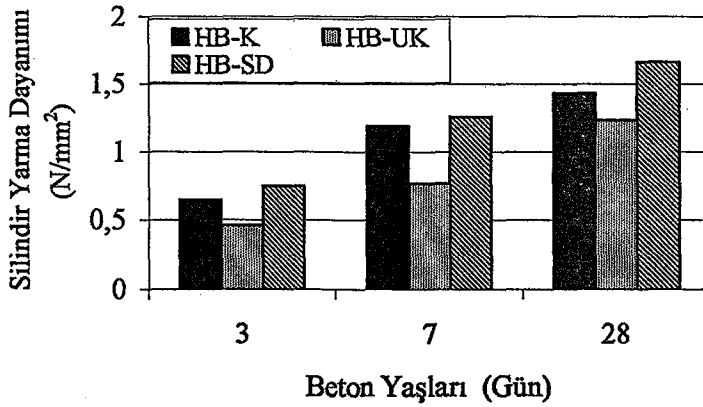
Şekil 3.11 Kür periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin hava kürü ortalama silindirik yarma dayanımı.



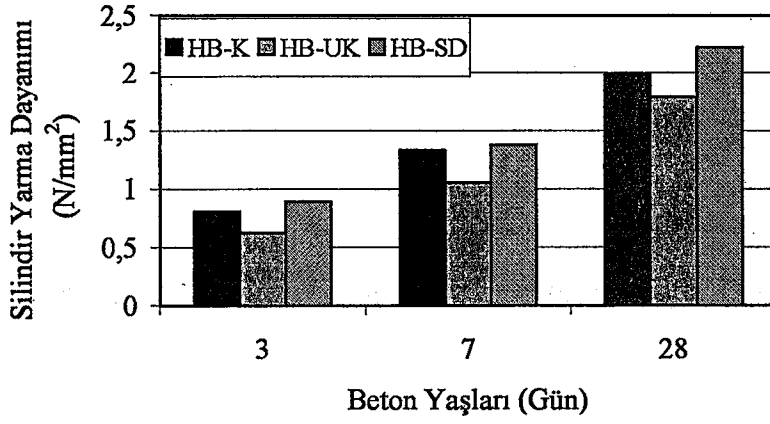
Şekil 3.12 Kır periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin naylon kuru ortalama silindir yarma dayanımı.



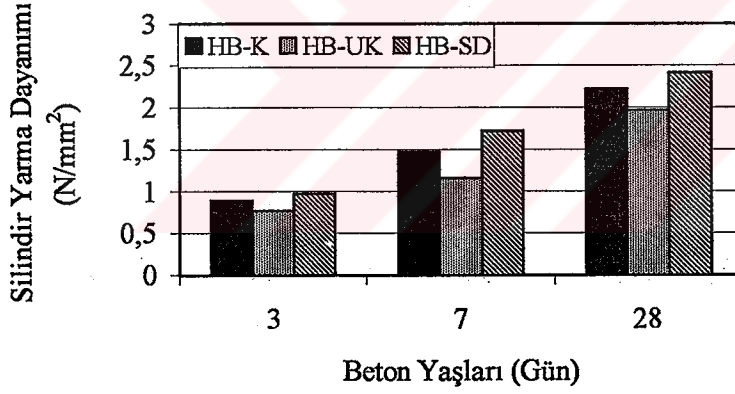
Şekil 3.13 Kır periyoduna göre hafif agregalı beton serilerinin su kuru ortalama silindir yarma dayanımı.



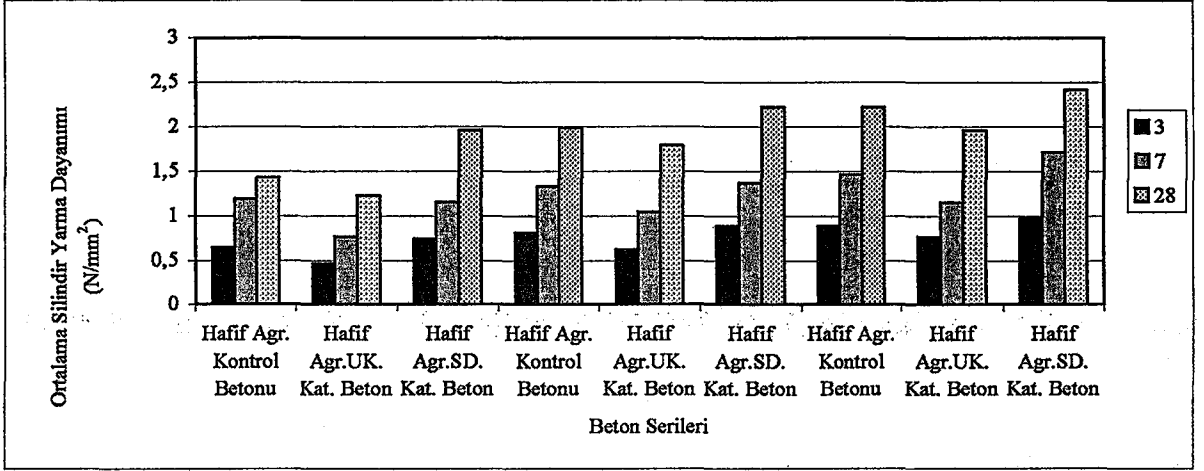
Şekil 3.14 Hafif agregalı beton serilerinin hava kuru beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı.



Şekil 3.15 Hafif agregalı beton serilerinin naylon kürü beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı.



Şekil 3.16 Hafif agregalı beton serilerinin su kürü beton yaşına göre ortalama silindir yarma dayanımı



Şekil 3.17 Tüm beton serilerinin beton yaşı ve kür şartları-ortalama silindir yarma dayanımı grafiği.

Yarma dayanımları incelendiğinde hafif agregalı beton serilerinin kür periyoduna göre yarma dayanımlarında da yükselme olduğu görülmektedir.(Şekil 3.11-3.16) Kür periyodu-ortalama silindir yarma dayanımları incelendiğinde en yüksek yarma dayanımına SD katkıli beton serileri sahip olmuştur.(Şekil 3.13, Şekil 3.16) Hafif agregalı kontrol beton serilerinin yarma dayanımı SD katkıli beton serilerini takip etmektedir. Yarma dayanımında da en düşük dayanım seviyesi UK katkıli hafif agregalı beton serileri göstermektedir. (Şekil 3.13-3.16) Agregat tipinin yarma dayanımı üzerindeki etkisi bu şekillerden açıkça görülmektedir. Her bir beton serisinin yarma dayanımının kür periyoduna göre birlikte gösterildiği Şekil 3.17 incelendiğinde de aynı beton yaşlarındaki farklı katkıli beton serilerinin yarma dayanımlarındaki değişim belirgin olarak görülmektedir.

4. SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında hafif betonun mekanik özellikleri üzerine kür şartlarının etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen verilerin ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Hafif agregat ile oluşturulan betonların (kontrol, SD katkıli, UK katkıli) ses üstü geçirgenlik hızları kullanılan katkının niteliğine göre değişim göstermektedir. Silis dumanı katkısının nitelik ve aktivasyonunun, uçucu külden yüksek olması bakımından, silis dumanı katkıli hafif betonların ses üstü dalga hızları daha yüksek çıkmaktadır. Uçucu kül katkıli hafif betonların ses üstü dalga hızlarının daha düşük çıkmasının nedeni uçucu külün aktivasyonunun zayıf olmasına bağlanmıştır.

2. Su kürüne tabi tutulan beton serilerinin ses üstü geçirgenlik hızları naylon kürüne ve hava kürüne tabi tutulan beton serilerine göre daha yüksek çıkmıştır.
3. Hafif betonlar farklı kür şartlarında erken yaşlarda dahi farklı basınç dayanımları sergilemişlerdir. Su kürü periyoduna göre hafif agregalı SD katkılı beton serileri en yüksek basınç dayanımı gösterirken, naylon kürü periyoduna göre beton basınç dayanımları buna yakın değerler verir. Hava kürü periyoduna göre hafif betonlarının ise basınç dayanımı en düşük olanlardır.
4. Tüm hafif betonların yarma dayanımları zamanla artış göstermiştir. Aynı kür periyoduna göre hafif agregalı betonlarda en yüksek dayanımı, SD katkılı beton serileri göstermiştir. Hafif agregalı kontrol betonun dayanımı, SD katkılı betonun basınç dayanımından daha düşükken uçucu kül katkılı betonun basınç dayanımından daha yüksek çıkmıştır. En düşük yarma dayanımı uçucu kül katkılı hafif betonlarda gözlenmiştir.
5. Farklı kür şartlarında üretilen hafif agregalı betonların yarma dayanımı en yüksek su kürü periyoduna göre hafif agregalı betonlarda gözlenirken, en düşük yarma dayanımı hava kürü periyoduna göre hafif agregalı betonlarda gözlenmiştir.

KAYNAKÇA

- 1-Klaus Dieter Schmidt-Hurtienne, " Druck festigkeit von Leicbeton" Schriftenreihe der Institue für Konsruktiven Ingenireurbau der Technischen Universitat Braunschweig, Heft 4, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1972
- 2-Czurtszkiewicz, A. , "The effect of aggregate shape upon the strength of structural light-weight aggregate concrete", Magazine of Concrete research, Vol.25, No.83, 1973, pp.81-86
- 3-Schütz, F.R. , "Der Einfluss der Zuschlagelastizitat au die Betondruckfestigkeit" , Dissertation TH Aachen, 1970
- 4-Wesche,K., "Strength And deformation behaivour of structural lighweight concerte", National Seminar on "Materials Science and Technology", Madras (India),Febr, 1973
- 5-Parw, A., "Statik modulus of elasticity of concrete as affected by density", ACI Journal, Proceedings, Vo. 57, 1960, pp.679-687
- 6-Atan, Y., "Hafif betonların tek eksenli yükleme halindeki davranışlarına agrega-harç fazlarının etkisi" İTÜ İnşaat fakültesi, Teknik Rapor No.12, 1972
- 7-Taşdemir , M.A., "Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları" , İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul, 1982

8- İhtiyaroğlu, E., "Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerine Araştırmalar" , İmar ve İskan Bakanlığı yayınları, no:5, 1976

9-Turgutalp ,Ü., "Sarıkamuş Yöresi Doğal hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal yapılarda Kullanılabilen Olanakları Üzerine Bir Araştırma", Erzurum, 1978

10-Erciyes, Y., "Bims ve Bimsvetonu Üzerine Araştırmalar" , İmar İskan Bakanlığı Yayınları , No:5-17, 1963

11-Sükan T., Ermutlu E., "Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırması" , TBTAk, proje No: Mag 31, Ankara, Kasım 1966

12- Karadeniz Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarı Deney Raporu, Rapor No:133, Trabzon, 1984

13-Wesche, K., "Baustoffe für Tragende Bauteile", Band 2, Bauverlag GmbH, Wresbaden, 1974, S: 229-254

14-Walz.,K., Wischers,G., "Konstruktions Leichtbeton Hoher Festigkeit", Beton Verlag GmbH, Dusseldorf, 1964

15-Neville, A.M., "Properties of Concrete", pitmann Publishing, London, 1975

16-ACI Committee 213: " Guide For Structural Lightweight Aggregate Concrete" Concrete International, Fev.1979, pp. 33-62

17-Akman , M.S., Taşdemir, M.A., "Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu" , s:40-48, İ.Ulusal Perlit Kongresi, 20-22 Aralık 1977, Ankara

18-"Les Betons de granüls Legeres", Les Chonique de la recherche

19-Rilem Recommendation, LC1i "Terminology and Definitions of Lightweight Concrete", 1975

20-Cormon, P., "Betons Legeres D'Aujourd'Hui", Editions Eyrolles, 1973

21-ASTM c 330-69, "Standart Specification for Lightweight Aggregates for Structures Concrete" ,

22-TS 2511 : 1977, " Taşıyıcı Betonların Karışım Hesap Esasları" , T.S.E.

23-Mauel CEB-FIB, "Beton de Granulats Legers", Annales de l' ITBTP beton no:195, Mai 1980

24-Çetmeli, E., "Yeni Alman Betonarme Şanrnamesi (DIN 1045,1972), Betonarme hesap esasları,kesitlerin boyutlandırılması ve donatının yerleştirilmesi" , Uluğ Kitabevi , İstanbul, 1974

25-Hummel, A., Schumacher , W.,(Çeviren: ÖZİŞİK, G.)Beton Kalander, Teknik Yayınevi, İstanbul 1975

- 26-Budnikov, P.P., Elinizon, M.P., Yakbu, I.A., "The Structure, Composition and Some Properties of Lightweight Aggregates Used for concrete in the USSR.", Proceedings of the first International Congress on Lightweight Concrete, Vol.1,papers: 3-16, 1968
- 27-PCA, 1972 , Structural Lightweight Concrete,Portland Cement Association, Concrete Information, Revised Chapter 13, Design and Control of Concrete Mixtures, Skokie
- 28-ACI Committee 213: "Guide For Structural Lightweight Aggregate Concrete" , ACI Journal, Proceedings , Vol: 64, p: 433-476 , 1967
- 29- Russel , P., "Effect of Aggregates on the Durability of Concrete", Cement and Concrete Association, Advisory Note Wexham Springs, 1976
- 30-Demirli, İ, H, 2004, Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- 31-TS 19,1994,Portland Çimentoları, TSE Ankara.
- 32-Özışık, G., 2000, Beton, Birsen yayınevi kod no:0029, İstanbul s:3-109
- 33-Tokay, M., Erdoğan, K.,1998, Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.
- 34-ASTM C 618, 1994, Standard Specification For Coal Fly Ash And Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use As a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- 35-TS 639, 1975, Uçucu Küller, TSE Ankara.
- 36- Erdoğan,T.Y., 2003, Beton, ODTU Geliştirme Vakti Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- 37-Malhotra,V.M. And Carette,G.G.,1983, Silica Fume Concrete-Properties, Applications, And Limitations, Concrete International, ACI, pp.40-46
- 38- Malhotra,V.M. And Carette,G.G.,And Sivasundaram, V.,1992, Role of Silica Fume in Concrete: A Review, Advances in Concrete Technology, CANMET-Energy, Mines and Resources, pp.925-991.

ÖZGEÇMİŞ

Cemal SÖNMEZOĞLU 1971 yılında Yozgat'ta doğmuştur. İlköğrenimini Kahramanmaraş ili Andırın ilçesinde Atatürk İlkokulunda, ortaöğrenimini Gaziantep Nizip ortaokulunda, lise öğrenimini Kahramanmaraş Lisesinde tamamlamıştır. 1988 yılında Kara Harp Okuluna girmiş burdan 1992 de inşaat bölümünden İstihkam Teğmen olarak başarıyla mezun olmuş mütakiben İzmirde bulunan İstihkam Okulunu bitirmiştir. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Türk Silahlı Kuvvetlerinde yurt içinde ve yurt dışında çeşitli kademelerde görev yapmış halen yüzbaşı rütbesinde muvazzaf subay olarak görev yapmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.

