POMZA VE UÇUCU KÜL KULLANILARAK İMAL EDİLEN HAFİF BETONLARIN AGRESİF SU ORTAMLARINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

AYBARS NEJAT YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA 2007

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POMZA VE UÇUCU KÜL KULLANILARAK İMAL EDİLEN HAFİF BETONLARIN AGRESİF SU ORTAMLARINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

AYBARS NEJAT YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 22.02.2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali BERKTAY
(Başkan)

Yrd. Doç. Dr. Hicran AÇIKEL
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN
(Danışman)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POMZA VE UÇUCU KÜL KULLANILARAK İMAL EDİLEN HAFİF BETONLARIN AGRESİF SU ORTAMLARINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Aybars Nejat YILDIRIM

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Ali KÖKEN

2007, 103 sayfa

Jüri: Prof.Dr. Ali BERKTAY

Yrd.Doç.Dr. Hicran AÇIKEL

Yrd.Doç.Dr. Ali KÖKEN (Danışman)

Yapı sektöründe hafif beton kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Hafif betonlar, normal betonlara göre çok daha hafif olmasından dolayı taşıma, kullanım ve işçilikte önemli tasarruf sağlar. Temele aktarılan yük azalır ve yaklaşık %15–20 oranında inşaat demiri tasarrufu sağlanır. Isı ve ses yalıtımı olarak normal betona göre yaklaşık olarak dört kat fazla yalıtım kalitesi sağlanır. Binalar dondan etkilenmez. Yangına karşı normal betona göre daha fazla dayanım sağlar, ayrıca hafif betonların kullanıldığı yapılarda küflenmeye ve haşerelere karşı da direnç sağlanmış olunur.

Bu çalışmada, ülkemizin rezerv kaynakları bakımından zengin olması sebebi ile Nevşehir Bims agregası (pomza taşı) kullanılarak hafif beton üretilmesi ve üretilen

betonların farklı agresif ortamlardaki dayanım özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 350 ve 450 dozlu olarak iki farklı karışımda üretilen hafif beton küp, silindir ve kiriş numuneler normal su, tuzlu su ve asidik ortamda kür edilmiştir. Kür süreleri 7, 28 ve 90 gün olarak seçilmiştir. Kür sürelerinin sonunda hazırlanan deney numuneleri basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerine tabii tutulmuştur. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, beton dozajının, beton yaşının ve agresif ortam şartlarının pomza ve uçucu kül kullanılarak üretilen hafif beton numunelerin dayanım özelliklerine etkisi irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yeni yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelime: Hafif beton, pomza, uçucu kül, sülfata dayanıklı çimento, agresif ortam, beton dayanım özellikleri.

ABSTRACT

Master Thesis

AN INVESTIGATION OF LIGHT WEIGHT CONCRETE MECHANICAL PROPERTIES WHICH MADE WITH PUMICE AND FLY ASH UNDER AGGRESSIVE WATER CONDITIONS

Aybars Nejat YILDIRIM
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Asist. Prof. Ali KÖKEN
2007 , 103 pages

Jury: Prof. Ali BERKTAY
Asist. Prof. Hicran AÇIKEL
Asist. Prof. Ali KÖKEN (Supervisor)

In last year, using of light weight concrete has increased fairly. Light weight concretes have a lot of advantages instead of normal concretes like such as a decrease in transporting, usage and utility costs because of having light weight. Also the use of light weight concretes decrease the weight of the buildings so that the forces that are carried by the foundations will be less and by this way the usage of the steel will be lower as % 15–20 approximately. Also light weight concretes made of pumice will make four times more heat and sound isolation than normal concrete. The buildings which are use a light weight concrete made of pumice, will not get affected from freeze and they will have high resistance against fire and corrosion and for other environmental conditions. In these conditions, light weight concretes made of pumice have many advantages than normal concrete.

In this research, Nevşehir pumice aggregate is used to make light weight concrete, because of our country have rich pumice aggregate reserve. Therefore, 350 and 450 dosage light weight concrete was produced which cube, cylinder and beam shaped. Light weight concrete specimens were cured in water, salty water and acidic environment. Concrete specimens were tested under after 7,28 and 90 days curing. Axially compression test, splitting test and bending tests were performed. The effect of concrete dosage, concrete age and the environmental conditions were investigated on light weight concrete behaviors. New suggestions were made for new works that will be carried out in the future.

Keywords: Light weight concrete, pumice, fly ash, sulfate resistance cement, aggressive environmental, mechanical properties of concrete.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında bilgi ve deneyimlerinden daima yararlandığım değerli hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Ali KÖKEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmada kullanılan bims agregasını temin eden Termobims A.Ş. ve Necipoğulları Prefabrik ve Parke Sanayi Şti.'ne, çimento temini hususunda yardımlarını esirgemeyen Konya Çimento A.Ş.'ne ve İnşaat Müh. Ercan KARATAŞ'a, ayrıca uçucu külü temin eden Baştaş Başkent Hazır Beton A.Ş. ile Kutlukan DİKMENOĞLU 'na ve deneysel çalışma sırasında yardımlarından dolayı S.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarı Teknisyeni Yüksel ÇİFTÇİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....I
ABSTRACT.....III
TEŞEKKÜR.....V
İÇİNDEKİLER.....VI
SEMBOLLERİN LİSTESİ.....X
KISALTMALARIN LİSTESİ.....XI
TABLOLARIN LİSTESİ.....XII
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....XIV
RESİMLERİN LİSTESİ.....XV

1.GİRİŞ.....1
1.1 Amaç ve Kapsam.....2
1.2 Hafif Blok Elemanların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri Ve Teknik Kapasiteleri.....3
1.2.1 Kuru birim hacim ağırlıkları.....3
1.2.2 Su emme katsayısı.....4
1.2.3 Kılcal su emme katsayısı.....4
1.2.4 Ses yutma özellikleri.....5
1.2.5 Isı İletim katsayısı.....5
1.2.6 Su kapasitesi-doygun rutubet miktarı.....6
1.3 Pomza Agregası.....6
1.3.1 Pomza agregasının genel kullanım alanları.....7
1.3.2 Pomza kullanımının tarihçesi.....9
1.3.3 Pomza agregası üretim yöntemi ve teknolojisi.....10
1.3.4 Pomza sektörünün Türkiye'deki ve dünyadaki yeri.....11
1.3.5 Pomza agregasının kimyasal, fiziksel ve mekanik Özellikleri.....12
1.3.6 Yapılarda pomza kullanımı.....15

1.4 Çimento…….....16
1.4.1 Çimento türleri……16
1.4.1.1 SDÇ 32,5 (CEM I 32,5 R) Sülfata dayanıklı Çimento…….....17
1.4.1.1.1 Sülfata dayanıklı çimento kullanım yerleri…….....18
1.5 Uçucu Kül…….....18
1.5.1 Uçucu küllerin (UK) inşaat sektöründe kullanım Potansiyeli…….19
1.5.2 Uçucu küllerin sınıflandırılması…….....21
1.5.3 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri…….....22
1.5.4 Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları…….....23
1.5.6 Uçucu küllerin mineralojik yapıları…….24
1.5.7 Çimentoda uçucu küllerin kullanımı…….....25
1.5.8 Agrega olarak uçucu küllerin kullanımı…….....26
1.5.9 Betonda uçucu küllerin kullanımı…….....27
1.5.10 Yapı malzemesi üretiminde uçucu küllerin Kullanımı…….....29
1.5.11 Uçucu külün betonun sülfürik asit dayanıklılığına Etkisi…….....30
1.5.12 Yüksek oranda uçucu kül kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisi……..31
1.6 Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi…….....31
1.6.1.Hafif betonlarda ısı iletkenlik…….....34
1.6.2 Hafif betonlarda geçirgenlik…….....35
1.7 Tuzlar…….....36
1.7.1 Tuz çeşitleri…….....36
1.7.1.1 Normal tuzlar 36
1.7.1.2 Asidik tuzlar…….....36
1.7.1.3 Bazik tuzlar…….....37
1.7.1.4 Çift tuzlar…….....37

1.7.2 Tuzların elde edilişi…….....38
1.8 Asitler……..……...38
1.8.1 Asitlerin genel özellikleri……..…..38
1.8.2 Asit Yağmurları…….....39

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI…….....40

3.MATERYAL VE METOT…….....51
3.1 Deney Numunelerinin Özellikleri……..51
3.2 Materyal…….52
3.2.1 Hafif agreganın özellikleri ve deney sonuçları….....53
3.2.2 Beton karma suyu ve çimentonun özellikleri……..62
3.2.3 Uçucu külün özellikleri……...63
3.3 Metot……..64
3.3.1 Beton numunelerinin karışım oranlarının belirlenmesi…….……..……...65
3.3.1.1 Agrega oranları…….…65
3.3.1.2 Çimento dozajı ve su miktarı…….....65
3.3.1.3 Uçucu kül katkı maddeleri…….....65
3.3.2 Beton karışımlarının hazırlanması…….....67
3.3.3 Beton karışımlarının kalıba konulması, kürü ve uygulanan deneyler…….……....67
3.3.3.1 Tuzlu agresif ortam…….…68
3.3.3.2 Asidik agresif ortam……69
3.3.3.3 Normal ortam…….....69
3.3.4 Numune boyutları ve sayıları…….....69
3.3.5 Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan Deneyler……70
3.4 Deney Düzeni……..…73

4.DENEYLERDEN ELDE EDİLEN ÖLÇÜMLER VE DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ…….....77

4.1 Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar…….…....77

5.SONUÇLAR…….82

5.1 Beton Dozajının Dayanım Özelliklerine Etkisi…….…..82

5.2 Beton Yaşının Dayanım Özelliklerine Etkisi…….…....86

5.3 Agresif Ortam Şartlarının Dayanım Özelliklerine Etkisi……...….91

5.4 Sonuç……..….97

5.5 Öneriler…….....98

5.KAYNAKLAR…….100

SEMBOLLERİN LİSTESİ

C : 1 m^3 yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı

d : Çap

d_1 : Kiriş numunesinin en kesit boyutu

d_2 : Kiriş numunesinin en kesit boyutu

E : 1 m^3 yerleşmiş betondaki suyun hacmi

f_{cd} : Hesapta kullanılan beton basınç dayanımı

f_{cf} : Betonun eğilme dayanımı

f_{ck} : Betonun karakteristik dayanımı

f_{ct} : Betonun yarmada çekme dayanımı

f_{ctk} : Betonun çekme dayanımı

h : Yükseklik

h : 1 m^3 yerleşmiş betondaki hava hacmi

L : Açıklık

L_o : Eleman boyu

Va : Toplam agrega hacmi

W : Ağırlık

Δ : Birim ağırlık

γ_c : Çimentonun özgül ağırlığı

γ_{UK} : Uçucu külün özgül ağırlığı

KISALTMALARIN LİSTESİ

ACI : Alman Beton Enstitüsü

A/C :Pomza agregası – Çimento Oranı

ASTM : Amerikan Standartları

CEM : Ortak Değerlendirme Metodolojisi

EPA : Genleşmiş Perlitli Agrega

GGBS : Karışımlı Çimentoda Yüksek Hacimde Ezilmiş Yüksek Fırın Cürufu

HB : Hafif Beton

HPC : Yüksek Performanslı Beton

KB : Kontrol Betonu

KPÇ : Katkılı Beton Çimentosu

LWAC : Hafif Agregalı Beton

NB : Normal Beton

NP : Doğal Pozzolan

NWC : Normal Ağırlıklı Beton

PA : Pomza agregası

PC : Portland Çimentosu

RILEM : İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuar ve Uzmanları Uluslararası Birliği

SA : Süper Akışkanlaştırıcı

SD : Silis Dumanı

SDB : Silis Dumanı Katkılı Beton

TS-EN : Türk Standartları

TP : Tüysüz Bazaltik Pomza

UK : Uçucu Kül

USG : Ultrasonik Ses Geçirgenlik

VA : Volkanik Kül

VP : Pomza Taşı Tozu

W/C : Su – Çimento Oranı

XRD : X Işınları Dağılma Analizi

YFC : İskenderun Demir Çelik Fabrikası Cürufu

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 1.1 Malzemelerin kuru birim hacim ağırlıkları
(1. Isparta Pomza Sempozyumu)
Tablo 1.2 Malzemelerin su emme oranları *(1. Isparta Pomza Sempozyumu)*
Tablo 1.3 Malzemelerin su nüfuz katsayıları *(1. Isparta Pomza Sempozyumu)*
Tablo 1.4 Malzemelerin su yutma katsayıları *(1. Isparta Pomza Sempozyumu)*
Tablo 1.5 Malzemelerin ısı iletim katsayıları *(1. Isparta Pomza Sempozyumu)*
Tablo 1.6 Malzemelerin su tutma kapasitesi - boşluk oranları
(1. Isparta Pomza Sempozyumu)
Tablo 1.7 Türkiye' de bilinen pomza yatakları ve rezerv durumları
(1. Isparta Pomza Sempozyumu)
Tablo 1.8 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri
*(**Aruntaş, H.Y., 2006,** "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1.)*
Tablo 1.9 Türkiye' deki bazı UK ' lerin kimyasal kompozisyonları
*(**Aruntaş, H.Y., 2006,** "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1.)*
Tablo 1.10 Türkiye'deki bazı UK'lerin mineralojik kompozisyonları
(***Aruntaş, H.Y., 2006,*** *"Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1.)*
Tablo 1.11 Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları
Tablo 3.1 Deney numunelerinin özellikleri
Tablo 3.2 Pomza agregası kimyasal özellikleri
Tablo 3.3 Sıkışık birim ağırlık deney sonuçları
Tablo 3.4 Gevşek birim ağırlık deney sonuçları
Tablo 3.5 İnce pomza agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi sonuçları

Tablo 3.6 İri daneli pomza agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi sonuçları

Tablo 3.7 0–2 mm dane çaplı kırmataş agreganın elekten geçen malzeme yüzdeleri

Tablo 3.8 0–4 mm dane çaplı kırmataş agreganın elekten geçen malzeme yüzdeleri

Tablo 3.9 4–16 mm dane çaplı kırmataş agreganın elekten geçen malzeme yüzdeleri

Tablo 3.10 SDÇ 32.5 sülfata dayanıklı çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri

Tablo 3.11 SDÇ 32,5 sülfata dayanıklı çimentonun kimyasal özellikleri

Tablo 3.12 Tunçbilek termik santralinden alınan uçucu külün kimyasal özellikleri

Tablo 3.13 350 dz hafif beton karışımındaki beton bileşimleri

Tablo 3.14 450 dz hafif beton karışımındaki beton bileşimleri

Tablo 3.15 Beton kıvam sınıfları

Tablo 3.16 350 Dozlu beton numune sertleşmiş beton deney sonuçları

Tablo 3.17 450 Dozlu beton numune sertleşmiş beton deney sonuçları

Tablo 4.1 350 Dozlu karışım küp numune basınç deney sonuçları

Tablo 4.2 450 Dozlu karışım küp numune basınç deney sonuçları

Tablo 4.3 350 Dozlu karışım silindir numune basınç deney sonuçları

Tablo 4.4 450 Dozlu karışım silindir numune basınç deney sonuçları

Tablo 4.5 350 Dozlu karışım silindir yarma deneyi sonuçları

Tablo 4.6 450 Dozlu karışım silindir yarma deneyi sonuçları

Tablo 4.7 350 Dozlu karışım kiriş eğilme deneyi sonuçları

Tablo 4.8 450 Dozlu karışım kiriş eğilme deneyi sonuçları

Tablo 5.1 Beton dozajının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi

Tablo 5.2 Beton yaşının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi

Tablo 5.3 Agresig kür ortamının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1 Kırmataş agrega malzemenin granülometri eğrisi

Şekil 3.2 Pomza agrega malzemenin granülometri eğrisi (0 – 4 mm)

Şekil 3.3 Pomza agrega malzemenin granülometri eğrisi (4 – 16 mm)

Şekil 5.1 Beton dozajının 7 günlük basınç dayanımına olan etkisi

Şekil 5.2 Beton dozajının 28 günlük basınç dayanımına olan etkisi

Şekil 5.3 Beton dozajının 90 günlük basınç dayanımına olan etkisi

Şekil 5.4 Beton dozajının 7 günlük çekme dayanımına olan etkisi

Şekil 5.5 Beton dozajının 28 günlük çekme dayanımına olan etkisi

Şekil 5.6 Beton dozajının 90 günlük çekme dayanımına olan etkisi

Şekil 5.7 Beton yaşının basınç dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)

Şekil 5.8 Beton yaşının basınç dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)

Şekil 5.9 Beton yaşının çekme dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)

Şekil 5.10 Beton yaşının çekme dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)

Şekil 5.11 Ortamın basınç dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)

Şekil 5.12 Ortamın basınç dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)

Şekil 5.13 Ortamın çekme dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler

Şekil 5.14 Ortamın çekme dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 1.1 Bazik pomzanın görünümü

Resim 1.2 Asidik pomzanın görünümü

Resim 1.3 Tipik bir F sınıfı UK ’nin Elektron Mikroskobunda görünümü

Resim 3.1 Küp numunenin basınç dayanım deneyine tabi tutulması

Resim 3.2 Silindir numunenin basınç dayanım deneyine tabi tutulması

Resim 3.3 Silindir numunenin yarma deneyine tabi tutulması

Resim 3.4 Silindir numunenin yarma deneyine tabi tutulması

Resim 3.5 Kiriş numunenin eğilme deneyine tabi tutulması

Resim 3.6 Kiriş numunenin eğilme deneyine tabi tutulması

1.GİRİŞ

Son yıllarda, yapılarda ısı yalıtımını ve ölü yükleri azaltmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Ülkemizde, konut sektöründeki önemli gelişmeler ve iklim şartları sebebi ile, yapılarda ısı yalıtımı için taşıyıcı olmayan hafif agregalı bölme elemanlarının kullanılması gerekmiştir. Hafif malzemeden imal edilen bu blok elemanlarının uygulamada kullanılan diğer ağır blok elemanlara göre olumlu birçok yönü olduğu bilinmektedir. Betonarme karkas yapılarda bölme elemanı olarak hafif yapı elemanlarının kullanılması, ısı kayıplarını azaltacağı gibi, yapının ekonomikliği açısından da önemlidir. Bunun için ülke şartlarına uygun olan hafif ve yalıtkan yapı malzeme ve elemanları yapımında pomza, perlit, alçı, ytong ve kil gibi malzemelerin kullanımının önemi hızla artmaktadır. Bu malzemelerin kullanılması ile üretilen hafif beton blok elemanlarının yanında, prefabrike hazır yapı elemanları, bölme panoları ve benzeri elemanlar da üretilmektedir. Üretilen hafif yapı elemanları yapının ağırlığını arttırmadan ısı ve ses yalıtımını büyük ölçüde sağlamaktadır. Bunun yanında elemanlarda kesit büyümesi olmadığından yapının maliyeti, çimento ve demir miktarına bağlı olarak azalmaktadır.

Isı yalıtım yönetmenliği sayesinde ülkemizde ısı yalıtımının zorunlu hale getirilmesi sebebiyle durumu ile hafif ve çok hafif blok elemanların önemi de artmıştır. Uygulamalarda gaz beton, perlitli beton bloklar ve bims gibi elemanlar yapı endüstrisinde kullanım alanı bulmakla birlikte, bu elemanların teknik özellikleri uygulayıcılar tarafından yeterince tanınmamaktadır. Hafif inşaat malzemeleri üretim sanayisi için, çok pahalı teknoloji ithali gerektiren, büyük ve zaman alıcı bir yatırım konusu olduğu da söylenemez. Geleneksel ağır inşaat malzemelerinin (kum, çakıl, yapı taşları vs.) yanında, tüketimi gittikçe artan hafif inşaat malzemelerinin ekonomikliği ve ısı yalıtım özelliğinden dolayı kullanımı yaygınlaşmıştır. Ayrıca hafif malzemelerde hafifliğin yanısıra basınca, donmaya, aşınmaya, kimyasal etkilere mukavemeti, elastisite ve kolay bağlanabilme gibi özellikleri de göz önüne alındığında hafif inşaat malzemelerinin önemi bir kat daha artmaktadır.

1.1 Amaç ve kapsam

Pomza; boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere dayanıklı, gözenekli ve camsı bir volkanik kayaçtır. Doğal bir yapı malzemesi olan pomza doğada oldukça çok miktarda bulunmaktadır. Ülkemizde de birçok doğal pomza kaynağı bulunmaktadır. Uçucu Kül ise, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür.

Ülkemizde bol miktarda bulunan pomza ve uçucu külün beton üretiminde kullanılmasının ekonomik açıdan yarar sağlayacağı bellidir. Ayrıca pomza ve uçucu kül kullanılarak üretilen betonun ağırlığı da önemli ölçüde düşmektedir. Bu da yapı ağırlığının düşmesine ve yapıya etkiyen deprem yüklerinin azalmasına ve kesitlerin küçülmesine yol açmaktadır.

Pomza ve ucu kül kullanılarak üretilen hafif betonların agresif şartlar altındaki mekanik özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Çünkü bu tür betonların agresif şartlara maruz kalması durumunda mekanik özeliklerinde olabilecek olumsuzlukların bilinmesi ve tedbir alınması yapı güvenliği açısından önemlidir.

Pomza ve uçucu kül kullanılarak imal edilen hafif betonlar, binanın ölü yüklerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapıya etkiyen deprem yükü ise yapı ağırlığı ile doğrudan ilişkilidir. Yapıda hafif beton kullanımı sayesinde yapıya etkiyen deprem yükleri de önemli ölçüde azalmakta ve daha ekonomik çözümler elde edilmektedir. Ancak, pomza ve uçucu kül kullanılarak elde edilen betonun hem dayanım hem de ekonomi yönünden kendisinden beklenen özellikleri yerine getirmesi gereklidir.

Bu çalışmada ülkemizde bol miktarda bulunan pomza ve uçucu kül beton üretiminde kullanılması suretiyle ekonomiye katkı sağlanması, ayrıca söz konusu betonların agresif şartlar altında mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılacaktır.

Bu amaçla yapılacak olan çalışmada ele alınacak parametreler;

- Beton dayanımı ve karışım oranları,
- Agresif şartlar,
- Zamandır

1.2 Hafif Blok Elemanların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri Ve Teknik Kapasiteleri

Yapılan araştırmalarda pomza, perlit, alçı, gaz beton olarak ytong ve kil mamüllerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile teknik kapasiteleri incelenmiştir.

1.2.1 Kuru birim hacim ağırlıkları

Malzemelerin kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişiklikler hafif blok elemanlarının özelllikle mekanik ve termik özelliklerini etkilemektedir. Kuru birim hacim ağırlığının yükselmesi durumunda, dayanım artarken hafif blok elemanlarının ısı geçirgenlik dayanımları azalmaktadır. İncelenen malzemelerin kuru birim hacim ağırlıkları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Malzemelerin kuru birim hacim ağırlıkları

Hafif Blok Eleman Türü	**Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kg /m^3)**
Pomza	600 – 1500
Perlit	80 – 240
Ytong	400 – 800
Alçı	600 – 900
Kil Ürün	320 – 1040

1.2.2 Su emme katsayısı

Hafif blok elemanlarının gözeneklerine giren su, malzemenin mekanik ve termik özelliklerini olumsuz olarak etkilendiğinden, blok elemanlarının hiç su emmemesi veya çok az su emmesi istenmektedir. İncelenen malzemelerin su emme katsayıları Tablo 1.2' de verilmiştir.

Tablo 1.2 Malzemelerin su emme oranları

Hafif Blok Eleman Türü	**Su Emme Oranı (%)**
Pomza	20 – 30
Perlit	20 – 35
Ytong	25 – 35
Alçı	35
Kil Ürün	20

1.2.3 Kılcal su emme katsayısı

Malzemenin bünyesindeki kılcal su hattının ilerlemesi zamana bağlı olarak tespit edildiğinde, yapı malzemesinin özelliklerine bağlı olarak bu hareketin belli bir katsayıya göre gerçekleştiği görülmektedir. Doğal şartlarda kılcal su emme şantiyelerde kuru numunelerin suya daldırılması ve bir süre beklenmesi suretiyle gözlenebilir. İncelenen malzemelerin kılcal su emme katsayıları Tablo 1.3'de belirtilmiştir.

Tablo 1.3 Malzemelerin su nüfuz katsayıları

Hafif Blok Eleman Türü	**Su Nufuz Katsayısı ($m/h\ 1/2\ 10^{-3}$)**
Pomza	25
Perlit	20
Ytong	15
Alçı	141.5
Kil Ürün	135.4

1.2.4 Ses yutma özellikleri

Malzeme yüzeyine çarpan ses enerjisinin bir kısmı yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yutularak (gerisi) yansıtılır. Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı ses yutma katsayısı olarak ifade edilmektedir. İncelenen malzemelerin bu özellikleri Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.4 Malzemelerin su yutma katsayıları

Hafif Blok Eleman Türü	**Ses Yutma Katsayısı (Ortalama)**
Pomza	0.440
Perlit	0.600
Ytong	0.160
Alçı	0.035
Kil Ürün	0.020

1.2.5 Isı iletim katsayısı

Malzemelerin ısı iletim katsayıları molekül ve gözenek yapısı ile gözeneklilik oranından oluşan bir etkendir. Belli bir gözeneklilik oranına sahip malzemelerde gözenek duvar kalınlığı etkili bir faktör olmaktadır. Gözenek yarıçapı küçük ise ısı iletkenlik katsayısı düşüktür. İncelenen malzemelerin ısı iletim katsayıları Tablo 1.5'de verilmiştir.

Tablo 1.5 Malzemelerin ısı iletim katsayıları

Hafif Blok Eleman Türü	**Isı İletkenlik Değeri (Kcal/m.h °C)**
Pomza	0.16
Perlit	0.04
Ytong	0.10
Alçı	0.46
Kil Ürün	0.53

1.2.6 Su kapasitesi-doygun rutubet miktarı

Yapıda kullanılan malzemelerin su kapasitesi, suyun emildiği bölgede doğal şartlarda meydana gelen azami rutubet miktarını ifade etmektedir. Suya doymuş malzemelerin içerdiği rutubet, o malzemenin su kapasitesini belirler. İncelenen malzemelerin su kapasiteleri ve boşluk oranları Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6 Malzemelerin su tutma kapasitesi - boşluk oranları

Hafif Blok Eleman Türü	Su Tutma Kapasite Oranı	Toplam Boşluk Oranı
Pomza	0.06	0.70
Perlit	0.03	0.63
Ytong	0.28	0.71
Alçı	0.49	--
Kil Ürün	0.19	0.29

Yapılarda ısı yalıtımının sağlanması için yoğunluğu az olan hafif yapı elemanları tercih edilmelidir. Blok elemanlarının hafif olması nedeniyle, yapılardaki duvar yükü azalacağından, yapıda taşıyıcı elemanların maliyeti açısından daha ekonomik bir durum sağlanmaktadır. İncelenen blok elemanlarının hafif ve gözenekli olması nedeniyle imal edilmeleri esnasında bir miktar su emmektedir. Zamanla emilen suyun buharlaşması ile bünyede kılcal boşluklar meydana gelmektedir. Bu boşluklar, bünyenin zayıflamasına ve mukavemetinin de azalmasına neden olmaktadır.

1.3 Pomza Agregası

Pomza madeni, dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son 20 yılda girmeye başlayan ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayaçtır.

Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Farklı dillerde değişik adlandırmaları vardır. Örneğin Fransızca'da *Ponce*, İngilizce'de iri tanelisine *Pumice*, ince

tanelisine *Pumicite*, Almanca'da iri tanelisine *Bims*, ince tanelisine *Bimstein* denilmektedir. Dilimizde ise süngertaşı, köpüktaşı, nasırtaşı, hışırtaşı, kivek, kisir gibi pek çok isim ile bilinmektedir.

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayaçtir. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza kendisine özgü bazı özellikleri ile benzer perlit, obsidyen gibi volkanik camsı kayaçlardan ayrılır. En belirgin farklılığı rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmamasıdır. En çok renk benzerliği/yakınlığı ve kimyasal bileşimi bakımından perlit ile karıştırılmakta olup, bazı durumlarda perlitten ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Pomzada gözenekler çoğunlukla birbirleriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, herbiri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayaçtır.

1.3.1 Pomza agregasının genel kullanım alanları

Pomza hafif beton üretiminde kum yerine kullanılmaktadır. Normal betona göre hafifliği, nakliye kolaylığı, ısı yalıtımı sağlaması gibi nedenler ile tercih edilmektedir. Konutlarda enerji tasarrufu sağlaması sebebi ile özellikle ülkemiz gibi, ısınmak için doğalgaz yakıt kullanan, dışarıya bağımlı ülkeler için büyük önem kazanmaktadır.

Pomzanın, kırılmadan büyük deformormasyon yapabilme yetenekleri sayesinde, beton mukavemetlerinin artırılmasıyla özellikle deprem bölgelerinde önemli yararlar sağlayabilir. Yapılan çalışmalar pomzanın hafif beton agregası olarak kullanımının mümkün olduğunu, ancak beton özellikleri ve yürürlükteki standartlara uygunluk bakımından belirli ölçüler dâhilinde olması gerektiğini göstermektedir. Pomza

kullanılarak elde edilen hafif betonun standartlara uygunluğu, çeşitli mukavemet testleri ile belirlenmekte, elde edilen değerler ışığında kullanılan pomzanın tane boyutu, oranı belirlenmektedir. Pomza zemin stabilizasyonunda da kullanılmaktadır.

Çeşitli bağlayıcı malzemelerin sınırlı miktarda olmak kaydıyla çimento dolgu malzemesi olarak veya çeşitli yapı malzemelerinin elde edilmesinde kullanılabileceği bilinmektedir. Kullanılan dolgu malzemesinin puzolan karakterde olması, sunduğu teknik avantajların yanı sıra daha yüksek oranlarda kullanılması sebebiyle önemli avantajlar sunmaktadır. Gerek yapı malzemelerinde göz önünde bulundurulan kalite ve ihtiyaç standartlarının yeniden belirlenmesi, gerekse yalıtım, sağlamlık gibi özelliklerin ön planda tutulduğu özel amaçlara uygun ürünlerin geliştirilmesi ve ürün yelpazesinin gitgide genişlemesi alternatif ve ekonomik malzemelere yönelik ilgi ve arayışları arttırmaktadır.

Pomza, yüksek oranlı ve amorf yapıdaki silis içeriği sebebiyle pozolan özellik gösteren bir maddedir. Sunduğu ekonomik avantajların yanı sıra, bir dolgu malzemesi olarak pozolan karakterde olması, pomzanın çimento dolgu malzemesi olarak kullanımına uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir. Pomzanın yüksek orandaki sodyum ve potasyum içeriği ise söz konusu kullanım bakımından en önemli sınırlayıcı unsurlardan birisidir. Pomza ilave oranındaki artışın çimentonun donmaya da prizlenme süresine de olumsuz etki yaptığıda bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, pomzanın niteliğine bağlı olarak % 15 ile % 25 arası dolgu oranlarında çimento dolgu malzemesi olarak kullanılması ASTM standartlarına göre uygun görülmüştür, daha yüksek ilave oranlarında ise mukavemet bakımından sorunların ortaya çıktığı görülmüştür.

Çimento dolgu malzemesi ve hafif beton eldesi alanlarında yüksek silis içeriği ve yoğunluk avantajları ile öne çıkan pomzanın diğer bir önemli niteliği de sahip olduğu yüksek yalıtım özelliğidir. Pomza, gerek gözenekli yapısı gerekse içerdiği gözeneklerin birbirinden bağımsız olmalası sebebiyle normal betona göre yaklaşık 6 kat fazla ısı yalıtımı, normal sıvaya göre ise 3–4 kat fazla ses yalıtımı sağlamaktadır.

Pomza, ısı yalıtımı için genellikle serbest tabaka olarak veya ısı yalıtımı özelliğine sahip yapı tuğlası eldesinde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Pomzanın başlıca kullanıldığı endüstriyel sektörler

- İnşaat sektörü
- Tekstil sektörü
- Tarım sektörü
- Kimya sektörü
- Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlardır.

1.3.2 Pomza kullanımının tarihçesi

Pomza, Hiristiyanlıktan çok önceleri ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlıların ve Romalıların görkemli yapılarının bir çoğunda hala görülebilmektedir. Roma duvarlarının inşaatında, su kanallarında, diğer tarihi eserlerde kullanılmıştır. Amerika'da pomza, Kaliforniya'da 1851'den beri bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Bu tarihten itibaren pomza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar genişlemiştir. Almanya'da 1980'den önce kendi kaynaklarından, bu tarihten sonra kaynakların tükenmesiyle birlikte ithalat yolu ile temin ettiği pomzayı Achen kenti civarındaki 100 'e yakın işletmede kullanarak inşaat sektörünün hizmetine sunmaktadır. Buna, daha pek çok ülkeden örnek vermek mümkündür. Ülkemizde ise 1980'li yıllardaki 250 bin ton civarındaki toplam üretim, 1998 yılı sonu itibariyle 1 milyon tona ulaşmıştır. Bütün bu nedenlerden dolayı ülkemizdeki yapılarda kullanımını arttırmak gereklidir. Özellikle kış dönemi uzun geçen ve en zengin pomza yataklarına sahip Doğu Anadolu ‘da daha yaygın kullanılması gerekmektedir.1992 yılında meydana gelen Erzincan depreminde yıkılan binalarda tespit edilen nedenlerden biri de bina ağırlığı olmuştur. Çok katlı binalarda en çok hasar gören zemin ve 1. katlar olmuştur. Bunun da sebebi bu katlara daha fazla yük etkimesidir. Bu yüzden deprem bölgesinde bulunan ülkemizde mümkün olduğunca hafif yapı kullanılmalıdır.

1.3.3 Pomza agregası üretim yöntemi ve teknolojisi

Ülkemizde pomza madenciliği, pomza yataklarının oluşum şekli ve örtü/dekapaj oranları dahilinde açık işletme metodu şeklinde yürütülmektedir. Cevher üretimi genelde, önce pomza üst örtüsünün dozer ve/veya loder ile dekapajı, sonra cevherin yükleyici veya paletli yükleyici ile kazısı ve kamyonlara yüklemesi şeklinde yapılmaktadır. Ancak üst örtü dekapajında gerekli özenin gösterilmemesi nedeniyle ya cevher ile üst örtü birbirine karışmakta ve pomza kalitesi düşmekte veya üst örtünün mevcut kalınlığından fazla dekapaj yapılmakta ve büyük miktarlarda cevher kaybına neden olunmaktadır. Cevher nakliyatı uzun mesafelerde karayolu taşımacılığı ile yapılmakta, bu nedenle taşıma maliyeti cevher üretim maliyetinden çok daha fazla olmaktadır. Bu nedenle ülkemizde gerek kalite ve gerekse rezerv bakımından oldukça kaliteli Doğu Anadolu Pomza Yataklarından gerektiği gibi istifade edilememektedir.

A.B.D. ve AB ülkelerinde büyük pomza üreticisi firmaların (İtal Ponza Spa - İtalya, Central Oregon Pumice - ABD gibi) üretim metodu da açık işletmeciliktir. Ancak üretim esnasında gerek dekapajın kaldırılması gerekse cevher kazısında büyük ve seçici iş makinaları kullanılmasıyla hem üretim maliyeti düşürtülmekte hem de üretim esnasında cevher kayıpları minimize edilmektedir. Bununla birlikte cevher nakli genelde karada kısa mesafelerde bant konveyör ile uzun mesafelerde ise demiryolu ile sağlanmakta, büyük çapta cevher nakli için deniz taşımacılığından istifade edilmektedir. Örneğin İtalya'nın Lipari adasında üretilen pomza, ocaklardan limana kadar bant konveyör ile nakledilmekte, buradan da gemilerle tüketim yerlerine ulaştırılmaktadır.

Ülkemizdeki demiryolu taşımacılığı ise diğer taşımacılık sektörlerine göre ihmal edilmiştir. Demiryollarından, ray sistemlerinin eski ve yıpranmış olması büyük tonajlara kifayet etmemesi, küçük tonajlarda ise ekonomik olmaması nedeniyle istifade edilememektedir. Doğu Anadolu pomza rezervlerinin deniz limanlarına çok uzak olması ve bu limanlara kadar karayolu taşımacılığı mecbur kılması nedeniyle

cevherin nakliye maliyeti, cevher maliyetini defalarca aşmakta ve cevherin uluslararası pazarda rekabet şansını yitirmesine yol açmaktadır.

Pomza ve pomzadan elde edilen ürünlerle ilgili hazırlanmış standartların çoğu Alman DIN ve Amerikan ASTM ilgili standartları temel alarak hazırlanmış olup, ülkemiz pomza karakteristik özellikleri fazlaca göz önünde bulundurulmamıştır. Birim hacim ağırlığı, tane boyut dağılımı, doku, sertlik, renk, absorbsiyon-adsorbsiyon kabiliyetleri, buhar difüzyonu, ısı izolasyonu vb. gibi fiziksel, kimyasal bileşimleri, asit-baz etkileşimi, gibi kimyasal özellikleri yönünden birbirinden çok farklı özellikler arz eden ülkemiz pomza oluşumları ile ilgili, yapılan/yapılacak olan bilimsel çalışmalar dikkate alınarak yeni standartlar geliştirilmeli, mevcut standartlar güncelleştirilerek ülke koşulları ve dünya standartları ile entegre edilmelidir.

1.3.4 Pomza sektörünün Türkiye'deki ve dünyadaki yeri

Ülkemiz pomza rezervleri açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar m^3 pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Pomza rezevlerinin İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmış olmalarına karşılık, Akdeniz ve Ege bölgelerinde de pomza rezervlerine rastlanmakta ve üretim faliyetleri görülmektedir.

Dünya pomza rezevleri açısından önemli bir yeri olan Türkiye'de ona varan renk ve doku kalitesine sahip pomza türleri ile oldukça yüksek pazar şansına sahiptir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün yaptığı çalışmalara göre ülkemizde bilinen pomza yatakları ve rezerv durumları Tablo 1.7'de verilmiştir.

Bu toplam rezervin 1.5 milyar tonu Bitlis-Tatvan, 0.5 milyar tonu ise Nevşehir–Avanos–Ürgüp bölgelerindedir. Türkiye'deki asit karakterli pomzanın hemen hemen bütünü Nevşehir, Kayseri, Ağrı, Van, Kars, Bitlis, Isparta, Burdur ve Muğla illeri sınırları içerisindedir. Bu bölgelerde açık işletme yöntemiyle çıkarılan pomza taşı,

yurt içi itibarıyla, büyük oranda briket yapımında kullanılmaktadır. Ülkemizde en çok talep gören pomza, Nevşehir Bölgesinin beyaz renkli pomzasıdır.

Tablo 1.7 Türkiye' de bilinen pomza yatakları ve rezerv durumları

Yeri	Rezerv (m^3)	Cinsi
Nevşehir -Avanos-Ürgüp	400.412.834	Görünür- Muhtemel
Derinkuyu	48.660.500	Mümkün
Kayseri-Merke-Gömeçköy	13.250.000	Görünür- Muhtemel
Kayseri-Develi	58.500.000	Görünür- Muhtemel
Kayseri-Talas-Tomarza	240.990.528	Görünür
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	Görünür- Muhtemel
Bitlis-Ahlat	210.000.000	Görünür- Muhtemel
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000	Görünür- Muhtemel
Van-Mollakasım	5.950.000	Görünür- Muhtemel
Ağrı-Doğubeyazıt-Çetenli	26.875.000	Görünür- Muhtemel
Kars-Iğdır-Kovaktepe köyü	40.156.250	Muhtemel
Kars-Digor	11.718.750	Muhtemel
Kars-Sarıkamış-Mescitli köyü	1.875.000	Muhtemel
Ankara-Güdül-Tekköy	8.070.000	Görünür- Muhtemel

AB ülkeleri ve A.B.D en önemli paya sahip alıcılardır. Buğünkü koşullarda, dünya pomza rezervleri ülkemiz pomza rezervlerinden önce tükeneceği göz önünde bulundurularak, dünya piyasasında daha iyi söz sahibi olabilmek için pomza yataklarının modern işletme ve işleme yöntemi yöntemleriyle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde üretilen pomzanın % 80'ni iç piyasada inşaat sektöründe hafif yapı elemanı ve yalıtım malzemesi olarak tüketilmekte, kalan % 20'sinin büyük bir bölümü tekstil pomzası olarak ihraç edilmektedir.

1.3.5 Pomza agregasının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Volkanik olarak yeryüzüne çıkan magma çözeltisi, bünyesinde içerdiği yüksek miktarda flor, klor ve su buharını bünyesinden atarak gözenekli yapıdaki karmaşık ignimbirit petrografik yapıdaki pomza şekillenmektedir. Asitik magma çözeltisinden

şekillenen pomzadan silis miktarı % 62'nin üzerine çıkmaktadır. Bazik magma çözeltisinden oluşan pomza da ise silis oranı % 56'nın altına düşmektedir. Deneyler de kullanılan pomzanın kimyasal analizine bakıldığında magma çözeltisinin asitik karakterli olduğu gözlemlenmektedir. Yüksek oranda ve birbirleriyle bağlantılı olmayan gözenekler içeren, %50 'ye yakın nem suyu bulunduran ve dolayısıyla nemi alındığında özgül ağırlığı 0,5 g/cm^3 e kadar düşebilen, toz haline getirildiğinde oldukça sert malzeme özelliği kazanan, ısı ve ses yalıtkanlığına, uygun basınç dayanımı ve elastisite modülüne sahip ve özel kimyasal bileşimi olan, doğal bir malzemedir.

Asit veya bazik bileşimi olabilir. Asitik pomza, yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türüdür. Pomza çok kırılgandır. Öğütme sırasında camsı olup, midye kabuğu şeklinde kırılmaktadır.

Pomza taşının genel olarak kimyasal bileşimi aşağıdaki şekildedir.

- % 60–75 SiO_2
- % 13–17 Al_2O_3
- % 1–3 Fe_2O_3
- % 1–2 CaO
- % 7–8 Na_2O-K_2O
- Değişken miktarda TiO_2 ve SO_3 bulunmaktadır.

Kayacın içerdiği SiO_2 oranı, kayaca abrasif özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergilemektedir. Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineralleri olarak bilinmektedir.

Bazik pomzaya bazaltik pomza veya Scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza, koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1–2 gr/cm^3 civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe daha yaygın kullanım

alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalar da alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle diğer endüstriyel alanlarda, örneğin gübre sanayinde, toprak ıslahı amacıyla tarımda vs. kullanım alanı bulabilmektedir.

Her iki tür de, oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terketmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Ancak, asidik mağmanın yoğunluğu bazik mağmaya göre daha düşük olup, asidik pomzanın yoğunluğu yaklaşık 0.5–1 gr/cm^3 civarındadır. Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum ihtiva eder ve bu bileşimler nedeniyle de açık renkli görünüm sergilemektedir. Sertliği mohs skalasına göre 5.5-6 dır. Bünyesinde kristal suyu yoktur. Kimyasal olarak tesirsiz ve % 75'e varan silisyum oksit muhtevasına sahiptir.

Bazik Pomzanın genel görünümü ve asidik pomzanın genel görünümü Resim 1.1 ve Resim 1.2 de verilmiştir.



Resim 1.1 Bazik pomzanın görünümü



Resim 1.2 Asidik pomzanın görünümü

1.3.6 Yapılarda pomza kullanımı

Pomza taşının mükemmel fiziksel ve mekanik özellikleri bulunmaktadır. Pomza taşı, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanılır. Pomza normal kumun ve çakılın 1/3 ile 2/3'ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülür. İnşaatlarda pomza betonunun normal betondan hafif olması (birim hacim ağırlığı 800–900 kg/m^3) nedeni ile zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır.

Kum-çimento harcının yerine, pomza taşı harcı kullanılması sonucu harcın hafifliğinden dolayı mekanik kuvvete daha az yüklenilmekte, hafif yapı ürünlerinin asmolen ve duvar malzemesi olarak kullanılması daha az beton ihtiyacı doğurmakta ve düzenli malzeme kullanımının getirdiği zaman ve işçilik avantajı bina maliyetlerinde düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca bu tip blokların kullanıldığı duvarlarda direk alçı, seramik vb. kaplamalar uygulanabilmekte, sıva uygulanması durumunda ileriki yıllarda sıva üstü çatlama kabarma olmamaktadır.

Pomzanın yapılarda sağladığı avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Şok emici özelliği ile depreme karşı dayanıklılık,
- Hafifliği nedeni ile temelde daha ucuz maliyet ve demir kullanımı,
- Yüksek yangın dayanıklılığından dolayı daha güvenli,

- Yüksek termal dayanıklılığından dolayı ısıtma ve soğutmada daha az harcama
- Maksimum ses yalıtımı sebebiyle kullanılan alanlarda konfor,
- Sıvaya iyi yapışır, kolay işçilik nedeni ile daha düşük maliyet,
- Buzlanmaya dayanıklı donma meydana geldiğinde zarar görmemesidir.

1.4 Çimento

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır.

Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalin öğeler ve SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi hidrolik öğelerden oluşur. Çimento bağlayıcılık görevini su ile tepkimeye girdikten sonra kazandığı için hidrolik bağlayıcı olarak adlandırılır.

Alkalin ve hidrolik öğelerin oranları bağlayıcı maddenin niteliğini belirler. Çimento, su ile karıştırılıp plastik hamur durumuna geldikten bir süre sonra havada ya da su içinde yavaş yavaş katılaşır. Bu katılaşma olayına priz adı verilir. Normal şartlar altında bu katılaşma olayı bir saat civarında gerçekleşir. Ancak bu olay içinde bulunulan koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir ve en fazla on saat içinde tamamlanır.

1.4.1 Çimento türleri

Portland çimentosu, betonarme yapılarda kullanımı en yaygın çimento türüdür. Portland çimentosu belirli oranda kalkertaşı (CaO) ve kilin (SiO_2 ve Al_2O_3) karıştırılıp pişirilmesinden sonra meydana gelen klinkerin öğütülmesiyle elde edilir. Çimentonun sertleşmesini geciktirmek üzere klinkere bir miktar alçı taşı da eklenir.

Yüksek fırın cüruf çimentosu, fırın cürufu ile portland çimentosu klinkeri karışımının az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesi ile elde edilir. Genelde, bu tür çimentolar deniz suyu ve diğer sülfatlı ortamlarda portland çimentosuna kıyasla daha yavaş dayanım kazanırlar ve daha yüksek bir dayanıma sahip olurlar. Ancak geçirimlilikleri daha düşüktür.

Traslar, silisli ve alüminli maddeler içeren volkanik tüflerdir. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri olmamasına rağmen, çimentoda mevcut kireçle bu özelliği kazanırlar. Traslı çimentolar imalat aşamasında portland çimentosu klinkerine aktif volkanik tüfler veya benzeri traslar katılarak, bunların öğütülmesiyle elde edilir. Karışımdaki tras oranı %20-%40 düzeyinde tutulur. Bu tür çimentoların geçirimliliği az hidrasyon ısıları düşük olduğundan genellikle su yapılarında kullanılırlar.

Katkılı çimentolar, portland çimentosu klinkerinin ağırlıkça en fazla %19'nun puzolanik malzeme ile değiştirilmesi ve alçı taşı eklenmesiyle elde edilir. Katkılı çimento tarslı çimento için belirtilen özelliklere sahiptir fakat traslı çimentodan farkı puzolan oranının daha fazla olmasıdır.

Bunlar dışında kullanılan diğer çimento türleri

- Uçucu Küllü Çimento,
- Süper Sülfat Çimentosu,
- Sülfata Dayanıklı Çimento,
- Erken Dayanımı Yüksek Çimentodur.

1.4.1.1 SDÇ 32,5 (CEM I 32,5 R) Sülfata dayanıklı çimento

Sülfata dayanıklı çimento, klinkerin bir miktar alçı taşı ($CaSO_4:2H_2O$) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen bir çimentodur. Portland çimentosu klinkeri, mekanik dayanım için kullanılırken alçı taşı ($CaSO_4:2H_2O$), priz düzenleyici olarak çimento içinde bulunur.

1.4.1.1.1 Sülfata dayanıklı çimento kullanım yerleri

a. Her Türlü Betonarme Yapılar

- Sülfatlı sulara maruz kalan ortamlardaki betonarme imalatlarda,
- Zeminde sülfatın bulunması halinde temel imalatlarında,
- Evsel atıklar ve sanayi atıklarıyla ilgili beton boru ve menfez imalatlarında,
- Deniz suyuna maruz kalacak bina cepHelerindeki sıva imalatlarında,
- Pis su kanallarında,
- Su depolarında,
- Silolarda.

b. Sanayi İmalatları

- Bordür imalatı,
- Kilitli parke taşı imalatı,
- Kanalizasyon beton boruları,
- Arıtma tesisleri,
- Prefabrike betonarme aydınlatma ve enerji nakil hattı direk imalatları,
- Prefabrike betonarme yapı imalatları,
- Prefabrike su kanaletleri imalatları.

1.5 Uçucu Kül

Uçucu kül en yaygın puzolandır. Bu malzeme, termik enerji santralleri içinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan bir üründür. Baca gazları atmosfere bırakılmadan önce bu gazlar içindeki ince tanelerin toz toplama sistemi tarafından toplanmasıyla elde edilir. Uçucu kül rutubetli ortamlarda kalsiyum iyonları ile reaksiyona girerek silikat hidrate oluşturan yarı kararlı alümin silikatlar içerir. Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda yaklaşık 450 milyon tondur ancak toplam uçucu kül miktarının sadece %6 sı çimento ve beton karışımlarında puzolan olarak

kullanılmaktadır. Türkiye' de kömür yakan 11 enerji santrali bulunmaktadır. Ülkemizde yıllık uçucu kül üretimi yaklaşık 15 milyon ton civarındadır.

Betonda uçucu kül kullanımının iki ana nedeni vardır.

a. Beton maliyetlerini düşürmek,
b. Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek.

Uçucu küllerin ekonomik olarak değerlendirilmesi, kullanılabilir miktarda, gerekli nakliye miktarına ve istenilen tasarıma bağlıdır. Uçucu kül hidratasyon ısısını düşürür ve tanelerin küreselliği sayesinde taze betonun kararlılığını, kolay yerleşmesini ve kolay sıkıştırılmasını sağlar. Uçucu külün kimyasal bileşimi, tane boyut dağılımı, inceliği, puzolanik aktivitesi ve betonun kür koşulları, uçucu küllü betonun mekanik özelliklerini etkileyen önemli etkenlerdir. ASTM-C 618'e göre uçucu kül, iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

Bunlar F ve C tipidir. F tipi uçucu kül genellikle %10 dan daha az CaO içerir. Buna karşın C tipi uçucu kül, %15 ten %35' e kadar CaO içerir. Diğer yandan F tipi uçucu kül antrasit ve bitümlü kömürün yanmasından üretilir, bu da düşük kireçli uçucu kül olarak sınıflandırılır. C tipi uçucu kül ise diğer linyit ve bitümlü olmayan kömürün yanmasından elde edilir. Yüksek kalsiyum içeriğine bağlı olarak C tipi uçucu küller puzolanik özelliklerinin yanında bağlayıcı özelliğe de sahiptir. Betonda uçucu kül kullanımının erken yaşlarda yavaş dayanım kazanmasına yol açtığı iyi bilinmektedir. Beton teknolojisindeki son gelişmelerden, kalsiyum içeriği ve tane boyut dağılımının dayanım kazanma hızını belirleyen en önemli parametreler olduğu anlaşılmaktadır.

1.5.1 Uçucu küllerin (UK) inşaat sektöründe kullanım potalsiyeli

Dünyada 1970'li yıllarda başlayan petrol krizinin ardından enerji kullanımını azaltmaya ve alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. UK'lerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabileceği ve dolayısıyla bir yandan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanırken diğer taraftan çevre

kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunması da mümkün görülmektedir. İnşaat sektöründe UK; çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj ile yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Türkiye'de UK kullanımına ait detaylı veriler bulunmamakla birlikte genellikle çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanıldığı görülmektedir.

Türkiye'de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir. Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de taban külü denilmektedir. Türkiye'de halen sadece kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir.

Çatalağzı, Çolakoğlu ve Sugözü - İskenderun termik santrali haricindeki bütün santraller, linyit kömürü ile çalışmaktadır. Türkiye'de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda da bacalardan 1993 yılı verilerine göre 13,5 milyon ton/yıl, 1998 yılı verilerine göre ise yaklaşık 13 milyon ton/yıl oranında UK elde edilmektedir. Bu miktar, A.B.D.'de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan'da 50 milyon ton/yıl dolayındadır. Bütün Dünyada bir yılda üretilen toplam UK'ün ancak % 25'den daha azı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen toplam UK'ün % 95'den fazlası, İngiltere'de ise yaklaşık % 50'si kullanılmaktadır. Diğer taraftan büyük miktarlarda UK üretilen A.B.D. ve Çin'de sırasıyla yaklaşık % 32 ve % 40 oranında UK kullanıldığı görülmektedir. 1990 yılı verilerine göre Türkiye'de UK kullanım oranı, % 1'den daha azdır. Son yıllara ait yeni veriler ise elde edilememiştir.

UK'lerin bacalarda tutulması ile günümüzün çok önemli problemlerinden biri olan hava ve toprak dolayısıyla çevre kirliliği de kısmen önlenmiş olmaktadır. Öte yandan UK'lerin biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. UK'lerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgâr erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr erozyonu ve tozlanma, UK'lerin havuzlarda çökeltilmesi veya ıslatılarak taşınması sayesinde önlenebilmektedir.

Yukarıda sayılan sorunların çözümlenmesi, UK'lerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir. UK'lerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir. Bundan başka UK, kimya, seramik, cam, cam-seramik, döküm-metal sanayii, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında filler olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

1.5.2 Uçucu küllerin sınıflandırılması

Bilindiği gibi kendi başına bağlayıcı olmayan ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelere puzolan adı verilmektedir. Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. UK, yapay puzolan sınıfına giren atık bir malzemedir. UK'ler, kimyasal kompozisyonlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır.

Uçucu küller içerdiği analitik CaO miktarı bakımından;

1. CaO miktarı % 10'dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu UK,
2. CaO miktarı % 10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu UK, olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Uçucu küller yapısındaki kireç ve SO_3 miktarına göre ise üç grupta toplanmaktadır.

1. Esas yapısı siliko alüminatlardan meydana gelen, SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 (S+A+F) toplamı % 70'in üzerinde olan ve genellikle taşkömüründen elde edilen siliko alüminalı UK,
2. Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50 ile % 70 arasında olan ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik UK,
3. Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan ve diğerlerine göre daha fazla SO_3 ve CaO ihtiva eden sülfo kalsik UK'lerdir.

UK'ler, ASTM C 618'e göre de iki başlık altında toplanmaktadır. Bunlar sırasıyla,

1. Bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 70'in üzerinde olan F sınıfı UK,
2. Genellikle linyit veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan C sınıfı UK'lerdir.

1.5.3 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uçucu küller genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça daha koyu bir hal almaktadır. Uçucu küller % 60–90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden meydana gelmektedir. Uçucu külün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1–200 μm arasında değişir. Taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 μm'den, % 50'den çoğu ise 20 μm'den daha küçüktür. Uçucu külün yoğunluğu, 2,2–2,7 g/cm^3 dolayındadır. Uçucu külün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olup öğütme yapılmadan kullanılabileceğini göstermektedir. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri Tablo 1.8'de verilmiştir.

Tablo 1.8 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Çap (µm)	Şekil	Renk	Yoğunluk (g/cm^3)	İncelik
1-200	Yuvarlak	Gri	2.2-2.7	Çimento inceliğinde

1.5.4 Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları

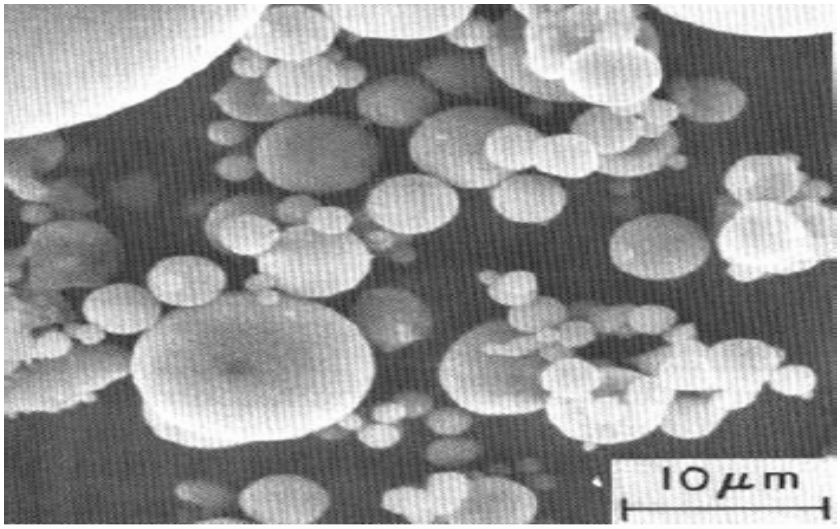
UK'lerde S+A+F toplamının, genellikle % 70 değerinden fazla olduğu ve ASTM C 618'deki şartın sağlandığı görülmektedir. Kullanılan kömür cinsine bağlı olarak bazı UK'lerde önemli oranda CaO bulunmaktadır. CaO miktarı % 10'un altında olan UK'ler, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu,% 10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu UK olarak adlandırılmaktadır. ASTM C 618'e göre UK'ler, S+A+F toplamı % 70'in üzerinde ise F sınıfı UK, S+A+F toplamı % 50'nin üzerinde ise C sınıfı UK olarak gruplandırılmaktadır. Türkiye'de elde edilen bazı UK'lerin kimyasal kompozisyonları, TS 639 ve ASTM C 618 sınır değerleri ile birlikte Tablo 1.9'da verilmiştir. Afşin-Elbistan UK'ü dışında diğerlerinin genel olarak TS 639'da belirtilen sınır değerlere uygun olduğu, ASTM C 618'e göre ise Afşin-Elbistan UK'ünün C sınıfı, diğer UK'lerin F sınıfı olduğu görülmektedir.

Tablo 1.9 Türkiye' deki bazı UK ' lerin kimyasal kompozisyonları

Bileşim (%)	Afşin - Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	TS 639 sınırları	ASTM C 618 sınırları	
						F	C
SiO_2	27.40	56.80	58.59	49.13	-	-	-
Al_2O_3	12.80	24.10	21.89	15.04	-	-	-
Fe_2O_3	5.50	6.80	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	45.70	87.70	89.79	72.42	>70	>70	>50
CaO	47.00	1.40	4.43	13.20	-	-	-
MgO	2.50	2.40	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na_2O	(N+K) 0.3	(N+K) 3.0	0.24	2.20	-	<1.5	<1.5
K_2O	-	-	1.81	1.76	-	-	-
SO_3	6.20	2.90	0.41	3.84	<5	<5	<5

1.5.6 Uçucu küllerin mineralojik yapıları

UK'lerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir. Düşük kireçli UK'lerin ana aktif bileşeni, silis ve alüminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip UK'ler, rutubetli ortamda sönmüş kireç ($CaOH_2$) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kireçli UK'ler ise, hem puzolanik özellik gösterirler hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum alüminat, amorf silis ve alümina sebebiyle kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip olabilirler. Tipik bir F sınıfı UK'ün SEM'deki görüntüsü Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Resim 1.3 Tipik bir F sınıfı UK 'nin Elektron Mikroskobunda görünümü

Görüldüğü gibi UK tanecikleri, yuvarlak bir şekle sahiptir. Düşük kireçli UK'lerdeki camsı faz miktarı, yüksek kireçli UK'lerden daha fazladır. Düşük kireçli UK'lerde mineral faz olarak; camsı faz, mullit ($Al_6Si_2O_{13}$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_2O_4), kuvartz (SiO_2) vb. var iken yüksek kireçli UK'lerde sayılanlara ek olarak serbest kireç(CaO), anhidrit (CaSO4), trikalsiyum alüminat ($Ca_3Al_2O_6$), plajiyoklaz, gehlenit, feldspat gibi kalsiyum silikatlar bulunmaktadır. Türkiye'deki bazı UK'lerin mineralojik kompozisyonları Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10 Türkiye'deki bazı UK'lerin mineralojik kompozisyonları

Mineral (%)	Uçucu kül					
	Afşin - Elbistan	**Çatalağzı**	**Seyitömer**	**Soma B**	**Tunçbilek**	**Yatağan**
Mullit	1.00	18.10	1.20	4.30	8.80	6.00
Kuvartz	4.50	10.90	5.60	5.10	13.90	22.40
Manyetik	0.80	0.20	2.50	0.60	4.10	2.90
Hematit	4.00	0.10	6.00	2.00	3.00	7.00
Anhidrit	12.20	-	9.30	7.40	-	-
Serbest CaO	18.60	0.70	5.50	9.80	0.90	1.00
Plajiyoklaz	~ 28	-	~ 15	~ 20	-	~ 25
Camsı ve amorf faz	~ 28	~ 28	~ 28	~ 28	~ 28	~ 28

1.5.7 Çimentoda uçucu küllerin kullanımı

İnşaat sektöründe UK'ün yaygın olarak kullanıldığı alanların başında çimento sanayisi gelmektedir. 1980'li yıllardan itibaren Türkiye'de katkılı çimentoların çimento üretimindeki payı, % 90'ların üstüne çıkmıştır.

Uçucu küller çimentoda;

1. Hammadde,
2. Katkı maddesi,
3. İkame malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Uçucu kül, çimentonun ana hammaddeleri olan kil ve kalkere hammadde olarak karıştırılarak klinker üretiminde kullanılmaktadır. UK çimentoda katkı olarak kullanıldığında enerji tasarrufu sağlanmakta ve daha ucuz çimento elde edilmektedir. Yine UK'ün, ikame malzemesi olarak çimentoda kullanılması durumunda da ekonomi sağlanmaktadır. Türkiye'deki UK'ler ile ilgili olarak yapılan deneysel bir çalışmada, Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Orhaneli, Soma ve Tunçbilek UK'lerine ait özgül yüzey değerleri, çimento standartlarında aranan en az 2800 cm^2/g değerinden büyük veya yaklaşık eşit olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, UK'lerin öğütme işlemi yapılmadan doğrudan çimento üretiminde veya üretim

sonrası ikame metodu ile çimentonun bir bölümü yerine kullanılabileceğini göstermektedir.

Öte yandan çimento üretimi sırasında çok büyük miktarda doğal hammadde ve enerji tüketimi yapılmakta ve atmosfere CO_2 gazı çıkmaktadır. Bu da sera etkisi yaparak iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Bu yüzden çimento üretiminde UK kullanılması ile, doğal çevrenin bozulması ve enerji tüketimi azalacağı gibi havadaki CO_2 miktarı da azalacağı için global ısınmanın en aza indirilmesi mümkün görülmektedir. Bu durumda enerji tasarrufu sağlandığından çimento maliyetinin de azalması söz konusudur.

Türkiye'de ve Dünya'da ucucu küllü çimentolar ve bu çimentoların özellikleri ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Türkiye'de 1980 yılına kadar çimento üretiminde kullanılan toplam UK miktarı, yaklaşık olarak 40.000 tondur. İtalya'da elde edilen UK'ün ancak % 1'i çimento üretiminde kullanılırken, Fransa'da 4 milyon ton/yıl dolayında UK elde edilmekte ve bunun % 25'i çimento üretiminde kullanılmaktadır. A.B.D.'de ise üretilen UK'ün yaklaşık % 25'i çimento ve betonda değerlendirilmektedir. Çin'de UK-kireç karışımları, yaklaşık 50 yıldan beri duvar çimentosu olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Öte yandan deneysel bir çalışma ile UK'ün, çimento şerbeti içinde yüksek miktarda ek bağlayıcı madde olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

1.5.8 Agrega olarak uçucu küllerin kullanımı

Uçucu külün agrega olarak beton ve harç içinde kullanıldığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Uçucu küller Türk, Amerikan ve İngiliz standartlarında beton ve duvar elemanları için yapay hafif agrega olarak kabul edilmektedir.

Betonda UK kullanımı;

1. ince agrega,
2. sinterleme sonrası yapay hafif agrega ve

3. UK ile bir miktar portlant çimento ile karıştırılarak elde edilen iri hafif agrega olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır.

Sinterlenmiş UK hafif agregasının geleneksel agrega yerine betonda içi dolu veya boş blok üretimi için kullanılabileceği ve çok katlı binalarda ölü yükü azaltacağı belirtilmektedir.

UK'ün agrega olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar, özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Beton karışımına ince agreganın bir kısmı yerine UK kullanılarak yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiş ve UK'ün ince agreganın bir bölümü yerine kullanılabileceği tespit edilmiştir. UK'den elde edilen hafif agregalarla ilgili literatürde birçok çalışma vardır.

Yapılan bu çalışmalarda, yüksek sıcaklıkta sinterlenerek yapay iri hafif agrega olarak üretilen UK, hafif beton yapımında kullanılmış ve beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Diğer taraftan yüksek oranda UK ile bir miktar PÇ karıştırılarak elde edilen iri hafif agregaların, hafif beton üretiminde kullanıldığı ve taşıyıcı betonlar elde edildiği görülmektedir.

Başka bir çalışmada UK, kil ile birlikte yapay agrega olarak üretilmiş ve betonda, yıkıntı atığı ile birlikte başarıyla kullanılmıştır. Öte yandan UK'ün bir dizi işlem sonrası beton içinde tekrar kullanılan agrega (recycled agrega) olarak kullanıldığı bir araştırmada, doğal agrega kullanılarak üretilen beton ile atık agrega içeren betonda benzer sonuçlar elde edilmiştir. İngiltere'de inşa edilen nükleer bir santral inşaatında 1.300 ton sinterlenmiş UK, hafif agrega olarak beton içinde kullanılmıştır.

1.5.9 Betonda uçucu küllerin kullanımı

UK'ün çimento ile birlikte inşaat sektöründe en çok kullanıldığı diğer bir alan, beton üretimidir. UK, hem normal ve hafif betonda hem de giderek kullanımı yaygınlaşan hazır beton üretiminde gerek katkı gerekse ikame (yerine koyma) malzemesi olarak

kullanılmaktadır. Bundan başka UK, ön üretim ve ön gerilmeli beton elemanların yapımında da kullanılmaktadır. Diğer taraftan UK'ün, betonda su tutucu katkı maddesi olarak da kullanılabileceği önerilmektedir.

Dünyada UK'ün inşaat sektöründe kullanımı ile ilgili çalışmalar, genellikle beton üzerinde yoğunlaşmaktadır. Beton karışımında UK kullanıldığında, betonun hem dayanım hem de dayanıklılığında artışlar elde edilmektedir.

Çayırhan ve Soma-B UK'leri, çimentonun bir kısmı yerine ikame malzemesi olarak normal betonda kullanıldığında basınç dayanımı artışı sağlanmıştır. Betonda yüksek oranda UK ikamesi yapılan deneysel bir çalışmada, basınç dayanımı artarken aşınma dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir. Benzer şekilde hafif betonlarda UK'ün çimento ile ikame edildiği durumda da dayanım artışı elde edilmiştir. Yüksek miktarda C sınıfı UK'ün kullanıldığı bir çalışmada, daha iyi kalitede ve düşük maliyetli beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü eleman olarak yüksek miktarda UK'ün betondaki performansının uzun süreli olarak incelendiği diğer bir çalışma, UK'ün taşıyıcı beton uygulamaları ile sülfat ve klorür etkisine maruz kalan ortamlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Öte yandan yapılan deneysel bir araştırma sonucunda UK'ün polimer beton üretiminde de kullanılabileceği tespit edilmiştir. Beton karışımında hafif iri agrega olarak sinterlenmiş UK'ün kullanıldığı bir çalışmada, betonarme kirişler üretilmiş ve kirişler üzerinde yapılan deneylerde uygun sonuçlar elde edilmiştir. UK'ün olumlu bir etkisi de betonarme çeliği üzerinedir. Beton karışımında UK kullanılması durumunda betonarmede donatı korozyonunun azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir. UK'ün kullanıldığı diğer bir beton çeşidi lifli betondur. Deneysel olarak yapılan araştırmalarda otoklav uygulanmış lifli beton üretiminde ve kendiliğinden yerleşen lifli beton yapımında yüksek oranda UK kullanılabileceği önerilmektedir.

Diğer taraftan UK, betonun hidrasyon ısısını düşürmek maksadıyla Türkiye'de ve Dünyada birçok barajın yapımında da kullanılmıştır. A.B.D.'de 1953 yılında tamamlanan Hungry Horse barajının kütle betonunda 120.000 ton UK kullanıldığı bildirilmektedir. Bundan başka çok sayıda baraj, beton karışımlarına UK katılarak

inşa edilmiştir. İngiltere'de nükleer bir enerji santralı inşaatında kullanılan betonda yaklaşık olarak 100.000 ton UK'ün katkı malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir.

1.5.10 Yapı malzemesi üretiminde uçucu küllerin kullanımı

UK'ler, gaz beton, yalıtım malzemesi, duvar, beton boru, harç, cam gibi yapı malzeme ve elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. UK kireç karışımı, Çin'de 1950'li yıllardan beri blok üretiminde kullanılmaktadır. UK'ler, harç karışımlarında da karışımın bir elemanı olarak kullanılmaktadır. UK'ün duvar yapımında kullanılan hafif yapı malzemesi, yük taşımayan panel ve blok üretiminde kullanılabileceği deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Başka bir çalışmada UK, silis kaynağı olarak gaz beton üretiminde hammaddeye karıştırılarak kullanılmıştır. UK'ün, plastik ve boya üretiminde filler olarak da kullanıldığı görülmektedir. UK, seramik kaplama malzemesi üretiminde kullanılmış ve üretilen seramiklerin eğilme dayanımları, döşeme seramikleri için standartta belirtilen değerin 6 katı olarak bulunmuştur.

Öte yandan UK, cam yapıcı ana oksitlere sahip olması nedeniyle cam-seramik üretiminde de kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, UK'lerin hammadde olarak cam-seramik malzemelerin üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. İki farklı UK'ün % 50 oranında diğer atıklarla birlikte kullanıldığı bir çalışmada, UK'den cam ve cam-seramik üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Düşük maliyetli yapı malzemesi üretiminin amaçlandığı başka bir araştırmada, UK kullanılarak bu malzemenin üretilebileceği ve hem üreticiye hem de tüketiciye büyük oranda tasarruf sağlayacağı belirtilmektedir. Deneysel diğer bir çalışmada ise UK, fenol formaldehit reçinesi içinde dolgu maddesi olarak kullanılarak suya dayanıklı seramik görünümlü yapı malzemesi üretilmiştir.

1.5.11 Uçucu külün betonun sülfürik asit dayanıklılığına etkisi

Uçucu külün betonun asit dayanıklılığı üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılan çalışmada, küp numuneler kullanılmıştır. 28 gün süreyle su içerisinde kür edilen örneklerden bir kısmı ağırlıkça % 5'lik H_2SO_4 çözeltisine konulmuş ve 60 gün süreyle asit çözeltisi içerisinde bekletilmiştir. Diğer kısmı ise, su içerisinde bekletilmeye devam etmiştir. 60 günün sonunda örneklerin basınç dayanımları ve ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül içeriğinin artması, ağırlık kayıplarını azaltırken bağıl basınç dayanımlarını arttırmıştır.

Bağıl basınç dayanımı asit etkisine maruz bırakılan betonların basınç dayanımının, sürekli su içerisinde bekletilen örneklerin basınç dayanımına oranıdır. Tüm karışımlar sülfürik asit etkisine maruz kaldıktan sonra % 34 – 41 arasında basınç dayanımı kaybına uğramışlardır. Uçucu kül oranı arttıkça dayanım kayıplarında bir miktar azalma söz konusudur. Uçucu külün bu yararlı etkisi, puzolanik reaksiyon ile $Ca(OH)_2$'in bağlanması ve bunun neticesinde daha geçirimsiz bir beton üretilmesi ile açıklanabilir.

Betonda yüksek oranda C sınıfı uçucu kül kullanımı erken dayanımları önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak, su/bağlayıcı oranının 0,4, çökme değerinin 80 ± 20 mm olduğu bu çalışmada, çimentonun uçucu kül ile %50 ve % 60 oranında yer değiştirilmesi halinde 28 günlük dayanımların fazla etkilenmediği görülmüştür.

Uçucu külün %70 oranında kullanımı durumunda ise dayanım farkı uzun vade de kapanamamaktadır. Karışım tasarımının değişmesi halinde bu bulguların da değişmesi beklenir. Havada kür yapılan örneklerin basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları ve elastisite modülleri su içerisinde standart kür yapılan numunelere kıyasla önemli oranda düşük çıkmıştır. Dayanım ve elastisite modülleri arasındaki fark uçucu kül oranı arttıkça artmaktadır. Bu durum uçucu kül içeren karışımların kür hassasiyetinin daha fazla olduğunun bir göstergesidir. Uçucu kül kullanımı, betonun sülfürik asit etkisine karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkilemiştir.

1.5.12 Yüksek oranda uçucu kül kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisi

Uçucu kül oranın artışı ile betonun 1 günlük basınç dayanımı büyük oranda azalırken, çimento yerine % 40 uçucu kül ikame edilmiş karışım, bağlayıcı olarak sadece çimento içeren kontrol karışımının dayanım seviyesine 7 günde ulaşmaktadır. 28 günlük dayanımlar incelendiğinde, % 50 ve % 60 ikame oranında bile kontrol karışımı dayanımına oldukça yakın dayanımlar elde edilmiştir. % 70 ikame oranında ise uzun dönemde de olsa kontrol karışımı ile dayanım farkı kapanmamaktadır.

1.6 Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi

Doğal afetlerin en önemlilerinden olan deprem, yerkabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur.

17 Ağustos Marmara ve 12 Kasım Düzce depremleri sonrası can ve mal kaybının üst düzeylere ulaşması nedeniyle deprem korkusu tekrar gündeme gelmiş ve araştırmalar yeniden yoğunlaştırılmıştır. Can ve mal kaybının nedenleri araştırılmış ve yapılan hataların tekrarlanmaması için arayış içerisine girilmiştir. Bir yapının davranışını ve güvenliğini belirleyen yüzlerce parametre vardır. Bunlar; yapının geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri, konumu, taşıyıcı sistemin türü ve yapısal elemanların tümündeki bağlantı detaylarıdır. Meydana gelen depremlerde esas itibariyle mühendislik hizmeti almamış ve ciddi denetim altında imal edilmemiş yapılardaki hasarların yıkıcı mertebelerde meydana gelmiş oldukları görülmüştür. Bu nedenle yapının malzeme ve diğer özellikleri ile birlikte, proje ile başlayan mühendislik hizmetlerini alması gerekmektedir.

Beton; yirminci yüzyılın başlarında Avrupa ve ABD ’ de betonarme ile ilgili ilk yönetmeliklerin hazırlanması ve beton karışım hesapları ile ilgili bağlantıların, ideal agrega granülometri eğrileri ve ilk öngerilmeli beton uygulamaları ile geliştirilmiştir.

Bu çalışmalardan sonra deneysel ve teorik incelemeler artan bir hızla devam etmiştir. Çimento teknolojisindeki gelişmelerle beraber silis dumanı ve uçucu kül gibi puzolanik endüstriyel atıkların ve su/çimento oranının, işlenilebilirlik kaybı olmaksızın % 20 civarına indirgenebilmesini sağlayan etkili akışkanlaştırıcıların beton birleşimine katılması sonucunda, beton dayanımında büyük artışlar sağlanmıştır. Ancak, ülkelerin kullandıkları üretim teknolojilerinin farklılığı ve kalitenin giderek artması, beton tanımının ülkeden ülkeye ve zamanla değişmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda yapılarda kullanılan beton basınç dayanımlarında çok büyük farklar ortaya çıkmaktadır.

Beton, istenilen şekil ve boyutun kolayca verilebildiği bir yapı malzemesi olması nedeniyle, hidrolik bir bağlayıcı olan portlant çimentosunun bulunmasından günümüze kadar yaygın olarak her türlü yapı inşaatında kullanılmaktadır. Yapıların projelendirilmesi ve inşaatında emniyet, ekonomi, estetik ve fonksiyonel olma özellikleri ön planda tutulmalıdır. Bu açıdan betonarme inşaatlarda da daha ekonomik sonuçlar elde edebilmek için yapıların öz ağırlığını önemli ölçüde artmasına neden olan normal betonların oldukça yüksek olan birim ağırlığını düşürebilmek amacıyla farklı beton tipleri araştırılmaktadır. Örneğin betonarme yapı tekniğinin doğuşu, betonun zayıf olduğu kadar güvenilir de olmayan çekme dayanımından dolayı elemanların çekme etkisinde kalacak olan bölgelerine çelik çubuklar konmuş, aderanstan yararlanarak beton ile donatının ortak çalışması sağlanmış ve bu şekilde betonun zayıf olan çekme dayanımı iyileştirilmiştir.

Betonarme yapı sistemlerinde zati ağırlık, taşınılan yararlı ağırlık düzeyindedir. Bu durum, ekonomik olmadığı gibi deprem ve temel problemlerinde teknik sorunlar oluşturmaktadır. Hafif beton üretimi konunun çözümüne bir oranda yardımcı olmakla birlikte yapılarda ısı yalıtımını sağlaması açısından da önem kazanmaktadır.

Taşıyıcı beton olarak kullanılan hafif agregalı betonlar; birim ağırlığı 2000 kg /m^3 ü aşmayan ve 28 günlük standart silindir dayanımı 15–17 N/mm^2 nin üstünde olan betonlardır.

Hafif betonlar genellikle hem birim ağırlıklarına hemde dayanımlarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Bununla beraber, imalat yöntemine ve kullanım yerlerine göre de sınıflandırılırlar.

Kullanım yerlerine göre hafif betonların sınıflandırılması:

1. Hafif yalıtım betonları: Birim ağırlıkları 250–800 kg/m^3, basınç dayanımları 0.7–7 N/mm^2 arasında değişen, ısı yalıtımı amacıyla kullanılan betonlardır. Havalı veya hafif agregalı türlerden olabilir.
2. Orta dayanımlı betonlar: Birim ağırlıkları 800–1400 kg/m^3, basınç dayanımları 7-14 N/mm^2 arasında değişen ve orta derecede ısı yalıtımı sağlayan betonlardır. Dayanım bakımından yeterli olduğu yerlerde ve duvar elemanı yapımında kullanılır. Havalı, hafif agregalı veya kumsuz türden olabilirler.
3. Taşıyıcı hafif betonlar: Birim ağrılıkları 1400–2000 kg/m^3, basınç dayanımları en az 17 N/mm^2 olan betonlardır. Isı iletkenlikleri normal ağırlıklı betonlara göre daha az olup, yapılarda taşıyıcı elemanların üretiminde kullanılır.

Betonların kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişiklikler diğer bütün özeliklerini, özellikle mekanik ve termik özeliklerini etkiler. Kuru birim hacim ağırlığın yükselmesi halinde betonun mekanik dayanımları artarken ısı yalıtkanlık gücü zayıflar. Bu iki özelik arasında en iyi uzlaşmayı sağlayan kuru birim hacim ağırlık en ideal olanıdır.

Salt perlitle üretilen betonların 28 günlük kuru halde basınç dayanımları 0.7–8.6 N/mm^2 arasında değişmektedir.

TÜBİTAK yapı araştırma enstitüsünün yaptığı çalışmada salt perlitin 28 günlük basınç dayanımlarının 0.5 ile 7 N/mm^2 olduğu ve bu değerde geleneksel betonun dayanımlarının 1/10'u kadar olduğu belirtilmektedir.

1.6.1.Hafif betonlarda ısı iletkenlik

Hafif betonun en belirgin özeliklerinden biride kullanıldığı yerlerde diğer geleneksel agrega ile üretilen betonlara nispetle daha iyi ısı yalıtımı sağlamasıdır. Bir malzemenin ısı iletkenliği o malzemenin silikat yapısı ile içindeki boşluklarda bulunan havanın ısı iletkenliklerinin toplamıdır. Hafif agregalarla üretilen betonların özelikleri agreganın mineralojik yapısına, granülometri bileşimine, çimento miktarına ve su çimento oranı gibi birçok faktöre bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile ilişkili olan özeliklerdir. Genel olarak betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru ısı yalıtımı ile ters orantılıdır.

Isı iletkenliği ve özgül ısı beton uygulamalarının çoğunu ilgilendiren özeliklerdir. Isı yalıtımı zaruret arz eden binalar gibi yapılar için düşük bir ısı geçirgenliği arzu edilen bir faktördür. Isıtıcı yerleştirilen tabandan ısıtmalı zeminler ve özel araba yolları gibi yerlerde kullanılan malzemelerden de yüksek ısı iletkenliği istenilir. Yüksek özgül ısı binada ısıyı muhafaza etmek için istenir. Bu nedenle, betonun karışımını istenilen ısı iletkenliği ve özgül sıcaklığa göre tasarlanabilmesi önemlidir.

Betonun nem içeriğinin artması betonun ısı iletkenliğini artırır. Isı iletkenliğinin cüruflu ve sünger taşlı betonlarda 0.17- 0.28W/mK (0.15–0.25 kcal/mh°C) arasında değiştiği yapılan deneyler ile belirlenmiştir.

Hafif betonların ısı iletkenlikleri birim ağırlıklarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinde birim ağırlıkları 960–1648 kg/m^3 arasındaki değişebileceğini ve yalıtım betonu için bu değerlerin 0.07–0.28 W/mK (0.06–0.25 kcal/mh°C) arasında değişmekte olduğunu belirtmektedir.

Perlit betonları ısı yalıtımı yönünde en ideal hafif betonlardır. Birim ağırlığı 800 kg/m^3 'ün altında kalan perlit betonlarında ısı geçirimlik katsayısı 0.27-.38 W/mK (0.24- 0.34 kcal/mh°C) değerlerini almaktadır. Tam kuru betonlarda bu değerin 0.11 W/mK (0.1 kcal/mh°C) kadar düşebileceği öne sürülmektedir. Buna karşılık su içeriği arttıkça ısı yalıtım yeteneği büyük ölçüde azalmaktadır. Su emme miktarında

% 1 oranındaki bir artmanın, ısı iletkenlik değerinde 0.008–0.010 miktarları arasında bir artışa sebep olduğu söylenebilir.

1.6.2 Hafif betonlarda geçirgenlik

Geçirgenlik, betonun durabilitesi ile ilgili çok önemli bir özeliktir. Su ve tahrip edici sıvıların beton içinde kolayca hareket ettiğini ve betonun içine nüfus ettiğini gösterir. Tablo 1.11'de hafif betonların basınç dayanımları gösterilmiştir. Bu durumlara örnek olarak aşağıdaki koşullardan bahsedile bilinilir.

- Sülfat Saldırısı: Sülfat iyonları betonun içine girerek ters reaksiyonların oluşmasına sebebiyet verirler.
- Donma dayanıklığı: Betonun içine suyun girmesi donma sonucu buz oluşmasıyla betonda gerilme meydana getirir.
- Alkali Agrega Reaksiyonu: Agregaya Alkali iyonların ve suyun girmesiyle şişmenin meydana gelmesi olayıdır.
- Ateşe Dayanıklılık: Isınan katmandan buharın kaçışıyla ufalanmaya sebebiyet verir.

Tablo 1.11 Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları

Basınç Dayanım Sınıfı	**En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,sil}$ (N/mm^2)**	**En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp}$ (N/mm^2)**
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

1.7 Tuzlar

Tuz malzemesi kimyada, bir asitle bir bazın tepkimeye girmesi neticesinde meydana gelen madde olarak tanımlanır. Tuz bazdaki artı yüklü iyonla asitteki eksi yüklü iyondan meydana gelir. Asitle baz arasındaki tepkime nötrleşme tepkimesi olup bu esnada tuz ve su ortaya çıkar. Erimiş tuz veya çözelti halindeki tuzların çoğu eksi ile artı yüklü iyonlarına ayrışır ve elektriği iletir. Tuz adı ayrıca sofra tuzu veya sodyum klorür (NaCl) için de kullanılır.

1.7.1 Tuz çeşitleri

Tuzları çeşitli şekilde sınıflandırmak mümkündür. Sınıflandırmanın birisi tuzun bünyesinde OH- veya H+ iyonunun olup olmayışına bağlı olandır. Bu sınıflandırmada tuzlar normal, asidik ve bazik tuzlar olarak üç şekilde sınıflandırılır.

1.7.1.1 Normal tuzlar

Normal tuz; tam nötralleşme ürünü olup, meydana getirici asit ve baz kuvvet olarak birbirine denktir. NaCl, NH_4Cl, Na_2SO_4, Na_2CO_3, Na_3PO_4 ve $Ca_3(PO_4)_2$ birer normal tuzdur.

1.7.1.2 Asidik tuzlar

Asidik tuzlar, tuzun bünyesinde bir veya daha çok proton vardır. Suda çözündükleri zaman bünyelerindeki protonu vererek ortamı asidik yapar. NaH CO_3, NaH_2PO_4, Na_2H PO_4 ve $NaHSO_4$ birer asidik tuzdur.

1.7.1.3 Bazik tuzlar

Bazik tuzlar, bünyelerinde en az bir OH iyonu bulunduran tuzlardır. Suda çözündükleri zaman ortamı bazik yaparlar. Pb(OH)Cl, Sn(OH)Cl ve $Al(OH)_2Cl$'de olduğu gibi. Diğer sınıflandırma metodunda ise basit, çift ve kompleks tuzlar şeklinde sınıflandırılır. NaCl, $NaHCO_3$ ve Pb (OH)Cl gibi tuzlar basit tuzlardır.

1.7.1.4 Çift tuzlar

Çift tuzlar iki basit tuzdan meydana gelen tuzlardır. Bunlar suda çözündükleri zaman kendilerini meydana getiren iyonlara ayrışır. Şaplar da çift tuzlar sınıfına girer.

Na $Al(SO_4)_2$ ve $NH_4Cr(SO_4)_2$ birer çift tuzdur. Kompleks tuzlar, asit kökü aynı olan iki basit tuzun kompleks kök vererek meydana getirdiği tuzlardır.

$K_4Fe(CN)_6$, $K_3Fe(CN)_6$, birer kompleks tuzdur. Bunlar suda çözündükleri zaman kendini meydana getiren tuzların iyonlarına ayrışmazlar.

Tuzlar, önce metalin ismi, sonra asidin kökü söylenerek adlandırılır.

Na_2SO_4 = sodyum sülfat, KCl= potasyum klorür, $KHCO_3$ = potasyum hidrojen karbonat (potasyum bikarbonat) gibi.

Bazı tuzlar, kuvvetli asit ve zayıf bazdan veya kuvvetli baz ve zayıf asitten meydana gelmiştir. Bu tuzlar suda çözündükleri zaman hidrolize uğrarlar ve çözeltiyi asidik veya bazik yaparlar.

1.7.2 Tuzların elde edilişi

Asit ve bazların nötralleşmesinden elde edilirler:

Baz + Asit → Tuz + Su

Metallere asit tesir ettirmekle elde edilirler:

Metal + Asit → Tuz + H2

Elementlerinden elde edilebilirler:

Metal + Halojen → Tuz

1.8 Asitler

Asitler kimyada önemli bir bileşik sınıfını oluştururlar. Asit latince *asidus* kelimesinden gelmektedir. Günlük gıda maddelerinin birçoğunda asit vardır. Canlı organizmaların hayatsal faaliyetlerinde asitlerin önemi büyüktür. Mide özsuyu besinlerin sindirimi için % 0,4 oranında hidroklorik asit içerir. Proteinlerin oluşumunda amino grup asitlerin önemi tartışılmaz bir gerçektir. Genel olarak asitler; inorganik ve organik asitler olarak iki gruba ayrılırlar. Yapısında karbon elementi bulunmayan asitlere inorganik asitler, karbon elementi kullanılarak oluşturulan asitlere ise organik asitler denir.

1.8.1 Asitlerin genel özellikleri

Asitlerin tadları ekşidir. Örnek olarak; sirkedeki asetik asit, elmadaki malik asit, limondaki sitrik asit ve askorbik asit (C Vitamini), yoğurt suyundaki laktik asit, meşrubat ve kolalardaki karbonik asit sayılabilir. Ancak her asitin tadına bakamayız. Çünkü asitlerden bazıları parçalayıcı, bazıları da zehirlidir. Asitler yakıcı özelliğe

sahiptir. Asitlerin bu özelliği her asitte aynı şekilde olmaz. H_2SO_4 ise hücre suyunu çekerek yakma etkisi gösterir. Asit suda çözüldüğünde ne kadar fazla iyon oluşuyorsa, iletkenlik o kadar fazla olur. Kuvvetli asitlerde iletkenlik fazla zayıf asitlerde ise azdır. Asitler mavi turnusol kâğıdını kırmızıya çevirir. Turnusol kağıtları indikatör boyası emdirilmiş kağıtlardır. İndikatör boyaları ise ortamın asidik veya bazik olmasına göre renk değiştiren maddelerdir. Örneğin bir indikatör olan metil oranj asitler kırmızı renge döner. Asitlerin genel olarak yapılarında proton bulunur. Ancak yapılarında hidrojen bulunan tüm maddeler asit değildir.

1.8.2 Asit Yağmurları

Çeşitli endüstriyel faaliyetler, konutlarda ısınma amaçlı olarak kullanılan yakıtlar, fosil yakıtlara dayalı olarak enerji üreten termik santraller ile egzoz gazları havayı kirletmekte ve kükürtdioksit (SO_2), azotoksit (NO), hidrokarbon ve partikül madde yaymaktadırlar. Havada 2–7 gün asılı kalabilen bu kirleticiler, su partikülleri ile tepkimeye girerek asit meydana getirmekte ve yağmurlarla birleşerek yeryüzüne asit yağmurları olarak inmektedir.

Asit yağmurlarının zararları:

- Asit yağmurları göl ve akarsularda asit dengesini bozarak, tüm canlıları etkilemekte, hatta bazı türlerin ölümüne yol açmaktadır,
- En büyük etki ormanlar üzerinde görülmektedir. Asidik yağışlar, ağaçların yapraklarındaki büyüme ve gelişmeyi engellemektedir,
- Yeryüzüne inen asit yağmurları, suya ve toprağa geçerek yapılarını değiştirmekte, bunun sonucunda toprak ve suyla ilişkide olan canlılar zarar görmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Erdoğan (1997), yapmış olduğu çalışmasında Nevşehir, Ürgüp, Derinkuyu arasındaki bölgede süngertaşı oluşumlarını incelemiştir. Anadolu'yu etkileyen üst miyosen volkanizmasının pleyistosen evresindeki son ürününü oluşturan süngertaşları, değişen oran ve boyutlarda epiklast içermektedir. Oluşum, kuvaterner öncesinin paleotopoğrafyasına bağlı olarak düzlüklerde kalın (11 m), eğimli yamaçlarda ise aşınma nedeniyle ince (0,5–2 m) dir. Süngertaşı örtüsü bölgenin bir tek tarım alanlarını oluşturmakta ve içinde ara düzeyler şeklinde yatay konumlu volkan külleri bulunmaktadır. Türkiye'nin önemli süngertaşı varlıklarından birini oluşturan bu yataklar halen işletilmekte ve hazır yapı elemanı üretiminde değerlendirilmektedir.

Ayrıca bölgeden, başta tekstil olmak üzere diğer endüstriyel gereksinimler için yurt içi ve yurt dışına boyutlandırılmış süngertaşı yollanmaktadır. Çalışmada, bölgede gerçekleştirilen jeolojik araştırmaların sonuçlarına ve süngertaşı örnekleri üzerinde laboratuarda yapılan deneysel incelemelere yer verilmiştir. Bu bölgeden alınan süngertaşı numunelerine tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre süngertaşlarının tek eksenli basınç direnç değeri 28 kg/cm^2 ile 46 kg/cm^2 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Demirboğa ve Gül (2001) genleşmiş perlitli agrega (EPA) ve pomza taşı agregasından üretilmiş beton karışımlarının basınç mukavemetlerini incelemişlerdir. Silis dumanı, (SD) ve C sınıf uçucu kül, (UK) hafif agregalı betonda, (LWAC) mukavemetin ölçülmesi için kullanılmıştır. SD ve UK gibi malzemeler çimentonun ağırlık oranının % 10, 20 ve 30 olacak şekilde çimento yerine kullanılarak azaltılmıştır. Bu çalışmada bağlayıcı olarak 200 kg/m^3 dozaj kullanılmıştır. Portlant çimentonun (PC) ağırlığının % 1.5 oranında süper plastikleştirici katkı malzemesi W/C oranını azaltmak için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar şunu göstermektedir:

1. (EPA) genleşmiş perlit agregasının artması ile her grubun birim ağırlığı 1154 kg/m^3 den 735 kg/m^3 düşmüştür. SD ve UK numunelerin birim ağırlığını düşürmüştür.
2. Basınç mukavemetleri 7 günlük iken % 52 ,% 85, % 55 oranında ve 28 günlük dayanımları % 80, % 84, % 108 oranında EPA (PA malzemesi yerine kullanılır ise) kullanılan karışımlarda sırası ile artmıştır. UK malzemesi 7 ve 28 günlük basınç mukavemetlerini her grubun portlant çimentosu (PC) malzemesi yerine eklenen UK yüzdesi oranında düşürmüştür. SD malzemesi 7 günlük mukavemetleri EPA oranını karışımda arttırarak düşürmüştür. Kürleme dönemi arttıkça, SF ve UK kullanımından düşen basınç mukavemetleri hızlı bir şekilde artmıştır.

Demirboğa ve Gül (2002) genleşmiş perlit ve pomza agregası (PA) kullanılan beton karışımlarının ısı geçirgenlik katsayısını ölçmüşlerdir. Hafif agregalı betonun ısı geçirgenlik katsayısına silis dumanının (SD) ve C sınıfı uçucu külün (UK) etkilerini araştırmak için deneyler yapılmıştır. SD ve UK gibi malzemeleri çimento yerine ağırlık olarak % 10 ,% 20,% 30 oranında kullanmışlardır. En yüksek 0,3178 W /mK ısı geçirgenlik oranı PA ve normal çimento içeren karışımlarda elde edilmiştir. Isı geçirgenlik katsayısı SF ve UK gibi malzemelerin çimento yerine kullanılması yani kullanma oranın artması ile azalmıştır. En düşük ısı geçirgenlik katsayısı 0,1472 W / mK olarak genleşmiş perlit agregalarının (EPA) % 70 oranında pomza taşı yerine ve çimento yerine de % 30 oranında UK kullanıldığında elde edilmiştir. SA ve UK gibi malzemelerin her ikisi de ısı geçirgenliğinde azalma sağlamıştır. Pomza taşı agregası yerine genleşmiş perlit agregasının kullanılması da betonun ısı geçirimliliğini % 43,5 oranında azalması sağlamıştır.

Zhutovsky ve ark. (2003) yüksek performanslı betonun (HPC) en önemli problemlerinden biri olan kendi kendine kurumasıdır ki bunu önlemek için yeni bir yaklaşım araştırılması yapmışlardır. Bu araştırmada önceden ıslatılmış hafif agregaların beton karışımı içinde birleştirilmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu agregalar çimento karışımı için nem oranının azalmasını önlemek için su deposu gibi çalışırlar. Bu metoda su bazlı veya içten muhafaza adı verilir. Son araştırmalar HPC betonda

hassas çatlakların azalması ile ilgili bu yöntemlerin kullanılması sonucunun başarılı neticelerin elde edildiğini göstermektedir. Ancak su bazlı büzülmeyi önleyecek gerekli hafif agrega içeriği oranı fazla olduğu için karışımın basınç dayanımı düşmekte olup beton maliyeti artmaktadır. Sonuç olarak içten muhafaza yöntemi kullanılarak optimum sonuçlar elde edilmesini sağlayacak oranda hafif agrega kullanma olasılığı bu araştırmada yapılmıştır.

Kılınç ve ark. (2003) bu çalışmada yüksek mukavemetli hafif beton elde etmeyi amaçlamışlardır. Karışımlarda (Katkı malzemeli veya katkısız olarak) bazik pomza taşı hafif agrega olarak kullanılmıştır. Kontrol amaçlı hazırlanan hafif beton karışımı hafif bazik pomza taşı ile birleştirici olarak da normal Portlant çimentosundan hazırlanmıştır. Kontrol amaçlı hazırlanan hafif betonda çimento yerine %20 oranında uçucu kül kullanılmıştır. Ayrıca çimento yerine de %10 oranında silis dumanı kullanılmıştır. Üç farklı dozajdaki hafif beton karışımını kontrol etmek için %20 uçucu kül ve %10 oranında silis dumanı çimento yerine kullanılmıştır. İki adet normal ağırlıklı beton (NWC) kıyaslamak için hazırlanmıştır. Uçucu kül ve silis dumanı ekonomik ve çevresel açıdan kullanılmıştır. Basınç ve eğilmede çekme mukavemetini ölçmek için 150 mm çaplı 300 mm yüksekliğinde silindirik numuneler ve 100*100*500 mm boyutlarında kiriş numuneler hazırlanmıştır. Beton numuneler 20 °C sıcaklık da % 65 nem ortamında muhafaza edilmiştir. Yoğunluk ve çökme durumları taze haldeyken incelenmiştir. Laboratuar test sonuçları olarak cüruf kullanılarak yapısal hafif betonun üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Bunun yanında yüksek mukavemetli hafif beton yapmak için katkı malzemeleri kullanmak zorunludur. Üçlü karışım mukavemet bakımından oluşturduğu gelişim ve çevre dostu olması bakımından tavsiye edilmektedir.

Gündüz ve Uğur (2004) hafif beton üreterek yapılardaki ağırlık ve durabilite sorunlarını çözmeye çalışmışlardır. İnşaat uygulamalarında yüksek mukavemetli hafif beton üretimi için pomza taşı agregası kullanmışlardır. Deneysel sonuçlara göre pomza taşlı hafif betonun normal betonla kıyaslanabilir oranda mukavemete sahip olduğudur, ancak % 30 – 40 oranında hafiftir. Hafif betonun daha düşük yoğunluk değerine sahip olmasından dolayı yapının ölü yüklerini azaltacağından dolayı yapı

tasarımında esneklik ve daha düşük maliyetleri sağlayacağı görülmüştür. Betonun basınç mukavemeti, elastisite modülü ve yoğunluğu gibi betonun mekanik özellikleri değer olarak ve kalite olarak daha az A/C oranlarında (yüksek çimento içerikli) arttığı gözlemlenmiştir. Su ve karbon emme oranı gibi özellikleri ise değer ve kalite olarak daha az A/C oranlarında azaldığı gözlemlenmiştir. Her koşulda A/C oranını azalttığımızda kalite artmıştır. Bu araştırmalar sonucu herhangi bir katkı malzemesi kullanmadan ince ve kalın taneli pomza taşı agregası kullanarak yapısal hafif beton üretimi sağlanabileceği gösterilmiştir.

Khander ve Hossain (2004) yapmış oldukları çalışmalarında, volkanik külün (VA) ve pomza taşı tozunun (VP) çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilme uygunluğunu araştırmışlardır. Kullanılacak VA ve VP'nın İtalyan standartlarına göre volkanik harç etkinlikleri test edilmiş ve sonuç olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmüştür. Portland çimentonsun mukavemet indeksi VA ve VP katkı malzemelerinin alkali–silika reaksiyonuna ve otoklav genleşme durumuna katkıları ASTM standartlarında kontrol edilmiştir. Harç küpleri özellikle ASTM standartlarına uygun şekilde hazırlanmıştır. Bu çalışmada farklı çimento yerine farklı oranlarda VA ve VP (% 0–40) kullanılarak farklı oranlarda karışımlar elde edilmiştir. Daha sonra ASTM standartlarının gerekliliklerine göre VA ve VP nin çimento katkı malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Bu çalışmada, VA veya VP nin % 20 oranında ancak çimento katkısı olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Sarı ve Pasamehmetoğlu (2004) hafif beton kullanımının, normal betona göre avantajları üzerine çalışmışlardır. Birçok araştırmacı hafif betonun mukavemeti, yoğunluğu ve diğer mekanik ve fiziksel özelliklerini keşfettiler. İstenilen kalitede hafif beton elde etmek için uygun katkı malzemelerinin ve uygun hafif agrega sınıflarının (çap olarak) kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada, orta mukavemette hafif beton üretiminin pomza taşı kullanılarak üretilmesi ACI standartlarına uygun olacak şekilde araştırılmıştır. Agrega granülometri eğrisi (A16–C16 arasına düşen, TS 706) performansı mukavemet ve yoğunluk bakımından incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucu, 1300 kg/m^3 yoğunlukta hafif beton blokların minimum basınç dayanımı 6,56 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Khander ve Hossain (2004) bu araştırmalarında, düz volkanik kül (VA) ve volkanik pomza taşı tozu (VP) katkılı beton karışımlarının korozyona karşı dayanımlarını tespit etmeye çalışmışlardır. VA ve VP katkıları % 0–20 çimento yerine kullanılarak yapılan değişik karışımlar X ışınları dağılma analizi (XRD) ,elektrokimyasal ve elektromekanik ölçümler ve fiziksel testler betonların içine yerleştirilmiş çelik çubukların korozyona karşı davranışlarını incelemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, VA ve VP malzemelerin çelik çubukların korozyon oluşumunu engellediği yönündedir. Donatılarda korozyonu önleyici olmasındaki en önemli faktör VA ve VP malzemelerin volkanik harç reaksiyonunda çimento–hamur ilişkisinde yoğunluğunun artmasıdır.

Yazıcı (2004) yapmış olduğu bu çalışmasında, yüksek oranda C sınıfı uçucu kül içeren beton karışımlarının bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri incelemiştir. Su içerisinde kür ve havada kür olmak üzere iki farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Çimento yerine % 40, % 50, % 60 ve % 70'e kadar uçucu kül ikame edilerek hazırlanan; beton numunelerinin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü, sülfürik asit etkisine karşı dayanıklılığı, harç çubuğu örneklerinin hacim sabitliği ve bağlayıcı hamurların priz süreleri ölçülmüştür. Sonuçlar bağlayıcı olarak sadece Portlant çimentosu içeren kontrol betonu ile kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Ülkemizde açığa çıkan uçucu küllerin büyük bölümü yüksek kireç içeriklidir ve uçucu kül özellikleri santralden santrale, hatta aynı santralde zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Son yıllarda İzmir yöresindeki birçok çimento fabrikası ve hazır beton tesisi Soma Termik Santraline ait uçucu külü kullanmaktadır. Buna karşılık betonda yüksek oranda uçucu kül kullanımı, silindirle sıkıştırılmış bazı beton uygulamaları dışında ülkemiz açısından nispeten yeni bir konudur. Bu konuda yurtdışında geniş araştırmalar yapıldığı göze çarpmaktadır. Ancak, söz konusu çalışmaların hemen hepsinde F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül puzolanik özelliği olan ve betonun birçok özelliğini olumlu etkileyen değerli bir beton katkısıdır. Genellikle F sınıfı uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidrasyon ısısını azaltarak sıcak havalarda kütle betonu dökümüne imkân tanımakta, puzolanik

reaksiyon sayesinde betonun uzun dönemli mukavemetine katkıda bulunmakta, betonun geçirimliliğini azaltmakta ve betonun iç ve dış kaynaklı yıpratıcı etkilere dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu yararlı özellikleri uçucu külün beton üretiminde yaygın olarak kullanımına ve araştırmaların bu konu üzerinde yoğunlaşmasına yol açmıştır (Malhotra and Mehta, 2002). Buna karşılık,uçucu kül betonun erken dayanımını düşürebilmekte ve özellikle yüksek kireç içerikli (C sınıfı) uçucu külün betonda yüksek oranda kullanımı ise betonun hacim sabitliğinin bozulmasına yol açabilmektedir

Baradan ve ark. (2002) çalışmalarında, çimentonun uçucu kül ile yüksek oranlarda (% 40, 50, 60, 70) yer değiştirilmesinin betonun mekanik ve durabilite özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü tayini için 100/200 mm'lik silindir beton örnekler kullanılmıştır. Ayrıca, kür koşullarının etkisini araştırmak amacıyla, iki tür kür koşulu seçilmiştir; laboratuar ortamında havada kür ve 23±2 °C su içerisinde kür işlemi yapılmıştır. Uçucu kül kullanımının, betonun sülfürik asit saldırısına karşı kalıcılığına etkisinin belirlenmesi amacıyla, beton karışımlarından alınan 71 mm ayrıtlı küp örnekler 28 günlük standart kür periyodundan sonra % 5 sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılmış, örneklerin basınç dayanımı ve ağırlık kayıpları suda kür edilen kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, aynı oranlarda çimento ile yer değiştirme yapılan uçucu küllü harç örnekleri (25 x25 x 285 mm) hazırlanarak hacimsel kararlılıkları periyodik boy değişimi ölçümleriyle tespit edilmiştir. Uçucu kül içeren bağlayıcı hamurlar üzerinde ise priz deneyleri yapılarak, uçucu külün ve süperakışkanlaştırıcı katkının priz süresi üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Binici ve Görür (2005) çalışmalarında deniz suyu etkisinin yarattığı aşınmaya dayanıklı beton üretiminde bazaltik pomza ve yüksek fırın cürufunun kullanılmasını amaçlamışlardır. Bazaltik pomza ve yüksek fırın cürüfu ile ince agrega % 40, 60 ve 80 oranlarda yer değiştirilerek beton üretilmiştir. Üretilen beton numunelerinin, aşınma, geçirgenlik ve deniz suyuna karşı dayanımları belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan, pomza ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların durabilitesinin kontrol numunesinden yüksek olduğu görülmüştür. Kontrol örneğinin geçirgenlik değeri bütün numunelerden büyük bulunmuştur. % 40 pomza ve % 40 yüksek fırın cüruf katkıllı numunenin geçirgenlik değeri yüksek bulunurken basınç dayanımı az bulunmuştur. Genellikle katkı oranı arttıkça geçirgenlik değerleri de azalmaktadır. Eşit katkılı numunelerin geçirgenlik değerleri diğer numunelerin geçirgenlik değerlerinden azdır. Bu sonuçlar, pomza ve yüksek fırın cürufunun eşit oranda katılarak az geçirimli beton üretilebileceğini göstermektedir. Araştırmada, Osmaniye Tüysüz bazaltik pomzası (TP), İskenderun Demir Çelik Fabrikası Cürufu (YFC) ile Adana çimento fabrikasından sağlanan TS EN 197-1 sınıfına göre KPÇ 32,5 ve tane boyutu 4.75 mm olan ince agrega kullanılmıştır. TP ve YFC, betonda ince agrega hacminin yüzde 20, 40 ve 60 oranında kullanılmıştır. Karışımlara su katılarak yapılan harçlar metal kalıplara dökülerek numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları ve farklı boyutlarda üretilen numunelerin deniz suyu ortamında yüksek basınçlı su kavitasyonu ve ağırlık kaybı belirlenmiştir. Sonuç olarak yapılan araştırmadan, TP ve YFC maddelerinin eşit miktarda katılarak üretilen numunelerin ağırlık kaybı değerlerinin kontrol örneğinden % 61 daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Bu yüzden aşınmanın önemli olduğu yerlerde kullanılacak beton üretiminde pomza ve yüksek fırın cürufu kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür. Pomza ve yüksek fırın cürufunun birlikte kullanılarak üretilen numunelerin geçirgenlik katsayıları en düşük bulunmuştur. Bunun nedeni boşluksuz beton yapısı ile açıklanmıştır. Bu sonuçlar geçirimsiz beton üretimi için, pomza ve yüksek fırın cürufunun birlikte kullanılmasının iyi sonuçlar vereceğini göstermiştir.

Ceylan ve Saraç (2005) bu çalışmada, Kayseri İli Talas yöresinden elde edilen pomzanın hafif agrega olarak kullanımıyla üretilen hafif betonun tek eksenli basınç dayanım değerlerini irdelemişlerdir. Bu amaçla, Kayseri–Talas yöresine ait pomza örneklerinden değişik granülometrik bileşimlerde karışımlar hazırlanarak üç ayrı çimento oranında dökümler yapılmıştır. Kayseri–Talas pomzasından oluşan sekiz ayrı karışım grubu belirlenmiş olup her karışım grubu % 6, % 8 ve % 10 olmak üzere

üç ayrı çimento oranında dökülmüş ve toplam olarak 24 farklı hafif beton serisi oluşturulmuştur. Her seriye ait kuru birim hacim ağırlık, su emme oranı değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, her serinin 28 günlük tek eksenli basınç dayanım değerleri ölçülerek en yüksek dayanımın elde edildiği karışım grupları belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen bulgulara göre, çimento oranı–dayanım, kuru birim hacim ağırlık–dayanım ve su emme oranı–dayanım ilişkisi irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çimento oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığı ve tek eksenli basınç dayanım değerleri artmakta, su emme oranları ise azalmaktadır.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2005) yapmış oldukları bu çalışmalarında, mineral katkı olarak silis dumanı (SD) ve agrega olarak pomza taşı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik (USG) deneyleri 3, 7, 14 ve 28 günlük numunelere uygulanmıştır. USG ve basınç mukavemeti deneyleri için 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numuneler, yarmada çekme dayanımı deneyi için de 150/300 mm ölçülerindeki silindirik numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında ince agrega olarak nehir kumu, kaba agrega olarak ise pomza taşı kullanılmıştır. SD ağırlıkça CEM I 42,5 R çimentosu ile % 10 oranında yer değiştirilmiştir. Çalışmadan elde ediken sonuçlara göre silis dumanı katkılı beton (SDB) numunelerin her yaşta kontrol betonuna (KB) göre daha iyi dayanım özellikleri sergilediği görülmüştür. Katkısız olarak hazırlanan beton numuneler (KB) ilk yaşlarda SDB numuneleri ile benzer özellikler sergilerken özellikle 7 günlük kür süresinden sonra SDB numunelerinde belirli bir dayanım artışı gözlenmiştir. Bir özel beton türü olan taşıyıcı hafif beton, yıllardır yapısal amaçlar için kullanılmaktadır. Taşıyıcı hafif betonlar özellikle bir yapının ölü yükünün ve kullanılacak betonarme yapı elemanlarının alanlarının küçültülmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte özellikle yüksek yapıların kullanım alanlarının ve açıklıklarının arttırılmasında etkin rol oynar

Taşıyıcı hafif beton üretiminin bilinen en yaygın metodu boşluklu hafif agrega kullanmaktır. Beton niteliği üzerinde agrega özelliklerinin etkisi bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Giaccio ve ark.(1992), Baalbaki ve ark (1991), Nilsen ve

ark.(1995), beton basınç dayanımını esas olarak agrega hacminin ve özelliklerinin etkilediği ortaya koyulmuştur.

Ünal ve ark. (2005) bu çalışmada, hafif blok eleman üretiminde önemli bir kullanım sahasına sahip olan pomzanın diyatomit hafif agregası ile birlikte kullanılmasıyla üretilen hafif blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Blok elemanların üretiminde 8-16 mm boyutundaki iri pomza ile 4-8 mm orta ve 0-8 mm boyutundaki diyatomit agregası kullanılmıştır. Karışımlar 275 kg/m^3 çimento dozajında ve 0,15 su/çimento oranında olmak üzere 4 farklı seri halinde 100x100x100 mm boyutlarında üretilmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde 7, 28 ve 56. günlerde basınç dayanımı, görünen porozite ve birim hacim ağırlık parametreleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda iri boyuttaki pomzanın diyatomit agregasının yerine kullanılmasıyla tamamen diyatomitle üretilen blok elemanlara göre daha yüksek dayanıma ve birim hacim ağırlığa sahip oldukları ve düşük porozite ve su emme değerine sahip oldukları görülmüştür.

Sancak ve Şimşek (2005) doğal bir hafif agrega olan bims agregasının, Türkiye'de geniş rezervleri bulunması sebebi ile; betonarme binalarda kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile bims agregası kullanılarak üretilen taşıyıcı hafif betonları (HB) ve normal yoğun agrega ile üretilen normal betonları (NB) karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

1. Betonların, içerisindeki donatıyı korozyona karşı koruma etkinliği,
2. Donatı–beton kenetlenme özellikleri ve
3. Yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı, geniş bir araştırmanın bir kısım sonuçları sunulmaktadır.

Bu amaçla, 12 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Silis dumanı (SD), mineral katkı olarak % 0, % 5 ve % 10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı ise betona, çimento ağırlığının % 2'si oranında katılmıştır. Sonuç olarak; HB'ların birim ağırlıkları, NB'lara göre % 23

daha düşüktür. HB'ların, basınç dayanımlarının, SD veya SA katkıya bağlı olarak, NB'lara göre % 48 ile % 65 arasında değiştiği görülmüştür.

Düzgün ve ark. (2005) pomza taşı kullanılan betonda çelik fiberin oluşturduğu mekanik özellikleri, çelik fiberin oranına göre betonda oluşacak değişimleri araştırmışlardır. Normal agrega oranına göre hacimsel olarak % 25, % 50 , % 75 ve % 100 pomza taşı ve numunelere göre hacimsel olarak % 0,5 , % 1,0 ve % 1,5 çelik fiber ayrıca 300 kg/m ^{3} çimento dozajında 3 ± 0,5 cm (Slump) çökme oranına sahip numuneler kullanılmıştır. Bu araştırmada pomza taşı oranının artması ile birim ağırlık ve betonun mekanik özelliklerinde azalmaların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Çelik fiber ihtiva etmeyen örnek numune ile diğer numuneler kıyaslandığı zaman karışımlardaki birim ağırlık oranlarına göre çelik fiberin artması betonun basınç, çekme ve burulma mukavemetini % 8,5 , % 21,1 ,% 61,2 ve % 120,2 oranında sırasıyla arttırmaktadır. Betonun Elastisite Modülü ve deformasyon özelliği pomza taşı agregası ve fiber oranının karışımda artması sonucu azalmaktadır. Fiber oranının karışım içinde % 1,5 dan fazla olmaması vurgulanmıştır. Her modda oluşan yüklerden dolayı yapının sünekliğini arttırmak için fiberlerin kullanılabileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak yapıda ses, ısı yalıtımı ve ışık geçirmezlik gibi koşullar mukavemet bakımından da bir problem oluşturmayacak şekilde istenir ise hafif agregalı çelik fiber kullanımı uygun olacağı, bunun yanında ölü yüklerin azaltılması ve daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilici ve Aksoğan (2005) portlant çimentosu ile harmanlanmış çimentonun sülfata karşı dayanımını incelemişlerdir. Karışımlı çimentoda yüksek hacimde ezilmiş yüksek fırın cürufu (GGBS) ve doğal pozzolan (NP) kullanılmıştır.Örnekler çeşme suyunda bulunan % 5 magnezyum sülfat solüsyonu ve % 5 sülfat (sodyum sülfat) solüsyonuna maruz kalmıştır. İki tip ezme işlemi (ayrı ezme, içinde ezme) ve iki farklı incelikte (250 m^2/kg ve 500 m^2/kg) ve üç farklı orandaki (% 10, % 20 ve % 30) karışım ağırlığında her iki farklı katkı malzemesi (GGBS ve NP) aynı oranda olacak şekilde işlemlerde kullanılmıştır.

Standart RILEM örnek boyutları (40x40x160 mm) deneylerde kullanılmıştır. Bu çalışmada harmanlanmış çimentonun normal çimentoya oranla hem sodyum sülfata hem de magnezyum sülfata karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Daha ince malzeme ile yapılan karışımların magnezyum sülfata maruz kalmasından sonra oluşan mukavemet azalması sodyum sülfata maruz kalması durumumdan çok az bir oranda düşüktür. Bunun yanında, harçlar ile ezme metodunun üzerinde sülfatın etkisi ile ilgili bir bağlantı bulunmamaktadır.

3.MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, ülkemizde bol miktarda bulunan pomza ve uçucu kül kullanarak hafif beton üretmek ve bu kaynakların ekonomiye katılması amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı dozajlarda pomza, uçucu kül, agrega ve çimento kullanılarak hafif beton numuneler üretilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada ele alınan parametreler;

- Beton dayanımı ve karışım oranları: 350 ve 450 dozlu olmak üzere iki farklı dayanım ve karışım oranı öngörülmektedir.
- Agresif şartlar: %3 NaCl içerikli tuzlu su ve pH değeri 3–6 arasında olan asidik ortam olmak üzere iki farklı agresif şart öngörülmektedir.
- Zaman: beton numunelerin yaşı olarak 7, 28 ve 90 günlük üç farklı süre (yaş) öngörülmektedir.

Yukarıda bahsedilen parametrelere uygun olarak üretilen standart silindir, küp ve kiriş numuneler bahsedilen süreler sonunda laboratuar ortamında mekanik ve fiziksel deneylere tabii tutulmuştur. Numuneler birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme gibi fiziksel deneylere ilave olarak, basınç ve eğilme deneylerine tabii tutularak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Değişik agresif şartların ve zamanın betonun mekanik özelliklerinde meydana getirdiği etki araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen deneysel sonuçlar istatistiksel değerlendirme yöntemleri yardımıyla sonuç bölümünde yorumlanmıştır.

3.1 Deney Numunelerinin Özellikleri

Pomza ve uçucu kül kullanılarak üretilen iki faklı dozajdaki deney numunelerinin özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deney numunelerinin özellikleri

Dozaj	Ortam Özelliği	Numune Yaşı (Gün)	Numune Şekli ve Adedi		
			15x15x15 cm Küp	15/30 cm Silindir	10x10x50 cm Kiriş
350 Dozlu Karışım	Normal Su	7	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		28	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		90	2 Adet	2 Adet	1 Adet
	Tuzlu Su	7	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		28	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		90	2 Adet	2 Adet	1 Adet
	Asidik Ortam	7	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		28	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		90	2 Adet	2 Adet	1 Adet
450 Dozlu Karışım	Normal Su	7	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		28	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		90	2 Adet	2 Adet	1 Adet
	Tuzlu Su	7	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		28	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		90	2 Adet	2 Adet	1 Adet
	Asidik Ortam	7	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		28	2 Adet	2 Adet	1 Adet
		90	2 Adet	2 Adet	1 Adet
TOPLAM			**36 Adet**	**36 Adet**	**18 Adet**

Agrega ve üretilen hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinin tayini deneyleri Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında yapılmıştır.

3.2 Materyal

Bu bölümde, çalışmada kullanılan pomza, kırma taş, karma suyu, C sınıfı uçucu kül, SDÇ 32,5 sülfata dayanıklı çimentoya ait bilgilere yer verilmiştir.

3.2.1 Hafif agreganın özellikleri ve deney sonuçları

Bu çalışmada kullanılan Nevşehir Bims agregası, Nevşehir ili bölgesinden temin edilmektedir. Bu malzeme Konya bölgesinde genellikle briket yapımında kullanılmaktadır. Briket yapımında kullanılan bims malzemesinin granülometresi üreticiler için çok fazla önem arz etmemektedir. Ancak hafif beton imalatında kullanılacak agregaların çapları önemli olduğundan dolayı, bims malzemeleri laboratuar ortamında elenmiştir

Numunelerinin üretilmesinde kullanılan 0–4 mm aralığındaki kırma taş malzeme Konya bölgesinden temin edilmiştir. 4–16 mm aralağındaki pomza agrega malzemesi Termobims Isı Yalıtımlı Hafif Yapı Elemanları ve Madencilik İnşaat ve Tic. A.Ş agrega deposundan temin edilmiştir. 0–8 mm aralığındaki pomza agrega malzemesi Tekcanlar Otomotiv, Mühendislik, Tekstil, İnşaat, Nakliye Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti. agrega deposundan temin edilmiştir

Deneylerde kullanılan pomza agregaların kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. (Bu değerler malzemenin temin edildiği firmalardan alınmıştır.)

Tablo 3.2 Pomza agregası kimyasal özellikleri

Bileşim	**Oranı (%)**
SiO_2	71.30
Al_2O_3	12.90
TiO_2	0.00
Fe_2O_3	1.40
FeO	0.90
MnO	0.10
CaO	1.60
MgO	0.50
Na_2O	3.40
K_2O	3.45
P_2O_5	0.00
CO_2	0.00
SO_3	0.10
H_2O	4.30

Hafif beton üretiminde kullanılan agregaların çeşitli özellikleri; TS 3529'a göre ince ve iri agreganın sıkışık ile gevşek birim ağırlıklarının tayini deneyleriyle, TS EN 1097-6'ya göre iri ve ince agreganın özgül ağırlıklarının ve su emme oranlarının tespit edilmesi için gerek olan deneyler ile, TS 130 a göre de granülometri deneyleri ile belirlenmiştir.

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan agregaların ilgili yönetmeliklere uygun olarak gerçekleştirilen deneyleri sonucunda; 0-4 kırma taş agreganın sıkışık birim ağırlığı 2069 g/dm^3, gevşek birim ağırlığı 1831 g/dm^3, kuru özgül ağırlığı 2250 g/dm^3, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2290 g/dm^3, görünen özgül ağırlığı 2330 g/dm^{3}ve su emme oranı % 2.2 olarak elde edilmiştir (Tablo 3.3-3.5).

0–8 mm dane çaplı ince hafif agreganın sıkışık birim ağırlığı 828 g/dm^3 gevşek birim ağırlığı 741 g/dm^3, kuru özgül ağırlığı 1300 g/dm^3, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 1380 g/dm^3, görünen özgül ağırlığı 1440 g/dm^{3}ve su emme oranı % 13 olarak elde edilmiştir (Tablo 3.3-3.5).

4-16 mm dane çaplı iri hafif agreganın sıkışık birim ağırlığı 551 g/dm^3 gevşek birim ağırlığı 533 g/dm^3, kuru özgül ağırlığı 1030 g/dm^3, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 1230 g/dm^3, görünen özgül ağırlığı 1270 g/dm^{3}ve su emme oranı % 19.6 olarak elde edilmiştir (Tablo 3.3-3.6).

Deneylerde kullanılan pomza agregası sıkışık birim ağırlığı ve gevşek birim ağırlığı göz önüne alındığında, TS 1114 e göre hafif agrega sınıfında değerlendirilmektedir.

0-4 mm ince daneli kırmataş malzeme % 2.2 oranında su emmiştir. Pomza agregaları ile kıyaslandığı zaman kırmataş malzemenin çok fazla su emmediği görülmektedir.

Tablo 3.3 Sıkışık birim ağırlık deney sonuçları

Agrega	En Büyük Dane Büyüklüğü (mm)	Ölçü Kabı Su Dolu Ağırlığı (gram)	Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (gram)	Ölçü Kabı Hacmi (V) (dm^3)	Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (W_2) (gram)			Sıkışık agrega ağırlığı ($W_2 - W_1$) (gram)			Sıkışık birim ağırlık ($gram/dm^3$)			
					Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Ort
İnce Kırmataş (0-4 mm)	2	3669	284	3.385	7481	7221	7158	7197	6937	6874	2126	2049	2031	**2069**
İnce Hafif agrega (0-8 mm)	4	3669	284	3.385	3145	3098	3014	2861	2814	2730	845	831	806	**828**
İri Hafif agrega (4-16 mm)	16	3669	284	3.385	2230	2115	2098	1946	1831	1814	575	541	536	**551**

Tablo 3.4 Gevşek birim ağırlık deney sonuçları

Agrega	En Büyük Dane Büyüklüğü (mm)	Ölçü Kabı Su Dolu Ağırlığı (gram)	Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (gram)	Ölçü Kabı Hacmi (V) (dm^3)	Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (W_2) (gram)			Gevşek agrega ağırlığı ($W_2 - W_1$) (gram)			Gevşek birim ağırlık ($gram/dm^3$)			
					Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Ort
İnce Kırmataş (0-4 mm)	2	3669	284	3,385	6506	6458	6486	6222	6174	6202	1838	1824	1832	1831
İnce Hafif agrega (0-8 mm)	4	3669	284	3,385	2832	2745	2796	2548	2461	2512	753	727	742	741
İri Hafif agrega (4-6 mm)	16	3669	284	3,385	2117	2057	2086	1833	1773	1802	542	524	532	533

Tablo 3.5 İnce pomza agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi sonuçları

Agrega	Deney numunesi		İşaret çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlık (W_4) (gram)	Ölçü kabı su ve deney numunesi toplam ağırlık (W_3) (gram)	Kuru özgül ağırlık (gram/dm^3)	Doygun kuru yüzey özgül ağırlık (gram/dm^3)	Görünen özgül ağırlık (gram/dm^3)	Su emme oranı (%)
	Doygun kuru yüzey ağırlık (W_2) (gram)	Kuru ağırlık (W_1) (gram)						
	Den.1	Den.1	Den.1	Den.1	Den.1	Den.1	Den.1	Den.1
İnce Kırmataş (0-4 mm)	511	500	1130	1419	2250	2290	2330	2.2
İnce Hafif agrega (0-8 mm)	565	500	1130	1088	1300	1380	1440	13

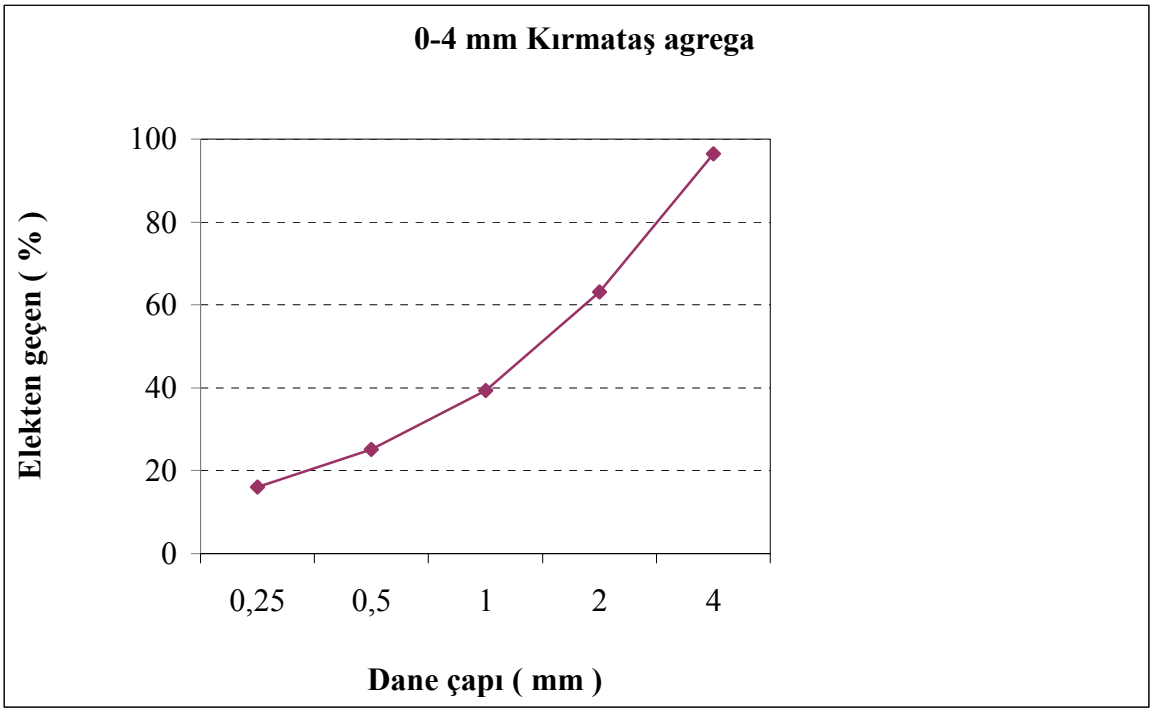
Tablo 3.6 İri daneli pomza agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi sonuçları

Agrega	**Deney numunesi**			**Kuru özgül ağırlık**	**Doygun kuru yüzey özgül ağırlık**	**Görünen özgül ağırlık**	**Su emme oranı**
	Doygun kuru yüzey ağırlığı (W_2) (gram)	**Sudaki ağırlık (W_3) (gram)**	**Kuru ağırlık (W_1) (gram)**	**(gram/dm^3)**	**(gram/dm^3)**	**(gram/dm^3)**	**(%)**
	Den.1	**Den.1**	**Den.1**	**Den.1**	**Den.1**	**Den.1**	**Den.1**
İri Hafif agrega (4-16 mm)	1674	315	1400	1030	1230	1270	19.6

0–4 mm dane çaplı kırmataş agrega malzemenin gerçekleştirilen elek analizi sonucunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 3.7'de, granülometri eğrisi ise Şekil 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.7 0–4 mm dane çaplı kırmataş agreganın elekten geçen malzeme yüzdeleri

Elek çapı (mm)	Elek üstü malzeme (gram)	Elek altı malzeme (gram)	Elekten geçen oran (%)
4	66	1871	96,5
2	714	1223	63,1
1	1173	764	39,4
0,5	1449	488	25,2
0,25	1626	311	16
Elek altı	1937	0	0

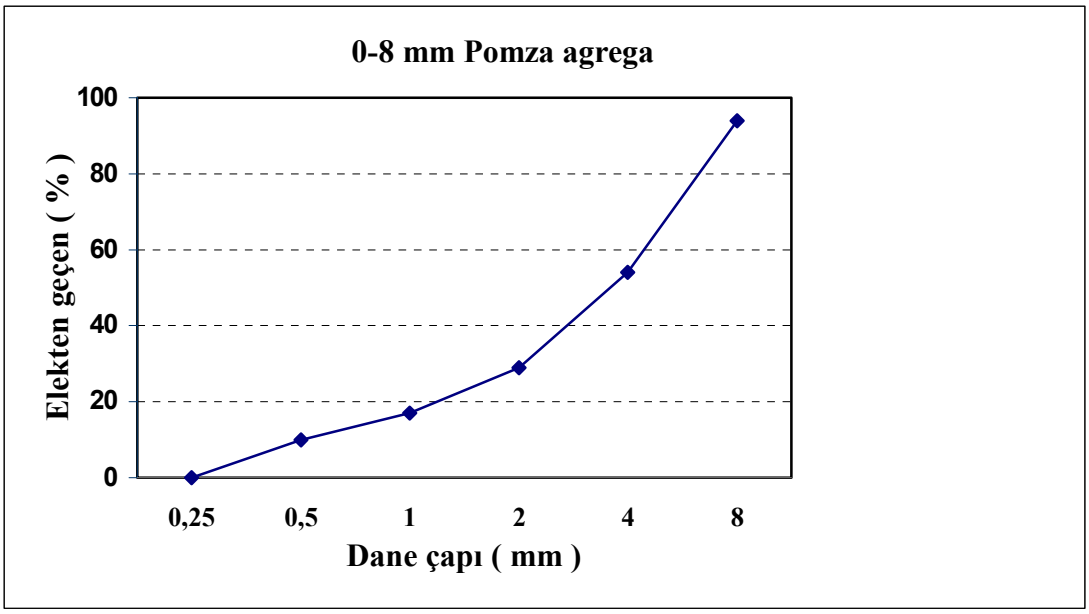


Şekil 3.1 Kırmataş agrega malzemenin granülometri eğrisi.

0–8 mm dane çaplı pomza agrega malzemenin gerçekleştirilen elek analizi sonucunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 3.8'de, granülometri eğrisi ise Şekil 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.8 0–8 mm dane çaplı pomza agreganın elekten geçen malzeme yüzdeleri

Elek çapı (mm)	Elek üstü malzeme (gram)	Elek altı malzeme (gram)	Elekten geçen oran (%)
8	118	1779,5	94
4	867,5	1030	54
2	1338,5	559	29
1	1566	331,5	17
0,5	1712,5	185	10
0,25	1897,5	0	0
Elek altı	0	1897,5	0

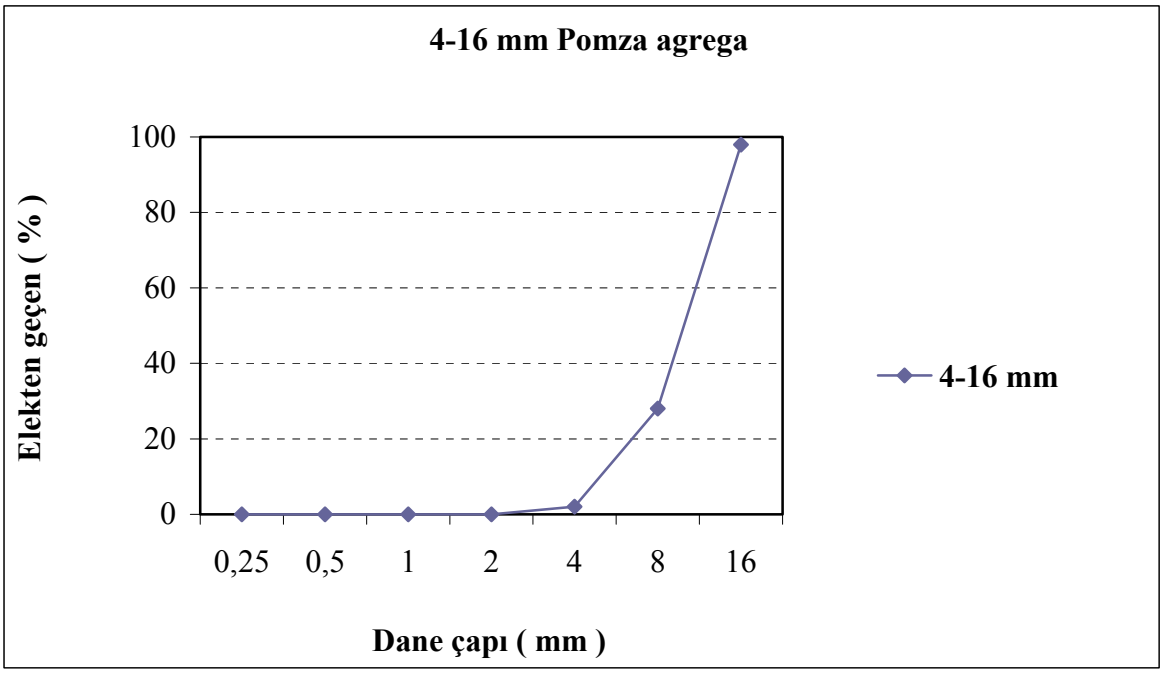


Şekil 3.2 Pomza agrega malzemenin granülometri eğrisi.

4–16 mm dane çaplı kırmataş agrega malzemenin gerçekleştirilen elek analizi sonucunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 3.9'da, granülometri eğrisi ise Şekil 3.3 de verilmiştir.

Tablo 3.9 4–16 mm dane çaplı kırmataş agreganın elekten geçen malzeme yüzdeleri

Elek çapı (mm)	Elek üstü malzeme (gram)	Elek altı malzeme (gram)	Elekten geçen oran (%)
16	43	1862	98
8	1380	525	28
4	1865,5	39,5	2
2	1905	0	0
1	0	0	0
0,5	0	0	0
0,25	0	0	0
Elek altı	0	0	0



Şekil 3.3 Pomza agrega malzemenin granülometri eğrisi (4 – 16 mm)

3.2.2 Beton karma suyu ve çimentonun özellikleri

350 dz ve 450 dz olmak üzere iki farklı karışım ile hafif beton üretimi yapılmıştır. Bu hafif betonların üretiminde Selçuk Universitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü şebeke suyu kullanılmıştır. Kampüs içinde kullanılan şebeke suyu Yükselen havzasından temin edilmekte olup ayrıca içilebilir niteliktedir.

Hafif beton üretiminde SDÇ 32,5 (CEM I 32,5 R) sülfata dayanıklı çimento kullanılmıştır. Sülfata dayanıklı çimento, sülfata dayanıklı çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ($CaSO_4:2H_2O$) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen bir çimentodur. Konya Çimento A.Ş tarafından üretilen çimentonun TSE EN 197-1'e uygunluğu, fabrika laboratuarında test edilmiştir.

Kullanılan çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.10'da, kimyasal özellikleri Tablo 3.11'de, verilmiştir.

Tablo 3.10 SDÇ 32.5 sülfata dayanıklı çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri

Mekanik ve Fiziksel Özellikler	**2005 Yılı Konya Çimento A.Ş Ortalaması**	**TS 10157'de İstenen sınırlar**
Blaine (cm^2/g)	2997	Min 2800
Basınç dayanımı 2 günlük (N/mm^2)	24,7	Min 10
Basınç dayanımı 7 günlük (N/mm^2)	37,8	Min 21
Basınç dayanımı 28 günlük (N/mm^2)	49,2	Min 32,5
Priz başlama süresi (Saat:Dakika)	03:00	Min 1:00
Priz sonu (Saat:Dakika)	03:45	Max 10:00
Hacim Genleşmesi (mm)	1	Max 10

Tablo 3.11 SDÇ 32,5 sülfata dayanıklı çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşeni	Birimi	Sevkiyat
SiO_2	%	19.46
Çözünmeyen Kalıntı	%	0.31
Al_2O_3	%	3.64
Fe_2O_3	%	3.84
CaO	%	63.32
MgO	%	1.06
SO_3	%	2.52
K_2O	%	0.53
Na_2O	%	0.38
Cl	%	0.027
Kızdırma Kaybı	%	3.95
Serbest CaO	%	1.35
C_3A	%	3.15
C_4AF	%	11.69
$2C_3A + C_4AF$	%	17.98

3.2.3 Uçucu külün özellikleri

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan uçucu kül, Tunçbilek Termik Santralinden alınmıştır. Baştaş Çimento A.Ş laboratuarlarında Tunçbilek uçucu külü için yapılan deney sonuçlarında bulunan değerler Tablo 3.12'de verilmiştir. Uçucu külün özgül ağırlığı 1.77 kg/dm^3 ' dür.

Tablo 3.12 Tunçbilek termik santralinden alınan uçucu külün kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellik	**Elde edilen değerler (%)**
SiO_2	53.66
Al_2O_3	18.93
Fe_2O_3	11.2
CaO	2.32
MgO	6.95
SO_3	1.41
Cl	-
Na_2O	0.16
K_2O	1.27
P_2O_5	0.14
TiO_2	-
Mn_2O_3	0.18
Kızdırma Kaybı	0.4
Toplam	96.2

3.3 Metot

Bu bölümde daha önce özellikleri belirlenmiş olan agrega, uçucu kül ile çimento için karışım hesapları gerçekleştirilerek 1 m^3 beton üretimi için gerekli malzeme miktarları belirlenmiştir. Ayrıca hazırlanan numunelerin boyutları ve sayıları, uygulanan mekanik deneyler, agresif çevre koşulları uygulama yöntemleri gösterilmiştir.

3.3.1 Beton numunlerinin karışım oranlarının belirlenmesi

3.3.1.1 Agrega oranları

350 dz ve 450 dz karışımlarda kullanılacak olan agrega granülometrisi, TSE 3234 de pomza agregaları için verilen elverişli granülometrik bölgeler ile karşılaştırılmıştır. 350 dz çimento içeren, 1 m^3 hafif beton karışımı için 0-4 mm ince kırma taş agrega malzemesinden 367 kg, 0–8 m ince hafif agrega malzemesinden 302 kg ve 4–16 mm iri hafif agrega malzemesinden de 195 kg kullanılması uygun görülmüştür.

450 dz çimento içeren, 1 m^3 hafif beton karışımı için 0-4 m ince kırma taş agrega malzemesinden 327 kg, 0–8 m ince hafif agrega malzemesinden 270 kg ve 4–16 mm iri hafif agrega malzemesinden de 174 kg kullanılması uygun görülmüştür.

3.3.1.2 Çimento dozajı ve su miktarı

Hafif beton karışımlarında çimento dozajı 350 ve 450 kg/m^3 alınmıştır. Her bir karışım için önceden deneyler yapılmıştır ve bu deneylerin ışığında uygun su miktarı tespit edilmiştir. Gerçek karışım miktarlarına göre hafif beton üretilmiştir.

3.3.1.3 Uçucu kül katkı maddeleri

350 dz ve 450 dz karışımlarda çimentonun ağırlığının % 20 si oranında uçucu kül kullanılmıştır. Bu karışım oranı önceden yapılan deneylerden elde edilen verilere göre tespit edilmişştir.

Elde edilen karışım oranları Tablo 3.13 ve 3.14'de verilmiştir.

Tablo 3.13 350 dz hafif beton karışımındaki beton bileşimleri

Hafif beton karışımının bileşenleri	**Miktarı**
Çimento (kg/m^3)	350
Uçucu kül (kg/m^3)	70
Uçucu kül/Çimeno (%)	20
Uçucu kül/Toplam bağlayıcı (%)	17
Su (kg/m^3)	189
Su/Toplam bağlayıcı (%)	45
0-4 mm ince kırma taş (kg/m^3)	367
0-8 mm ince hafif agrega (kg/m^3)	302
4-16 mm iri hafif agrega (kg/m^3)	195
Islatma suyu (kg/m^3)	65
Hava miktarı (%)	5

Tablo 3.14 450 dz hafif beton karışımındaki beton bileşimleri

Hafif beton karışımının bileşenleri	**Miktarı**
Çimento (kg/m^3)	450
Uçucu kül (kg/m^3)	90
Uçucu kül/Çimeno (%)	20
Uçucu kül/Toplam bağlayıcı (%)	17
Su (kg/m^3)	189
Su/Toplam bağlayıcı (%)	35
0-4 mm ince kırma taş (kg/m^3)	327
0-8 mm ince hafif agrega (kg/m^3)	270
4-16 mm iri hafif agrega (kg/m^3)	174
Islatma suyu (kg/m^3)	60
Hava miktarı (%)	5

3.3.2 Beton karışımlarının hazırlanması

Bu çalışmada 350 ve 450 kg/m3 olmak üzere 2 farklı dozajda hafif beton üretilmiştir. Çalışmada basınç dayanımı deneyleri için 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numune kalıpları kullanılmıştır. Yarmada çekme dayanımı deneyi için ise 150x300 mm ölçülerindeki silindir numune kalıpları kullanılmıştır. Beton karışımları mikserde hazırlanıp, standartlarda verilen öneriler de dikkate alınarak kalıplara yerleştirilmiştir. Hafif agregalar konusunda daha önceden yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak karışımların hazırlanmasında normal beton karışımlarından farklı bir yol izlenmiştir.

Önce, 0–4 mm ince kırma taş, 0–8 mm ince daneli hafif agrega, 4–16 mm iri daneli hafif agrega malzemeleri su ile yıkanmışlardır ve su içinde 1 saat bekletilmiştir. Karışım için, öncelikle hafif agregalar mikserin içerisine konmuş ve karıştırılmıştır. Hafif agreganın ağırlığının % 5'i kadar su mikserin içine ilave edilerek agregaya 30 dakikalık bir ön emdirme uygulanmıştır. Daha sonra karışıma çimento ve çimento ağırlığının % 20'si kadar uçucu kül ilave edilmiştir. Kuru karışımdan sonra karışım suyu ilave edilerek en az 4 dakikalık bir karışım uygulanmıştır.

Hazırlanan karışımlar kalıplara aşamalı olarak şişlenip yerleştirildikten sonra laboratuar şartlarında 1 gün saklanıp kalıplar sökülerek çıkartılmıştır. Numuneler öngörülen agresif ortmalara kalıptan çıkartıldıktan sonra hemen konulmamıştır. Beton numunelerin yeterli dayanıma ulaşması amacıyla numuneler 14 gün normal su ortamında kür edilmiştir. Bu süre sonunda numuneler normal su, tuzlu su ve asidik su içeren ortamlara konulmuştur.

3.3.3 Beton karışımlarının kalıba konulması, kürü ve uygulanan deneyler

Üretilen hafif betonun kalıba yerleştirilmesi durumu göz önüne alındığında, betonun slump miktarının tayini için çökme deneyinin yapılması gerekmektedir. Deney aparatı olan çökme (slump) hunisi içine hafif beton karışımı yerleştirildikten sonra oluşan çökme ölçülür. Tablo 3.15'de beton kıvam sınıfları verilmiştir.

Tablo 3.15 Beton kıvam sınıfları

Sınıf	Kıvam	Çökme (cm)	Yayılma (cm)
K1	Kuru	0-8	-
K2	Plastik	5-9	<40-50
K3	Akıcı	10-15	40-50
K4	Çok Akıcı	>16	>50

Daha önce yapılan araştırmalardaki deneyler sonucu betonun kalıba yerleştirilmesi işlemi sırasında her kademe için 25 kez standart şişleme çubuğu ile betonun şişlenmesi gerekliliği ifade edilmesine rağmen yüksek dayanımlı beton elde edilmesi amaçı ile önerilen 25 kez şişleme yerine bunun iki katı olan değerde (en az 50 defa) her kademede şişleme yapılması gerekli olduğu tespit edilmiştir. Şişleme işlemi sonucunda bilindiği gibi betonun mukavemeti artmaktadır Vibrasyon yapılmamıştır.

Deney numunelerinin gerçekleştirilen çökme deneyi sonuçunda üretilen betonun (K1) sınıf kuru kıvamda olduğu tespit edilmiştir.

Dayanım kazanması amacıyla 14 gün süre ile normal su ortamında bekletililen numuneler bu süre sonunda normal su, tuzlu su ve asidik su ortamlarına konulmuştur. Üç farklı ortamda bekletilen numuneler 7, 28 ve 90. ıncı günlerde deneylere tabi tutulmuşlardır.

3.3.3.1. Tuzlu agresif ortam

Bu çalışmada, küp, silindir ve kiriş numuneleri, % 3 NaCl içerikli tuzlu su ortamında 7, 28 ve 90 gün olarak kür edilmişlerdir. Tuzlu su ortamı normal su içerisine ağırlıkça %3 oranında tuz ilavesi ve karışımın karıştırılarak homojen hale getirilmesi ile elde edilmiştir.

3.3.3.2 Asidik agresif ortam

Bu çalışmada, küp, silindir ve kiriş numuneleri, pH değeri 3–6 arasındaki asidik içerikli su ortamında 7, 28 ve 90 gün olarak kür edilmişlerdir. Asidik ortam su ortamının içerisine ortamın pH değeri 3–6 aradında olacak şekilde H_2SO_4 (Hidroklorik asit) ilavesi şeklinde elde edilmiştir. Ortamın PH değeri belli aralıklarla kontrol edilmiş gerekli durumlarda yeni H_2SO_4 ilavesi yapılmıştır.

3.3.3.3 Normal ortam

Bu çalışmada, küp, silindir ve kiriş numuneleri, normal su ortamında 7, 28 ve 90 gün olarak kür edilmişlerdir.

3.3.4 Numune boyutları ve sayıları

Hafif beton numuneleri küp, silindir ve kiriş biçiminde üretilmiştir. İki farklı çimento dozajında karışım yapılmıştır.

350 ve 450 dozlu karışım için ayrı ayrı 18’er adet 15x15x15 cm boyutunda küp,18’er adet 15/30 cm boyutunda silindir ve 9’ar adet 10x10x50 cm boyutunda kiriş numune hazırlanmıştır;

- Normal su ortamı için, 7 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune, 28 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune, 90 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune hazırlanmıştır. 7, 28 ve 90 gün bekleme süresi için 2 adet silindir numune hazırlanmışır bunların bir tanesi basınç deneyi için bir tanesi de yarma deneyi için kullanılmıştır. Ayrıca 7, 28 ve 90 gün için 1 adet kiriş numune hazırlanmıştır.
- Tuzlu su ortamı için, 7 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune, 28 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune, 90 gün bekleme süresi için 2 adet küp

numune hazırlanmıştır. 7, 28 ve 90 gün bekleme süresi için 2 adet silindir numune hazırlanmışır bunların bir tanesi basınç deneyi için bir tanesi de yarma deneyi için kullanılmıştır. Ayrıca 7, 28 ve 90 gün için 1 adet kiriş numune hazırlanmıştır.

- Asidik su ortamı için, 7 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune, 28 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune, 90 gün bekleme süresi için 2 adet küp numune hazırlanmıştır. 7, 28 ve 90 gün bekleme süresi için 2 adet silindir numune hazırlanmışır bunların bir tanesi basınç deneyi için bir tanesi de yarma deneyi için kullanılmıştır. Ayrıca 7, 28 ve 90 gün için 1 adet kiriş numune hazırlanmıştır.

3.3.5 Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

Deney numuneleri üzerinde, TS 3114'e göre basınç dayanımı tayini deneyi, TS EN 12390-5'e göre eğilme dayanımının tayini deneyi, TS EN 12390-6'e göre yarmada çekme dayanımının tayini deneyi ve TS 3234'e göre kuru birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.16-3.17'de verilmiştir. .

Tablo 3.16 350 Dozlu beton numune sertleşmiş beton kuru birim hacim ağırlığı deney sonuçları

Dozaj	**Ortam Özelliği**	**Numune Yaşı (Gün)**	**Numune Kuru Ağırlığı (W_{kuru}) (gram)**					**Ort. Numune Kuru Birim Hacim Ağırlığı (Δ_{kuru}) (g/dm^3)**		
			15x15x15 cm Küp		**15/30 cm Silindir**		**10x10x50 cm Kiriş**	**15x15x15 cm Küp**	**15/30 cm Silindir**	**10x10x50 cm Kiriş**
350 Dozlu Karışım	Normal Su	7	5568	5532	8948	9073	9196	1650	1700	1834
		28	5424	5464	8866	8900	9122	1613	1676	1824
		90	5402	5308	8850	8865	8966	1587	1671	1793
	Tuzlu Su	7	5205	5181	8822	8849	8893	1539	1667	1799
		28	5134	5147	8802	8802	8623	1523	1660	1725
		90	5090	5047	8707	8689	7937	1502	1641	1587
	Asidik Ortam	7	5156	5166	8817	8809	8683	1529	1663	1737
		28	5127	5103	8718	8791	8147	1516	1651	1629
		90	5041	5025	8615	8622	7499	1491	1626	1500

Tablo 3.17 450 Dozlu beton numune sertleşmiş beton kuru birim hacim ağırlığı deney sonuçları

Dozaj	**Ortam Özelliği**	**Numune Yaşı (Gün)**	**Numune Kuru Ağırlığı (W_{kuru}) (gram)**					**Ort. Numune Kuru Birim Hacim Ağırlığı (Δ_{kuru}) (g/dm^3)**		
			15x15x15 cm Küp		**15/30 cm Silindir**		**10x10x50 cm Kiriş**	**15x15x15 cm Küp**	**15/30 cm Silindir**	**10x10x50 cm Kiriş**
450 Dozlu Karışım	Normal Su	7	5987	5979	8506	8636	9116	1773	1617	1823
		28	5723	5920	8421	8377	9131	1735	1584	1826
		90	5639	5672	8265	8287	9009	1676	1561	1802
	Tuzlu Su	7	5617	5622	8215	8234	9006	1665	1551	1801
		28	5547	5513	8052	8051	8802	1639	1519	1760
		90	5345	5381	8004	8011	8668	1589	1511	1734
	Asidik Ortam	7	5547	5605	8213	8120	8856	1652	1541	1771
		28	5478	5509	8041	8049	8697	1628	1518	1739
		90	5339	5344	7989	7984	8394	1583	1507	1679

Bilindiği gibi hafif beton etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 800 kg /m^3 ile 2000 kg /m^3 arasında olan ve 2000 kg /m^3'ü geçmeyen betonlar TS EN 206-1 de hafif beton olarak tanımlanırlar. Tablo 3.16'da elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında üretilen beton numuneleri hafif beton sınıfına girmektedir.

3.4 Deney Düzeni

Hazırlanan küp ve silindir numuneler basınç presi ile basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Resim 3.1'de 15x15x15 cm boyutundaki küp numunlerin, Resim 3.2'de ise 15/30 cm boyutundaki standart silindir numunelerin gerçekleştirilen basınç deneyleri görülmektedir. Basınç deneylerindeki yükleme hızı standartlara uygun olarak 2 kg/cm^2/sn olarak uygulanmıştır. Kırılma oluncaya kadar yükleme işlemine devam edilmiştir, numunenin kırıldığı andaki maksimum yük kesit alanına bölünerek basınç dayanımı belirlenmiştir.

Yarmada çekme dayanımı deneyi 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde hazırlanan silindir numuneler üzerinde TS EN 12390-6'ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, kalıplardan dolayı yüzeylerinde oluşan çapaklar temizlenerek prese yanal olarak yerleştirilmişlerdir. Resim 3.3 ve 3.4'de görünen düzenekte olduğu gibi deney numunelerinin baskı başlıklarına temas edecek olan yüzeyleri boyunca yükün tek noktadan ve üniform yayılması için demir levha yerleştirilmiştir. Daha sonra numune yüklemeye tabi tutularak yarmada çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney yükü sabit hızla arttırılarak, darbe etkisi oluşturulmadan, 360 kgf/sn olacak şekilde deney silindiri kırılıncaya kadar arttırılmış ve kırılma anındaki en büyük yük değeri okunarak kırılma yükü belirlenmiştir.

Eğilmede çekme dayanımı elde etmek üzere kiriş numunler üzerinde, orta noktadan yüklenmiş basit kiriş metodu ile eğilme dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. Eğilme dayanımının tespiti Resim 3.5 ve 3.6'da görüldüğü gibi üç noktadan yüklemeli deney ile yapılmıştır. Yükleme tablasındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak olan 10x10x50 cm boyutundaki numunelere göre ayarlanmıştır. Kiriş numuneler standartlara göre hesaplanarak belirlenen, 7,5 kgf /sn yükleme hızıyla deneye tabi tutulmuşlardır. Bu işlem numune kırılıncaya kadar devam etmiştir ve kırılma anındaki maksimum yük tespit edilmiştir.



Resim 3.1 Küp numunenin basınç dayanım deneyine tabi tutulması



Resim 3.2 Silindir numunenin basınç dayanım deneyine tabi tutulması



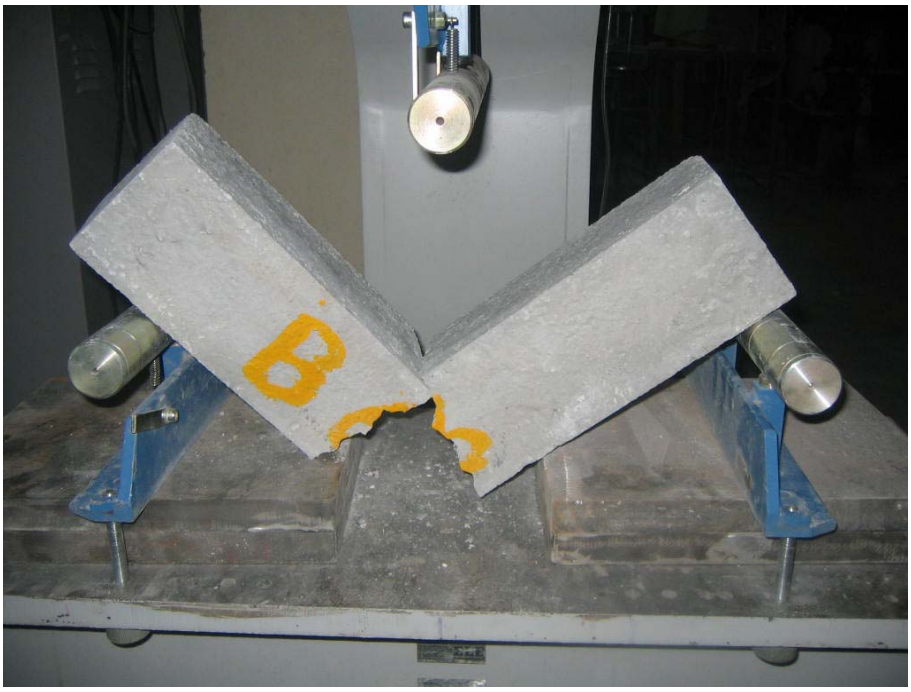
Resim 3.3 Silindir numunenin yarma deneyine tabi tutulması



Resim 3.4 Silindir numunenin yarma deneyine tabi tutulması



Resim 3.5 Kiriş numunenin eğilme deneyine tabi tutulması



Resim 3.6 Kiriş numunenin eğilme deneyine tabi tutulması

4.DENEYLERDEN ELDE EDİLEN ÖLÇÜMLER ve DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

350 ve 450 dozlu olarak iki farklı karışımdan üretilen küp, silindir ve kiriş numuneler üç farklı agresif ortamda kür edilmiştir. 7, 28 ve 90 gün sonunda gerçekleştirilen basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 - 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.1 350 Dozlu karışım küp numune basınç deney sonuçları

Ortam Özelliği	**Numune Yaşı (Gün)**	**Kuvvet (Kg)**		**Silindir Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$) (Kg/cm^2)**	
		Numune 1	**Numune 2**	**Numune 1**	**Numune 2**
Normal Su	7	59030	55070	210	196
	28	61480	52900	219	188
	90	64550	49390	230	176
Tuzlu Su	7	56220	56700	200	202
	28	45380	57840	161	206
	90	54270	43610	193	155
Asidik Ortam	7	55700	44670	198	159
	28	58770	53610	209	191
	90	55820	28230	198	100

Tablo 4.2 450 Dozlu karışım küp numune basınç deney sonuçları

Ortam Özelliği	Numune Yaşı (Gün)	Kuvvet (Kg)		Silindir Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$) (Kg/cm^2)	
		Numune 1	Numune 2	Numune 1	Numune 2
Normal Su	7	58170	69370	207	247
	28	73840	63890	263	227
	90	64930	65680	231	234
Tuzlu Su	7	64510	65490	229	233
	28	72630	65470	258	233
	90	58720	64540	209	129
Asidik Ortam	7	59920	59930	213	213
	28	63530	59700	226	212
	90	67950	68850	242	245

Tablo 4.3 350 Dozlu karışım silindir numune basınç deney sonuçları

Ortam Özelliği	Numune Yaşı (Gün)	Kuvvet (Kg)	Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$) (Kg/cm^2)	Basınç Dayanımı ($f_{ck,küp}$) (Kg/cm^2)
Normal Su	7	33929	192	240
	28	36224	205	256
	90	41171	233	291
Tuzlu Su	7	31806	180	225
	28	29862	169	211
	90	30392	172	215
Asidik Ortam	7	33573	190	238
	28	28625	162	203
	90	37284	211	264

Tablo 4.4 450 Dozlu karışım silindir numune basınç deney sonuçları

Ortam Özelliği	**Numune Yaşı (Gün)**	**Kuvvet (Kg)**	**Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$) (Kg/cm^2)**	**Basınç Dayanımı ($f_{ck,küp}$) (Kg/cm^2)**
Normal Su	7	36224	205	256
	28	33926	192	240
	90	41171	233	291
Tuzlu Su	7	24208	137	171
	28	16080	91	114
	90	18730	106	133
Asidik Ortam	7	32866	186	233
	28	26152	148	185
	90	14489	82	103

Tablo 4.5 350 Dozlu karışım silindir yarma deneyi sonuçları

Ortam Özelliği	**Numune Yaşı (Gün)**	**Kuvvet (Kg)**	**Yarmada Çekme Dayanımı $f_{ct}=2F/\pi Ld$ (Kg/cm^2)**	**Karakteristik Çekme Dayanımı $f_{ctk}=f_{ct}/1.5$ (Kg/cm^2)**
Normal Su	7	12718	18	12
	28	14838	21	14
	90	14838	21	14
Tuzlu Su	7	13778	20	13
	28	12718	18	12
	90	12718	18	12
Asidik Ortam	7	11659	17	11
	28	13778	20	13
	90	12718	18	12

Tablo 4.6 450 Dozlu karışım silindir yarma deneyi sonuçları

Ortam Özelliği	**Numune Yaşı (Gün)**	**Kuvvet (Kg)**	**Yarmada Çekme Dayanımı $f_{ct}=2F/\pi Ld$ (Kg/cm^2)**	**Karakteristik Çekme Dayanımı $f_{ctk}=f_{ct}/1.5$ (Kg/cm^2)**
Normal Su	7	14838	21	14
	28	13778	20	13
	90	13778	20	13
Tuzlu Su	7	14838	21	14
	28	11659	17	11
	90	11659	17	11
Asidik Ortam	7	14838	21	14
	28	11659	17	11
	90	9539	14	9

Tablo 4.7 350 Dozlu karışım kiriş eğilme deneyi sonuçları

Ortam Özelliği	**Numune Yaşı (Gün)**	**Kuvvet (Kg)**	**Eğilme Dayanımı $f_{cf}=3FL/2d_1d_2^2$ (Kg/cm^2)**	**Karakteristik Çekme Dayanımı $f_{ctk}=f_{cf}/2$ (Kg/cm^2)**
Normal Su	7	385	26	13
	28	444	30	15
	90	533	36	18
Tuzlu Su	7	385	26	13
	28	504	34	17
	90	385	26	13
Asidik Ortam	7	356	24	12
	28	356	24	12
	90	326	22	11

Tablo 4.8 450 Dozlu karışım kiriş eğilme deneyi sonuçları

Ortam Özelliği	**Numune Yaşı (Gün)**	**Kuvvet (Kg)**	**Eğilme Dayanımı $f_{cf}=3FL/2d_1d_2^2$ (Kg/cm^2)**	**Karakteristik Çekme Dayanımı $f_{ctk}=f_{cf}/2$ (Kg/cm^2)**
Normal Su	7	385	26	13
	28	533	36	18
	90	563	38	19
Tuzlu Su	7	415	28	14
	28	504	34	17
	90	444	30	15
Asidik Ortam	7	356	24	12
	28	444	30	15
	90	444	30	15

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, pomza ve uçucu kül kullanılarak taşıyıcı hafif beton ile üretilen beton numunelerin, üç farklı ortamda, üç farklı zaman süresinde kür edilerek dayanım özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Bu deney çalışmasında ele alınacak olan parametreler dozaj, beton yaşı ve agresif ortam şartlarının beton dayanımına olan etkileridir. Ortalama basınç dayanımı hesaplanırken küp ve silindir numunelerinin basınç deneylerinden elde edilen sonuçların, çekme dayanımı hesaplanırken ise silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerinden elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

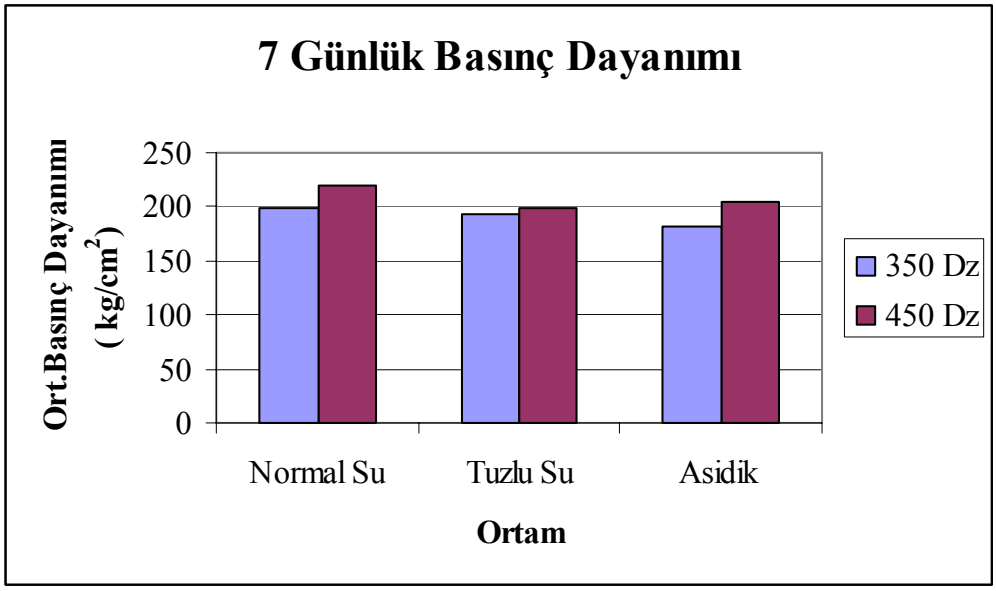
5.1. Beton Dozajının Dayanım Özelliklerine Etkisi

350 ve 450 doz olarak iki farklı karışımda hazırlanan deney numunelerinin gerçekleştirilen basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerinden elde edilen dayanım özelliklerinde dozajın etkisi Tablo 5.1'de görülmektedir.

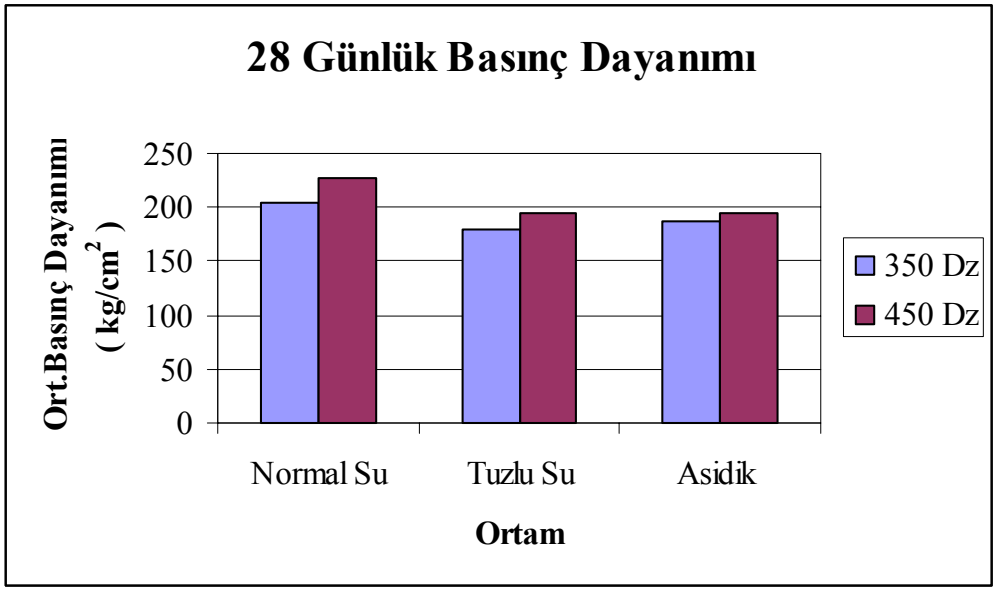
Tablo 5.1 Beton dozajının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi

Beton Yaşı	**Dayanım Özelliği**	**Ortam Özelliği**	**Ort. Silindir Basınç Dayanımı (Kg/cm^2)**		***(4)/(5)***
			450 Dz	**350 Dz**	
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*
7 Gün	Basınç ($f_{ck,sil}$)	Normal Su	219	199	1.10
		Tuzlu Su	200	194	1.03
		Asidik	204	182	1.12
	Çekme (f_{ctk})	Normal Su	13	13	1.00
		Tuzlu Su	14	13	1.08
		Asidik	13	12	1.08
28 Gün	Basınç ($f_{ck,sil}$)	Normal Su	227	204	1.11
		Tuzlu Su	194	179	1.08
		Asidik	196	187	1.05
	Çekme (f_{ctk})	Normal Su	15	14	1.07
		Tuzlu Su	14	14	1.00
		Asidik	13	12	1.08
90 Gün	Basınç ($f_{ck,sil}$)	Normal Su	229	213	1.08
		Tuzlu Su	181	173	1.05
		Asidik	189	170	1.11
	Çekme (f_{ctk})	Normal Su	16	16	1.00
		Tuzlu Su	13	12	1.08
		Asidik	12	11	1.09

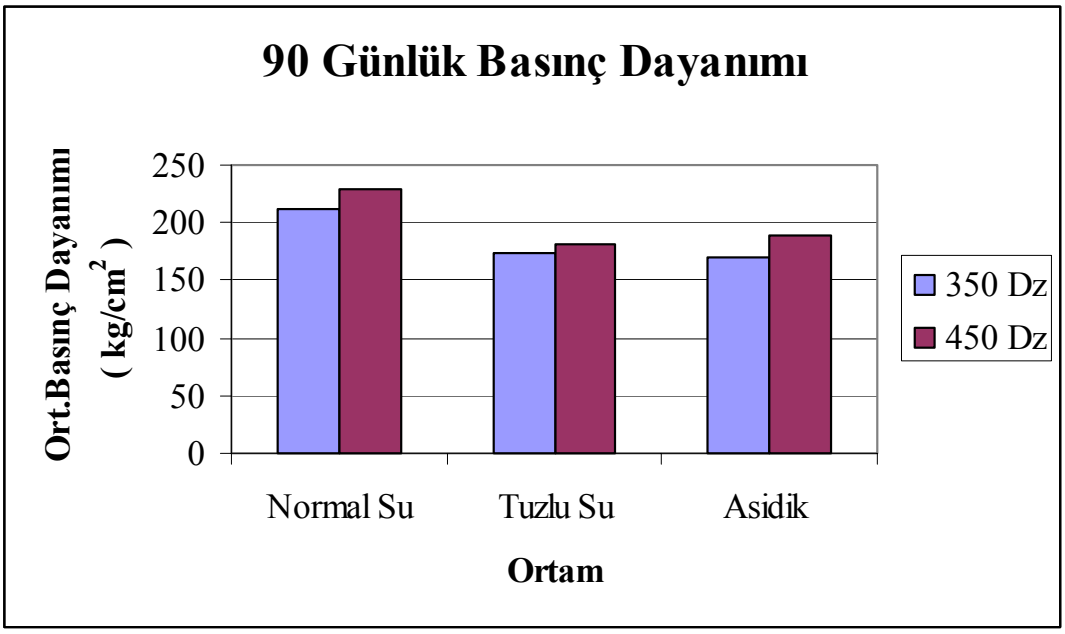
Ayrıca beton dozajının 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımına olan etkileri Şekil 5.1-5.3, çekme dayanımına olan etkisi de Şekil 5.4-5.6'da görülmektedir.



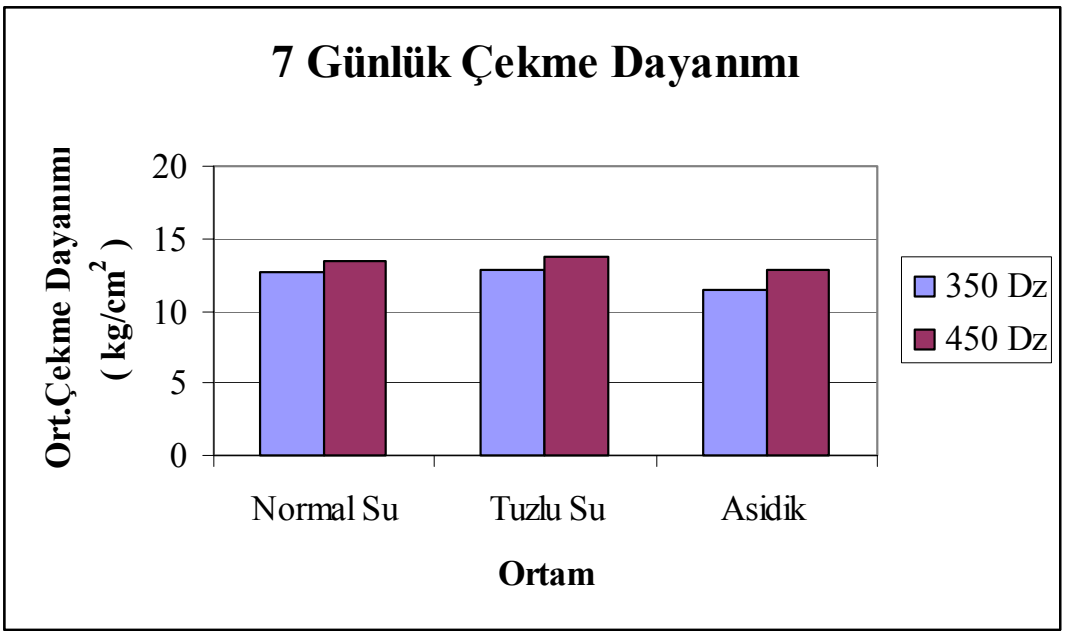
Şekil 5.1 Beton dozajının 7 günlük basınç dayanımına olan etkisi



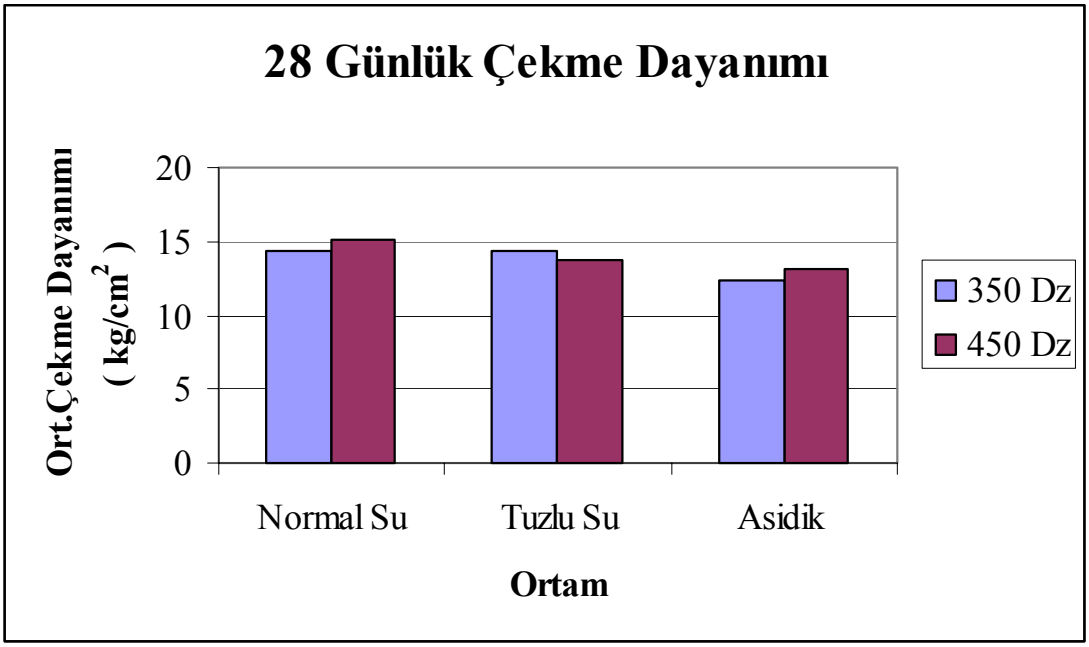
Şekil 5.2 Beton dozajının 28 günlük basınç dayanımına olan etkisi



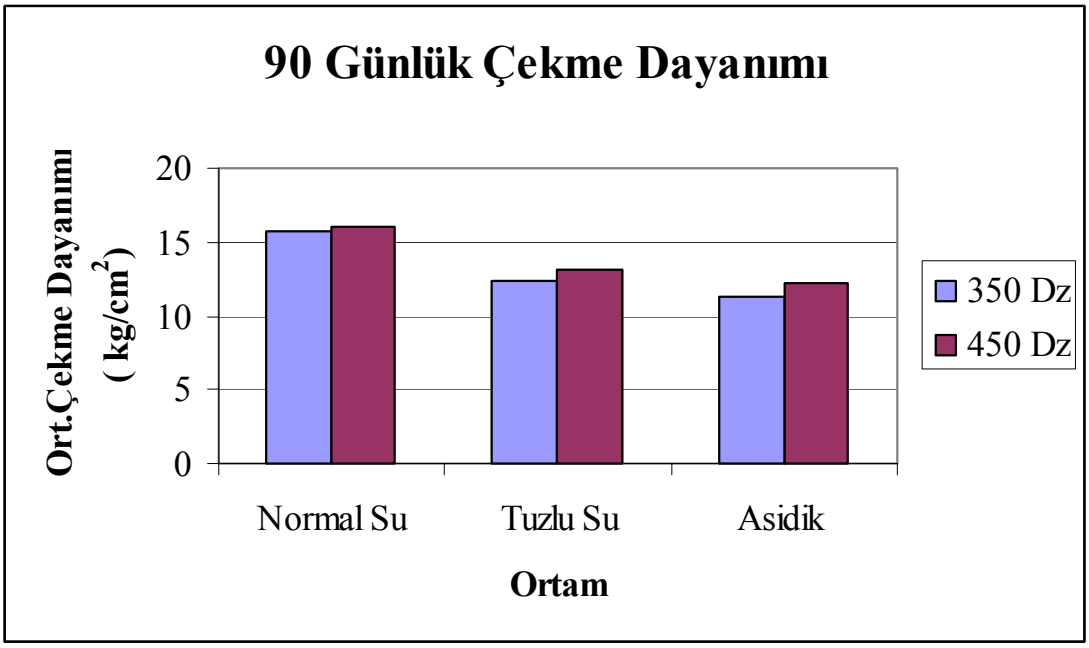
Şekil 5.3 Beton dozajının 90 günlük basınç dayanımına olan etkisi



Şekil 5.4 Beton dozajının 7 günlük çekme dayanımına olan etkisi



Şekil 5.5 Beton dozajının 28 günlük çekme dayanımına olan etkisi



Şekil 5.6 Beton dozajının 90 günlük çekme dayanımına olan etkisi

Tablo 5.1 ve Şekil 5.1-5.6'dan görüleceği üzere;

Ortalama basınç dayanımına göre;

1. 450 dozajlı betonun 350 dozajlı betona göre normal su ortamda kür edilmesi durumunda; 7 günde % 10, 28 günde % 11, 90 günde ise % 8 daha fazla basınç dayanıma sahip olduğu görülmüştür.
2. 450 dozajlı betonun 350 dozajlı betona göre tuzlu su ortamında kür edilmesi durumunda; 7 günde % 3, 28 günde % 8, 90 günde ise % 5 daha fazla basınç dayanıma sahip olduğu görülmüştür.
3. 450 dozajlı betonun 350 dozajlı betona göre asidik ortamda kür edilmesi durumunda; 7 günde % 12, 28 günde % 5, 90 günde ise % 11 daha fazla basınç dayanıma sahip olduğu görülmüştür.

Ortalama çekme dayanımına göre;

1. 450 dozajlı betonun 350 dozajlı betona göre normal su ortamda kür edilmesi durumunda; 7 günlük çekme dayanımında değişiklik olmamıştır, 28 günde % 7 artış olmuş ancak 90 günde ise çekme dayanımında yine değişiklik olmadığı görülmüştür.
2. 450 dozajlı betonun 350 dozajlı betona göre tuzlu su ortamında kür edilmesi durumunda; 7 günde % 8, 28 günde değişiklik olmadığı, 90 günde % 8 daha fazla çekme dayanıma sahip olduğu görülmüştür.
3. 450 dozajlı betonun 350 dozajlı betona göre asidik ortamda kür edilmesi durumunda; 7 günde % 8, 28 günde % 8, 90 günde ise % 9 daha fazla çekme dayanıma sahip olduğu görülmüştür.

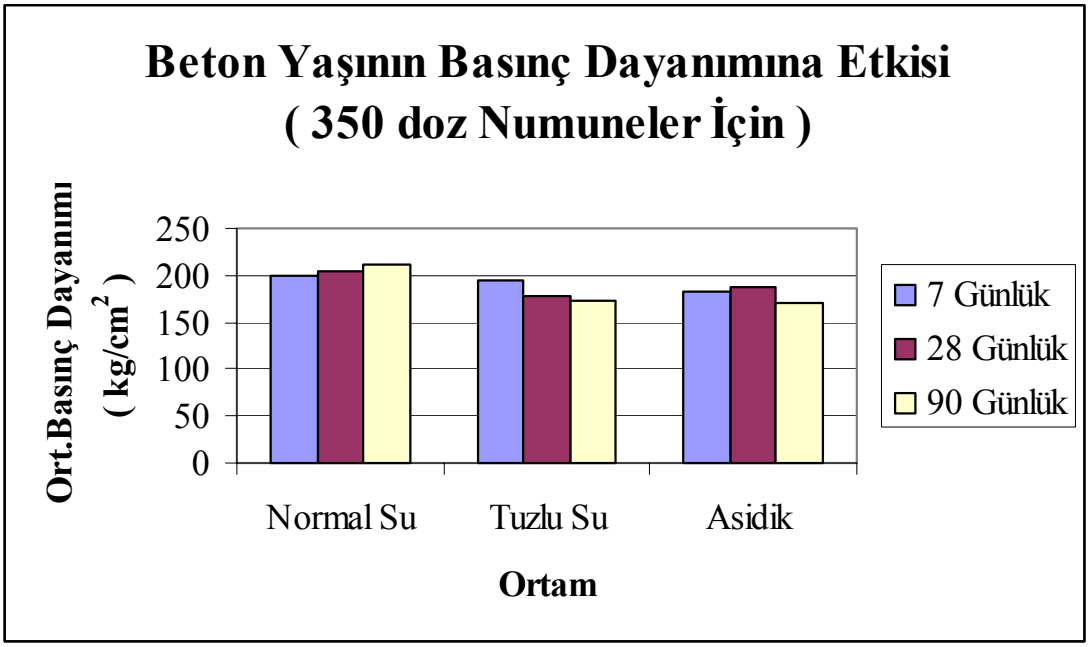
5.2. Beton Yaşının Dayanım Özelliklerine Etkisi

350 ve 450 doz olarak iki farklı karışımda hazırlanan deney numunelerinin gerçekleştirilen basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerinden elde edilen dayanım özelliklerinde beton yaşının etkisi Tablo 5.2 'de görülmektedir.

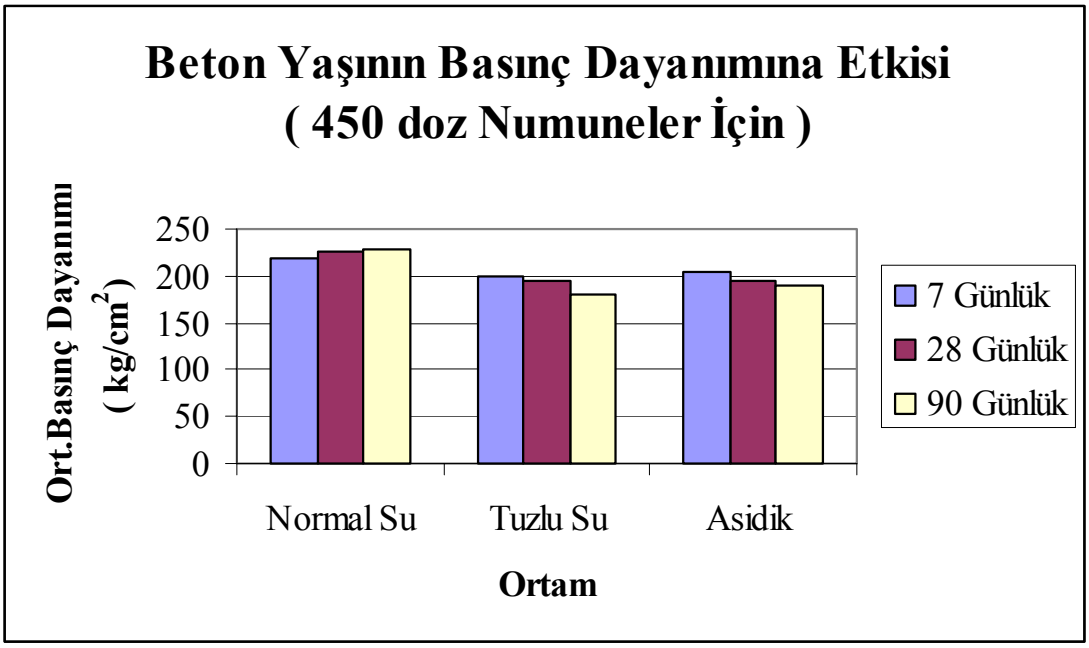
Tablo 5.2 Beton yaşının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi

Dozaj	**Ortam Özelliği**	**Dayanım Özelliği**	**Beton Yaşı**			***(4)/(5)***	***(4)/(6)***
			7 Gün. Ort. Dayanım	**28 Gün. Ort. Dayanım**	**90 Gün. Ort. Dayanım**		
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)* ***(Kg/cm2)***	*(5)* ***(Kg/cm2)***	*(6)* ***(Kg/cm2)***	*(7)*	*(8)*
350 Dozlu karışım	Normal Su	Basınç ($f_{ck,küp}$)	199	204	213	0.97	0.93
		Çekme (f_{ctk})	13	14	16	0.93	0.81
	Tuzlu Su	Basınç ($f_{ck,küp}$)	194	179	173	1.08	1.12
		Çekme (f_{ctk})	13	14	12	0.93	1.08
	Asidik	Basınç ($f_{ck,küp}$)	182	187	170	0,97	1.07
		Çekme (f_{ctk})	12	12	11	1,00	1,09
450 Dozlu karışım	Normal Su	Basınç ($f_{ck,küp}$)	219	227	229	0,96	0,95
		Çekme (f_{ctk})	13	15	16	0,87	0,81
	Tuzlu Su	Basınç ($f_{ck,küp}$)	200	194	181	1,03	1,10
		Çekme (f_{ctk})	14	14	13	1,00	1,08
	Asidik	Basınç ($f_{ck,küp}$)	204	196	189	1,04	1,08
		Çekme (f_{ctk})	13	13	12	1,00	1,08

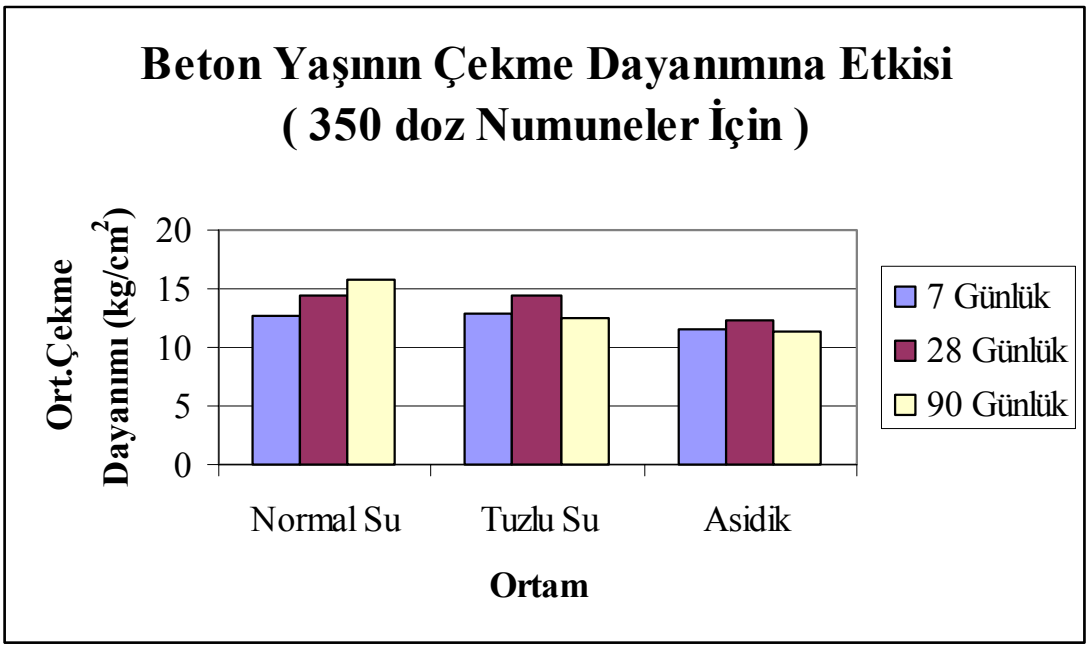
Ayrıca beton yaşının basınç dayanımına olan etkileri Şekil 5.7-5.8, çekme dayanımına olan etkisi de Şekil 5.9-5.10'da görülmektedir.



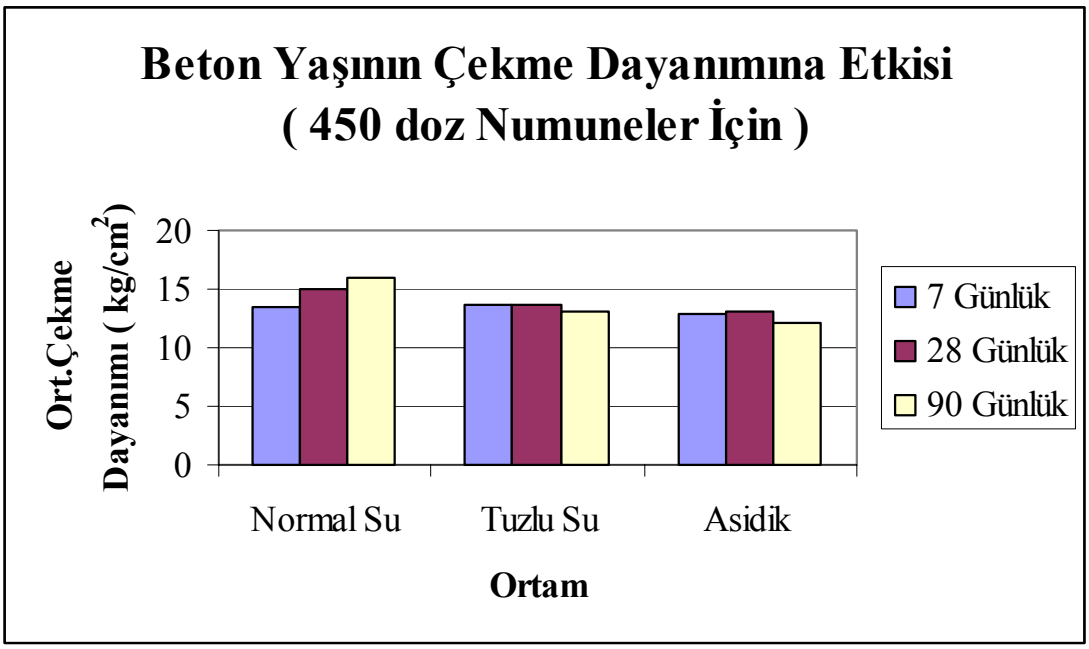
Şekil 5.7 Beton yaşının basınç dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)



Şekil 5.8 Beton yaşının basınç dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)



Şekil 5.9 Beton yaşının çekme dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)



Şekil 5.10 Beton yaşının çekme dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)

Tablo 5.2 ve Şekil 5.7-5.10'dan görüleceği üzere;

Basınç dayanımına etkisi ;

350 dozajlı beton karışımı için;

1. Normal su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanıma göre % 3 daha az, 90 günlük basınç dayanıma göre ise yine % 7 daha az olduğu görülmüştür.
2. Tuzlu su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanıma göre % 8 daha fazla, 90 günlük basınç dayanıma göre ise % 12 daha fazla olduğu görülmüştür.
3. Asidik ortamda kür edilen edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanıma göre % 3 daha az, 90 günlük basınç dayanıma göre ise % 7 daha fazla olduğu görülmüştür.

450 dozajlı beton karışımı için;

1. Normal su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanıma göre % 4 daha az, 90 günlük basınç dayanıma göre % 5 daha az olduğu görülmüştür.
2. Tuzlu su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanıma göre % 3 daha fazla, 90 günlük basınç dayanıma göre ise % 10 daha fazla olduğu görülmüştür.
3. Asidik ortamda kür edilen edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanıma göre % 4 daha fazla, 90 günlük basınç dayanıma göre ise % 8 daha fazla olduğu görülmüştür.

Çekme dayanımına etkisi ;

350 dozajlı beton karışımı için;

1. Normal su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük çekme dayanımının 28 günlük çekme dayanıma göre % 7 daha az, 90 günlük çekme dayanıma göre ise % 19 daha az olduğu görülmüştür.

2. Tuzlu su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük çekme dayanımının 28 günlük çekme dayanıma göre % 7 daha az, 90 günlük çekme dayanıma göre ise % 8 daha fazla olduğu görülmüştür.
3. Asidik ortamda kür edilen edilen numunelerin 7 günlük çekme dayanımı ile 28 günlük çekme dayanımı aynıdır, 90 günlük çekme dayanıma göre ise % 9 daha fazla olduğu görülmüştür.

450 dozajlı beton karışımı için;

1. Normal su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük çekme dayanımının 28 günlük çekme dayanıma göre % 13 daha az, 90 günlük çekme dayanıma göre ise % 19 daha az olduğu görülmüştür.
2. Tuzlu su ortamda kür edilen numunelerin 7 günlük çekme dayanımının 28 günlük çekme dayanımıyla aynı olduğu, 90 günlük çekme dayanıma göre ise % 8 daha fazla olduğu görülmüştür.
3. Asidik ortamda kür edilen edilen numunelerin 7 günlük çekme dayanımının 28 günlük çekme dayanımıyla aynı olduğu, 90 günlük çekme dayanıma göre ise % 8 daha fazla olduğu görülmüştür.

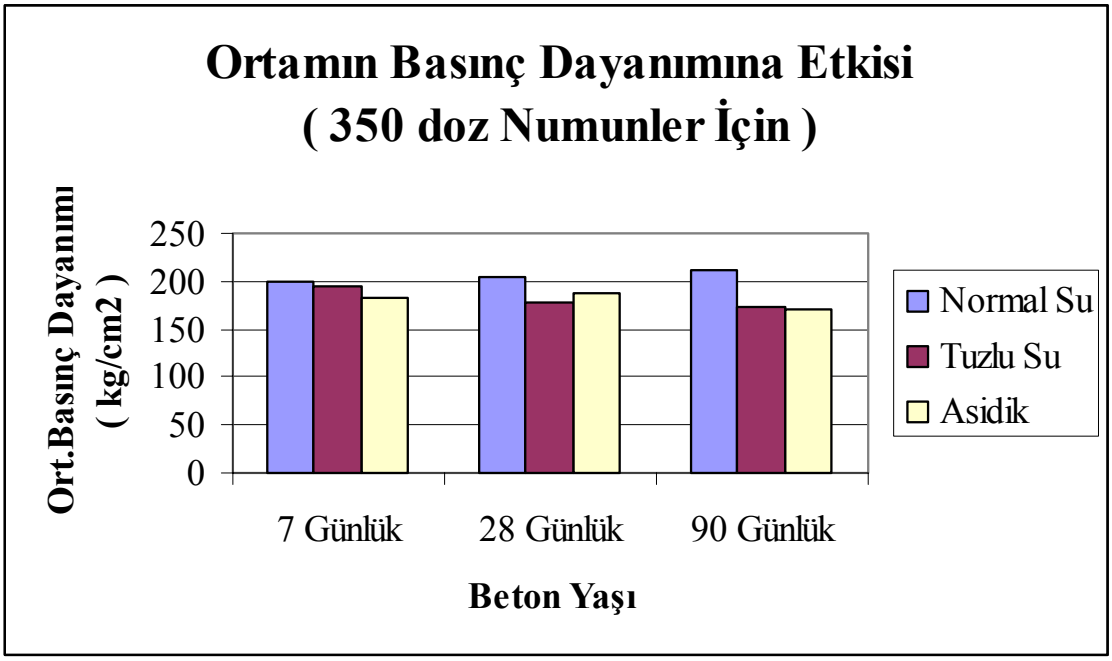
5.3 Agresif Ortam Şartlarının Dayanım Özelliklerine Etkisi

350 ve 450 doz olarak iki farklı karışımda hazırlanan deney numunelerinin gerçekleştirilen basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerinden elde edilen dayanım özelliklerinde agresif kür ortamının etkisi Tablo 5.3'de görülmektedir.

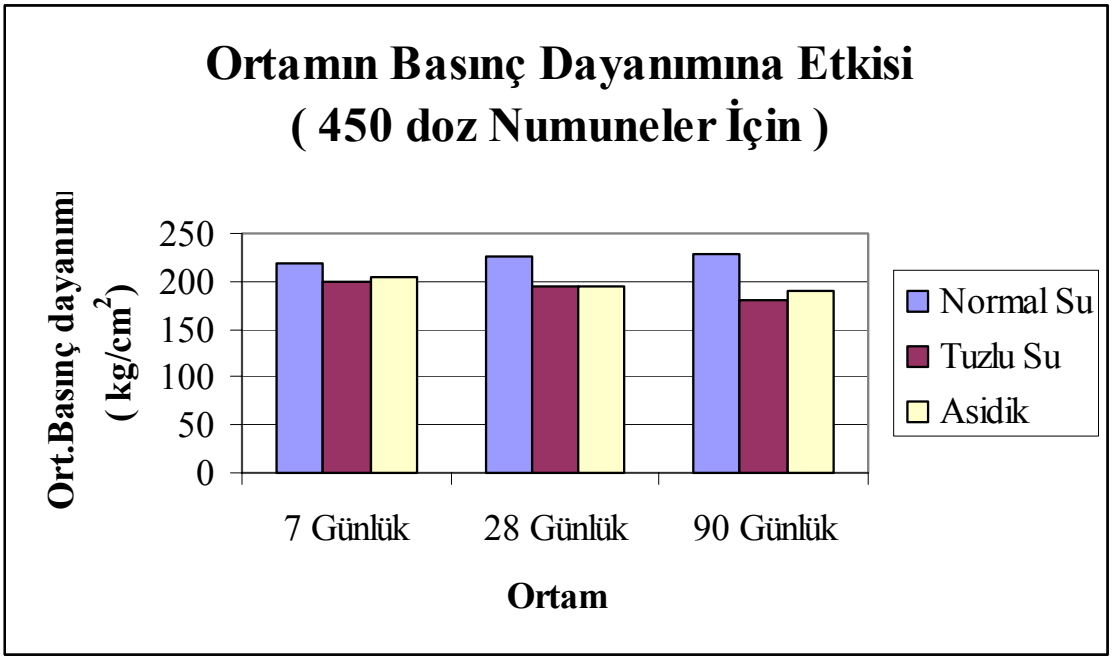
Tablo 5.3 Agresig kür ortamının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi

Dozaj	**Beton Yaşı**	**Dayanım Özelliği**	**Ortam Özelliği**			***(4)/(5)***	***(4)/(6)***
			Normal Su	**Tuzlu Su**	**Asidik**		
(1)	*(2)*	*(3)* ***(Kg/cm2)***	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)*	*(8)*
350 Dozlu karışım	**7 Gün**	Basınç ($f_{ck,küp}$)	199	194	182	1,03	1,09
		Çekme (f_{ctk})	13	13	12	1,00	1,08
	28 Gün	Basınç ($f_{ck,küp}$)	204	179	187	1,14	1,09
		Çekme (f_{ctk})	14	14	12	1,00	1,17
	90 Gün	Basınç ($f_{ck,küp}$)	213	173	170	1,23	1,25
		Çekme (f_{ctk})	16	12	11	1,33	1,45
450 Dozlu karışım	**7 Gün**	Basınç ($f_{ck,küp}$)	219	200	204	1,10	1,07
		Çekme (f_{ctk})	13	14	13	0,93	1,00
	28 Gün	Basınç ($f_{ck,küp}$)	227	194	196	1,17	1,16
		Çekme (f_{ctk})	15	14	13	1,07	1,15
	90 Gün	Basınç ($f_{ck,küp}$)	229	181	189	1,27	1,21
		Çekme (f_{ctk})	16	13	12	1,23	1,33

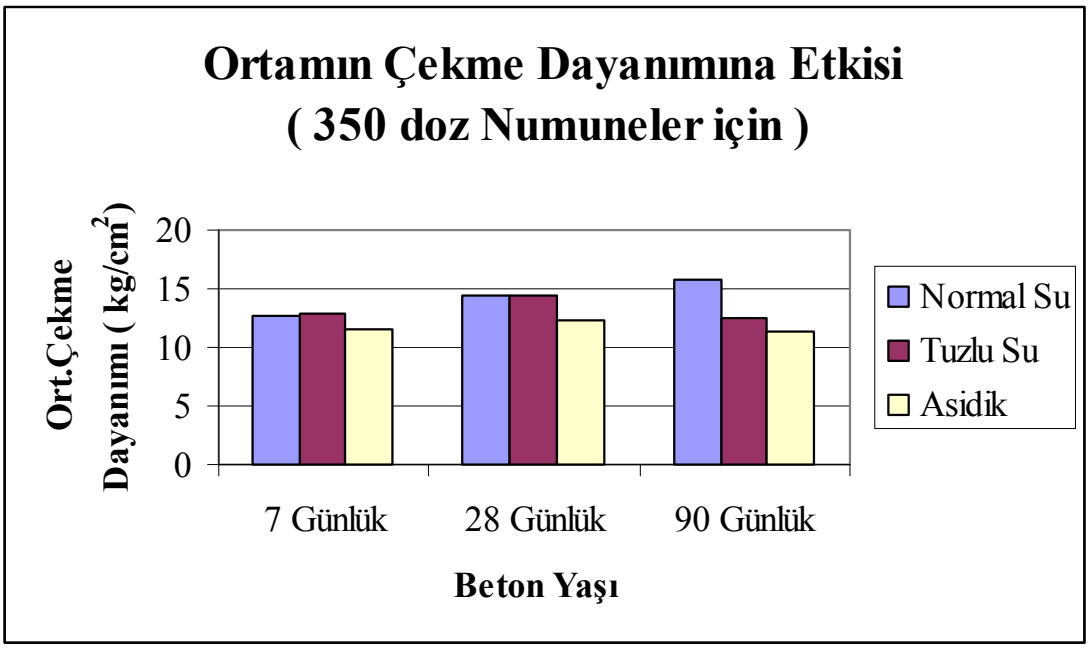
Ayrıca agresif ortam şartlarının numunelerin basınç dayanım özelliklerine etkisi Şekil 5.11-5.12, çekme dayanım özelliklerine olan etkisi de Şekil 5.13-5.14'de görülmektedir.



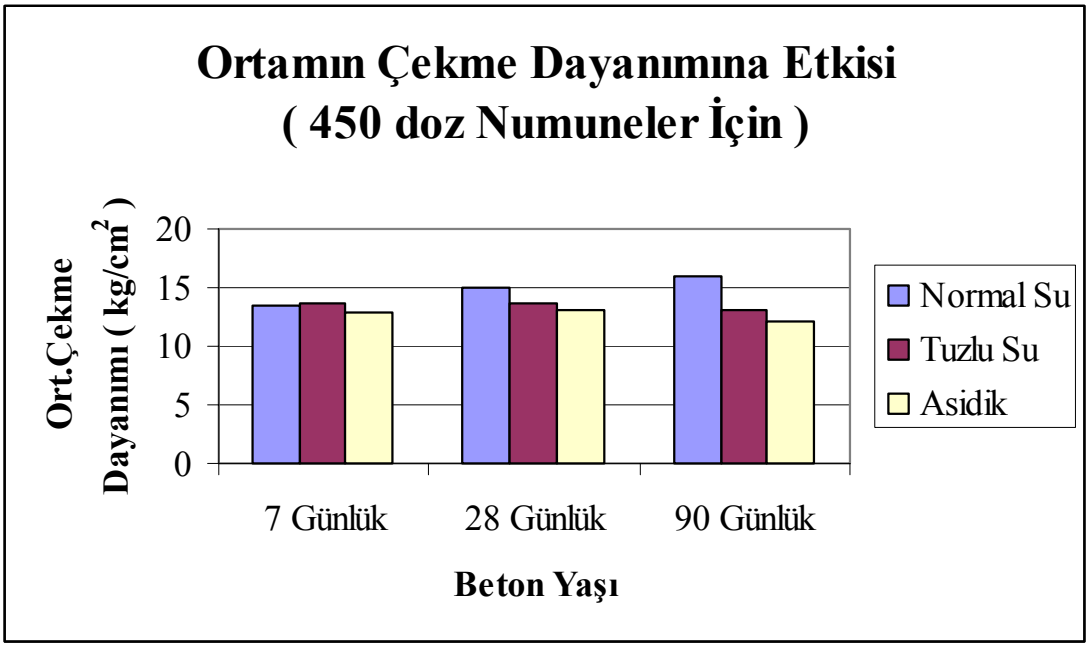
Şekil 5.11 Ortamın basınç dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)



Şekil 5.12 Ortamın basınç dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)



Şekil 5.13 Ortamın çekme dayanımına olan etkisi (350 doz numuneler)



Şekil 5.14 Ortamın çekme dayanımına olan etkisi (450 doz numuneler)

Tablo 5.3 ve Şekil 5.11-5.14'den görüleceği üzere;

Basınç dayanımına etkisi ;

350 dozajlı beton karışımı için;

1. 7 günlük basınç dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 3 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 9 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
2. 28 günlük basınç dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 14 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 9 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
3. 90 günlük basınç dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 23 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 25 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

450 dozajlı beton karışımı için;

1. 7 günlük basınç dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 10 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 7 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
2. 28 günlük basınç dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 17 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 16 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
3. 90 günlük basınç dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 27 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 21 daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Çekme dayanımına etkisi ;

350 dozajlı beton karışımı için;

1. 7 günlük çekme dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numuneler ile aynı çekme dayanımına sahip olduğu, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 8 daha fazla çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
2. 28 günlük çekme dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numuneler ile aynı çekme dayanımına sahip olduğu, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 17 daha fazla çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
3. 90 günlük çekme dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 33 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 45 daha fazla çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

450 dozajlı beton karışımı için;

1. 7 günlük çekme dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 7 daha az, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise aynı oranda çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
2. 28 günlük çekme dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 7 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 15 daha fazla çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
3. 90 günlük çekme dayanımı esas alındığında normal su ortamında kür edilen numunelerin tuzlu su ortamında kür edilen numunelere göre % 23 daha fazla, asidik ortamda kür edilen numunelere göre ise % 33 daha fazla çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

5.4 Sonuç

350 ve 450 doz olarak iki farklı karışımda hazırlanan deney numunelerinin gerçekleştirilen basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerinden elde edilen dayanım özellikleri karşılaştırılması sonucu;

- Beton üretiminde dozaj artırımı hem basınç, hem de çekme dayanımını artırmaktadır. 350 doz yerine 450 dozlu karışım kullanılmasının üç farklı ortam göz önüne alındığında; ortalama basınç dayanımını 7 günlük sürede % 8, 28 günlük sürede % 8 ve 90 günlük sürede ise % 7 oranında artırmaktadır. Benzer şekilde çekme dayanımı ise 7 günlük sürede % 5, 28 günlük sürede % 5 ve 90 günlük sürede ise % 5 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.

Buradan, çimento oranı fazla olan beton numunelerin agresif şartlar altında düşük dozajlı beton numunelerine oranla beton yaşına bağlı olarak daha fazla basınç ve çekme dayanımı gösterdiği görülmektedir. Agresif şartlar altında, hafif beton üretiminde beton dozajının önemi yapılan deneyler sonucunda görülmüştür.

Agresif şartlar altında, 350 ve 450 doz karışım numunelerde oluşan ortalama basınç ve çekme kaybı yüzdeleri sonucu;

- Betonun kür edilme ortamına göre hem basınç hem de çekme dayanım sonuçları 7, 28 ve 90 günlük kür sürelerine göre değişimler göstermektedir. 350 doz ve 450 doz karışım numunelerinin tuzlu su ortamında kür edilmesi durumu baz alındığında 7, 28 ve 90 günlük süredeki ortalama basınç ve çekme dayanımlarının normal su altında kür edilen numunelerin ortalama basınç ve çekme dayanımlarına göre % 12 oranında azalmaktadır.

- 350 doz ve 450 doz karışım numunelerinin asitli su ortamında kür edilmesi durumu baz alındığında 7, 28 ve 90 günlük süredeki ortalama basınç ve

çekme dayanımlarının normal su altında kür edilen numunelerin ortalama basınç ve çekme dayanımlarına göre % 17 oranında azalmaktadır.

Tuzlu su ortamında kür edilen beton numunelerin basınç ve çekme dayanımları asitli su ortamında kür edilen beton numunelerin basınç ve çekme dayanımlarına göre % 5 daha az değer kaybettiği görülmektedir.

Deney sonuçlarına göre, 350 doz karışımlardan normal su altında elde edilen ortalama beton basınç dayanımı 205 kg/cm^2, tuzlu su ortamında 182 kg/cm^2 ve asitli su ortamında ise 179 kg/cm^{2}dir. 450 doz karışımlarda ise normal su altında elde edilen ortalama beton basınç dayanımı 225 kg/cm^2, tuzlu su ortamında 191 kg/cm^2 ve asitli su ortamında ise 196 kg/cm^2 dir.

Hafif beton kullanılarak yapılacak olan yapıların agresif çevre şartları altında basınç dayanımı değişimleri ve deneyde kullanılan karışım oranları kullanıldığı zaman elde edilen basınç dayanımları verilmiştir. Deneylerden elde edilen bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda beton basınç ve çekme dayanımları agresif ortamlarda zamanla artan bir dayanım kaybına uğramaktadır. Bu nedenle bu dayanım kayıplarının agresif ortamlara maruz yapıların betonarme hesaplarında dikkate alınmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

5.5 Öneriler

Bu çalışmada agresif su ortamında hafif betonların dayanım özellikleri araştırılmıştır. Agresif su ortamı olarak, tuzlu su ve asidik ortam da deney numuneleri kür edilmiştir. Ancak betonarme elemanlar kullanım alanı olarak daha farklı agresif ortamlarda da bulunmaktadır. Bu nedenle bundan sonra yapılacak çalışmalar da beton numuneler farklı agresif şartlarda (sülfatlı su ortamı, bataklık suyu, vb.) kür edilerek davranış özellikleri elde edilebilir.

Yapılan bu çalışma da beton numunelerinin yaşı 7,28 ve 90 gün olarak belirlenmiştir. Ancak bu süreler yapı ömrü göz önüne alındığında oldukça kısa sürelerdir. Bu nedenle bundan sonra çalışmalarda deney numunelerinin daha uzun süreli kür edilmesi düşünülebilir. Ancak çok uzun süreli bir çalışmanın örneğin 1-2 yıl gibi sürede bir çalışma yapmanın zorluğu da aşikardır.

Yine bu çalışma da 350 ve 450 dozlu iki farklı karışım kullanılmıştır. Hafif beton imalatında çimentonun % 20'si oranında uçucu kül kullanılmıştır. Yapılacak çalışmalarda farklı dozaj, uçucu kül oranı ve çimento kullanılarak hafif betonun dayanım özelliklerindeki değişim araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Aruntaş, H.Y., 2006, "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1.

Binici, H., Aksoğan, O., 2005, " Sulfate Resistance of Plain and Blended Cement ", K.S. University Department of Civil Engineering, Kahramanmaraş, Çukurova University, Department of Civil Engineering, Adana.

Binici, H., Görür, E.B., 2005, "Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katklı Betonların Deniz Yapılarında Kullanımı ", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 2005.

Ceylan, H., Saraç, M.S., 2005, " Kayseri Pomzasından Elde Edilen Hafif Betonun Tek Eksenli Basınç Dayanım Karakteristiği ", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 2005.

Çerçi, S., Erten, E., 1997, "Hafif Beton Olarak Pomza", 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta.

Demirboğa, R., Gül, R.,2002, "The Effects of Expanded Perlite Agregate, Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete ", Civil Engineering Department Engineering Faculty, Atatürk University, Erzurum.

Düzgün, O.A., Gül, R., Aydın, A.C., 2005, " Effect of Steel Fibers on the Mechanical Properties of Natural Lightweight Aggregate Concrete ", Department of Civil Engineering, Atatürk University, Erzurum.

Erdoğan M, 1997, "Nevşehir – Ürgüp Dolayı Süngertaşı Yatakları ve Özellikleri ", 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı.

Erkoyun, H., 2005, "Pomzanın Tanımı, Yeri ve Önemi", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta.

Gündüz, L., Uğur, İ., 2004, " The Effects of Pumice Aggregate/Cement Ratios on the Structural Concrete Properties Without Using Any Admixturex ", Pumice Research and Application Centre, Sülayman Demirel University, Isparta.

Khander, M., Hossain, A., 2004, " Volcanic Ash and Pumice as Cement Additives: Pozzolanic, Alkali – Silica Reaction and Autoclave expansion Characteristics ", Department of Civil Engineering, Ryerson University, Toronto, Canada.

Khander, M., Hossain, A., 2004, "Chloride Induced Corrosion of Reinforcement in Volcanic Ash and Pumice Based Blended Concrete", Department of Civil Engineering, Ryerson University, Toronto, Canada.

Kılıç, A., Atiş, C.D., 2003, " High Strength Lightweight Concrete Made with Scoria Aggregate Containing Mineral Admixturex ", Civil and Mining Engineering, Çukurova University, Adana.

Koçu, H., Dereli, M., 2005, "Yapılarda Pomzanın Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi ", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta.

Oğuz, C.,Türker, F., 1997, "Pomza Betonda Fizksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler", 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta.

Papadakis, V.G , 2000, "Effect of Fly Ash on Portland Cement Systems Part II. High-Calcium Fly Ash", Cement and Concrete Research, Cilt 30, No 10,1647-1654.

Sancak, E., Şimşek, O., 2005, "Betonarme Betonunda Isparta Bims Agregasının Kullanabilirliği ", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta.

Sari, D., Pasamehmetoğlu, A.G., 2004, "The Effects of Gradation and Admixtures on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete ", Department of Civil Engineering, Atılım University, Ankara.

Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., Eroltekin, V. 1999, "Uçucu Külün Hafif Beton Yapı Elemanı Üretiminde Kullanımı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", Z.K.Ü. Teknoloji Dergisi, Cilt 2, No 3-4.

Taşkesenliğil, İ., 1997, "İnşaat Sektöründe", 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta.

TS 130 / Nisan 1978, Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot.

TS EN 450 1998, Uçucu Kül - Betonda kullanım için – Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriteri, TSE, Ankara.

TS 1114 EN 13055-1/Nisan 2004, Hafif Agregalar- Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin.

TS EN 1097 -6 /Mart 2002, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini.

TS EN 12390-5/Nisan 2002, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri –Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.

TS EN 12390-6/Nisan 2002, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri –Bölüm 5: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini.

Ünal, O., Çankıran, O., Sancak, E., 1997, "Hafif Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri", 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta.

Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2004, "Uçucu Küllü Betonların Donma – Çözülmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması", Beton 2004 Kongresi Bildirileri,İstanbul.

Ünal, O., Uygunoğlu, T., Yıldız. A., 2005, "Pomza ve Diyatomitle Üretilen Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta.

Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2005, " Pomza Taşı ile Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması ", Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 2005.

Zhutovsky, S., Kovler, K., Bentun, A.,2003, "Influence of Cement Paste Matrix on the Autogenous Curing of High – Performance Concrete ",Faculty of Civil Engineering, National Building Research Institute, Technion, Israel Institute of Technology.