

**AGREGA TÜRÜNÜN HAFİF BLOKLARIN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan AKBABA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ A.B.D.

Ağustos 2007

Bu tez çalışması TÜBİTAK 104M391 nolu proje ile desteklenmiştir.

AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AGREGA TÜRÜNÜN HAFİF BLOKLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Hakan AKBABA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ A.B.D.

Ağustos 2007

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL danışmanlığında,
Hakan AKBABA tarafından hazırlanan

AGREGA TÜRÜNÜN HAFİF BLOKLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca

08/08/2007

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Yapı Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. İsmail DEMİR	
Üye	Yrd.Doç. Dr. Osman ÜNAL	
Üye	Yrd.Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR	

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Araştırmanın Amacı	2
1.2 Araştırmadan Beklenen Yararlar	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Konuyla İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar	4
2.2 Agregalar	9
2.2.1 Hafif Beton Agregalarının Sınıflandırılması	10
2.2.1.1 Doğal Hafif Agregalar	10
2.2.1.2 Yapay Hafif Agregalar	11
2.2.1.3 İşlenmiş Doğal Hafif Agregalar	11
2.2.1.4 İşlenmiş Yapay Hafif Agregalar	11
2.2.1.5 Organik Hafif Agregalar	11
2.2.2 Doğal Hafif Agregalar	13
2.2.2.1 Pomza (Bims)	13
2.2.2.2 Diyatomit	24
2.2.2.3 Tüf	29
2.3 Hafif Beton	39
2.3.1 Hafif Betonların Sınıflandırılması	42
2.3.2 Normal Beton ve Hafif Beton Davranışı	43

3. MATERYAL VE METOT	49
3.1 Çalışmanın Kapsamı	49
3.2 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	50
3.2.1 Agregalar ve Özellikleri	50
3.2.2 Çimento ve Özellikleri	52
3.2.3 Su	53
3.3 Kabul Edilen Esaslar, Kullanılan Malzemelerin Karışım Oranları, Üretim ve Deney Programı	53
3.4 Kullanılan Deney Yöntemleri ve Numune Özelliklerinin Belirlenmesi	58
3.4.1 Fiziksel Deneyler	59
3.4.1.1 Birim Hacim Ağırlık	59
3.4.1.2 Su Emme	59
3.4.1.3 Görünür Porozite	59
3.4.1.4 Kılcallık (Kapilerite)	61
3.4.1.5 Ultrases Deneyi ve Ultrases Hızı İle Elastisite Modülünün Bulunması	62
3.4.1.6 Isı İletkenlik	63
3.4.2 Mekanik Deneyler	65
3.4.2.1 Basınç Dayanımı	65
3.4.2.2 Donma – Çözülme Deneyi	66
3.4.2.3 Yüksek Sıcaklık Etkisi	67
4. BULGULAR	69
4.1 Fiziksel Bulgular ve Değerlendirilmesi	69
4.1.1 Birim Hacim Ağırlık ile İlgili Sonuçlar	71
4.1.2 Görünür Porozite	73
4.1.3 Su Emme	75
4.1.4 Kılcallık Katsayısı	76
4.1.5 Ultrases Hızı	78
4.1.6 Isı İletkenlik Katsayısı	80
4.2 Mekanik Bulgular ve Değerlendirilmesi	81
4.2.1 Basınç Mukavemeti	84

4.2.2 Donma - Çözünme Etkisi	86
4.2.3 Yüksek Sıcaklık Etkisi	89
4.3 Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi	91
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	92
5.1. Öneriler	95
6. KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	105

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AGREGA TÜRÜNÜN HAFİF BLOKLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Hakan AKBABA

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

Bu çalışmada, ülkemizde bol miktarda rezerv kapasitesine sahip olan pomza, diyatomit ve tuf kayaçlarından elde edilen agregalarla üretilen blok elemanların, inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Farklı türlerdeki doğal hafif agregalar, ayrı ayrı kullanılarak üç farklı agrega yapısına sahip blok eleman üretilmiştir. Karışımlardaki agregalara önceden su emdirildiği için su/çimento oranı 0,15 olarak sabit tutularak, agrega granülometrisini değiştirmek suretiyle, her agrega türü için 5 farklı granülometri belirlenerek, toplamda 15 farklı seride blok üretimi kumlu briket makinesinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen blok numuneler üzerinde basınç dayanımı, ultrases hızı, birim hacim ağırlık, görünür porozite, su emme değerleri belirlenerek, numunelerin donma-çözünme ve yüksek sıcaklık etkisindeki değişimleri incelenmiştir. Numunelere ait ısı iletkenlik ve kılcal su emme katsayıları hesaplanmıştır.

Pomza, diyatomit ve tuf agregalarının ayrı ayrı kullanılmasıyla üretilen blokların birim hacim ağırlıkları 1100–1400 kg/m³ arasında, 7–56 günlük basınç dayanımlarının ise 1,5–14 N/mm² arasında değişmektedir. Numunelerin ısı iletkenlik katsayılarının 0,259–0,582 W/mK arasında değiştiği belirlenmiştir.

2007, 105 sayfa

Anahtar kelimeler: Doğal Hafif Agregası, Pomza, Diyatomit, Tuf, Hafif Blok Eleman.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

Investigation Of Aggregate Type Affects On Light Blocks Properties

HAKAN AKBABA

**Afyonkarahisar Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Education of Contraction**

Supervisor: Assistant. Prof. Dr. Osman UNAL

In this study, block construction members produced from pumice, diatomite and tufe originated aggregates were aimed as building materials in construction sector.

Block construction members were produced using three different types of light aggregates. Fifteen different series of blocks specimens were produced using mechanical briquette machine. All of the mixes Water/Cement ratios are 0,15 as fixed and five different aggregate grades were determined. The block specimens' values of compression strength, ultrasonic sound velocity, unit volume weight, bulk porosity and water absorption were determined and changes on the specimens were determined under the freezing-thawing, high temperature affects. Furthermore, the specimens' thermal conductivity and capillary water absorption coefficients were calculated.

The blocks, produced pumice, diatomite and tufe aggregates as separately, unit volume weights are changed between 1100–1400 kg/m³ and 7-56 daily compression strengths value are changed between 1,5–14 N/mm². Besides the specimens thermal conductivity coefficients are changed 0,259–0,582 W/mK.

2007, 105 Page

Keywords: Natural Light Aggregate, Pumice, Diatomite, Tufe, Light Block Construction Member.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimi tamamlamamda ve bu çalışmayı hazırlamamda, büyük yardımı ve destekleri olan kıymetli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Ünal'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans, lisans öğrenimim süresinde bana her konuda yardımcı ve destek olan kıymetli hocalarım Sayın Doç. Dr. Hüseyin Akbulut'a, Doç. Dr. İsmail Demir'e, Doç. Dr. Yılmaz İçağa'ya, Yrd. Doç. Dr. İsmail Zorluer'e, Yrd. Doç. Dr. Ali Ergün'e, Arş.Gör. Cahit Güner'e, Öğr. Gör. Şaban Yurtçu'ya, Öğr. Gör. Gökhan Kürklü'ye, Arş.Gör. Erhan Kahraman'a teşekkür ederim.

Değerli arkadaşlarım Hasibe Palabıyık'a, Recep Peynirci'ye ve Sedat Çetin'e öğrenim sürem boyunca desteklerinden dolayı; tez çalışmalarımda bana yol gösteren ve bilgilerini esirgemeyerek bana yardımcı olan arkadaşım Arş.Gör. Gökhan Görhan'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımın tamamlanmasında maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu güne kadar her konuda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür eder, minnet ve şükranlarımı sunarım.

Hakan AKBABA

AFYONKARAHİSAR, Ağustos 2007

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

f_{ci}	Deney numunesinin basınç mukavemeti
F_i	Deney numunesinin kırılma sırasındaki max. yükü
Eu	Ultras ses ile bulunan Elastisite modülü değeri
A_{ci}	Deney numunesinin yük taşıyan kesit alanı
I	Akım şiddeti
V2, V1	Voltaj
V	Numuneden ölçülen ultras ses hızı
Δ	Numunenin yoğunluğu
q	Örnek malzemenin merkezinden geçen telin ısı akışı
K ve H	Cihaz sabitleri

2. Kısaltmalar

DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
TS	Türk Standartları Enstitüsü
Y.K.S.D.A	Yüzey Kuru Suya Doygun Ağırlık
B.H.A.	Birim Hacim Ağırlık
G.P.	Görünür Porozite
S	Ağırlıkça Su Emme
A	Etüv Kuru Numune Ağırlığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Şekil 2.1	Pomzanın genel olarak görünümü	13
Şekil 2.2	Genel olarak pomzanın kimyasal bileşenleri	17
Şekil 2.3	Pomza agregası kullanılarak üretilen inşaat malzemesi	20
Şekil 2.4	Pomza taşının inşaat sektöründe kullanım alanları	21
Şekil 2.5	İllere göre pomza rezerv dağılım oranları	24
Şekil 2.6	Piroklastik kayaç oluşumu	31
Şekil 2.7	Beton ve harç dayanımı ilişkisi	45
Şekil 2.8	Hafif betonların gerilme-şekil değiştirme diyagramları	46
Şekil 3.1	Diyatomit ve tuf agregalarının temin edildiği çalışma bölgesi	50
Şekil 3.2	(4–0 mm) Pomza–Diyatomit ve Tuf agregaları tane dağılımı	52
Şekil 3.3	Serilere göre agrega dağılım grafiği	54
Şekil 4.1	7 Günlük numunelerde birim hacim ağırlık değişimi	71
Şekil 4.2	28 Günlük numunelerde birim hacim ağırlık değişimi	71
Şekil 4.3	56 Günlük numunelerde birim hacim ağırlık değişimi	72
Şekil 4.4	7 Günlük numunelerde görünür porozite değişimi	73
Şekil 4.5	28 Günlük numunelerde görünür porozite değişimi	73
Şekil 4.6	56 Günlük numunelerde görünür porozite değişimi	74
Şekil 4.7	7 Günlük numunelerde toplam su emme değişimi	75
Şekil 4.8	28 Günlük numunelerde toplam su emme değişimi	75
Şekil 4.9	56 Günlük numunelerde toplam su emme değişimi	76
Şekil 4.10	Pomza agregalı numunelerde kılcallık katsayısının zamana göre değişimi	77
Şekil 4.11	Diyatomit agregalı numunelerde kılcallık katsayısının zamana göre değişimi	77
Şekil 4.12	Tuf agregalı numunelerde kılcallık katsayısının zamana göre değişimi	78
Şekil 4.13	7 Günlük numunelerde ultrases hızı değişimi	78
Şekil 4.14	28 Günlük numunelerde ultrases hızı değişimi	79
Şekil 4.15	56 Günlük numunelerde ultrases hızı değişimi	79
Şekil 4.16	56 Günlük numunelerde ısı iletim katsayısı sonuçları	81

Şekil 4.17	7 Günlük Pomza, Diyatomit ve Tüflü blokların basınç dayanımları	85
Şekil 4.18	28 Günlük Pomza, Diyatomit ve Tüflü blokların basınç dayanımları	85
Şekil 4.19	56 Günlük Pomza, Diyatomit ve Tüflü blokların basınç dayanımları	85
Şekil 4.20	7-28-56 Günlük Pomza, Diyatomit ve Tüflü blokların basınç dayanım değerleri	86
Şekil 4.21	Donma-Çözünme sonrası numunelerde gerçekleşen ağırlık değişimi	87
Şekil 4.22	Donma-Çözünme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi	88
Şekil 4.23	Yüksek sıcaklık sonrası numunelerde gerçekleşen ağırlık değişimi	89
Şekil 4.24	Yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi	90
Şekil 4.25	Basınç dayanımı-Birim hacim ağırlık ilişkisi.	91
Şekil 4.26	Basınç dayanımı-Görünür porozite ilişkisi	92
Şekil 4.27	Ultrases Hızı-Görünür porozite ilişkisi	92
Şekil 4.28	Basınç dayanımı-Isı iletkenlik ilişkisi	93

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 2.1	Pomza katmanı ve açık ocak işletmesinden bir görünüm	14
Resim 2.2	Diyatomitin doğadan görünümü (Nevada and Oregon/USA)	25
Resim 2.3	Diyatomitin doğadan görünümü (Afyonkarahisar/Turkey)	25
Resim 2.4	Seydiler kasabasının batısında bulunan volkanik tüf yatakları	33
Resim 3.1	Deneylerde kullanılan hafif agrega numuneleri	51
Resim 3.2	Üretimde kullanılan betoniyer	56
Resim 3.3	Hafif agregalarla üretilmiş blok elemanların havada kür edilişi	57
Resim 3.4	Numune tartılmasında kullanılan terazi	59
Resim 3.5	Numunelerinin kurutulmasında kullanılan etüv	60
Resim 3.6	Numunelerinin su içindeki ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan Arşimet terazisi	60
Resim 3.7	Numunelerinin Y.K.S.D. ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan terazi	60
Resim 3.8	Kılcallık için parafinlenen numuneler	61
Resim 3.9	Kılcallık deneyi için geliştirilen deney düzeneği	61
Resim 3.10	Deneylerde kullanılan ultrases cihazı	62
Resim 3.11	Deney numunesinin ultrases cihazı ile ölçüm yöntemi	62
Resim 3.12	Isı iletkenlik ölçümü yapılan cihaz	64
Resim 3.13	Numunenin ısı iletkenlik ölçüm yöntemi	64
Resim 3.14	Basınç dayanımı cihazı	65
Resim 3.15	Donma-çözünmeye tabi diyatomit numuneleri	67
Resim 3.16	Yüksek sıcaklık uygulanan fırın	68
Resim 4.1	Kılcallık deney düzeneği ve numunede kılcal suyun yükselmesi	77
Resim 4.2	Donma-Çözünme öncesi ve sonrası blok numune görüntüleri	87
Resim 4.3	Yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrası blok numune görüntüleri	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 Genel olarak pomzanın fiziksel özellikleri	16
Çizelge 2.2 Genel olarak pomzanın kimyasal bileşenleri	17
Çizelge 2.3 İllere göre pomza rezerv dağılım oranları	23
Çizelge 2.4 Genel olarak diyatomit örneklerinin kimyasal bileşim değerleri	27
Çizelge 2.5 Bazı yörelere ait doğal hafif agregaların özellikleri	34
Çizelge 2.6 Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması	34
Çizelge 2.7 Kayaçların tek eksenli basma dayanımına göre sınıflandırılması	34
Çizelge 2.8 Birim ağırlıklarına göre hafif betonların sınıflandırılması	42
Çizelge 2.9 Basınç dayanımlarına göre hafif betonların sınıflandırılması	43
Çizelge 3.1 Deneylerde Kullanılan hafif agregaların fiziksel özellikleri	51
Çizelge 3.2 CEM I 42,5R Portland kompoze çimentosu özellikleri	52
Çizelge 3.3 Agregas karışım oranları	54
Çizelge 3.4 Pomza agregası ile üretilen serilerin karışım oranları	55
Çizelge 3.5 Diyatomit agregası ile üretilen serilerin karışım oranları	55
Çizelge 3.6 Tüf agregası ile üretilen serilerin karışım oranları	56
Çizelge 3.7 Numuneler üzerinde yapılacak deneyler, deney sayıları ve günleri	58
Çizelge 4.1 7 Günlük numunelere ait fiziksel deney sonuçları	69
Çizelge 4.2 28 Günlük numunelere ait fiziksel deney sonuçları	70
Çizelge 4.3 56 Günlük numunelere ait fiziksel deney sonuçları	70
Çizelge 4.4 7 Günlük numunelere ait mekanik deney sonuçları	82
Çizelge 4.5 28 Günlük numunelere ait mekanik deney sonuçları	82
Çizelge 4.6 56 Günlük numunelere ait mekanik deney sonuçları	83
Çizelge 4.7 28 Günlük numunelerin donma-çözünme etkisi sonuçları	83
Çizelge 4.8 28 Günlük numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonuçları	84

1. GİRİŞ

İlk çağlardan günümüze kadar insanoğlu barınma, çalışma, eğlenme, dinlenme gibi yaşamsal fonksiyonlarını gerçekleştirebilmek için çeşitli inşaat yapılarına ihtiyaç duymuştur. İnsanoğlunun bu ihtiyaı her defasında daha güvenli, daha ekonomik ve daha fonksiyonel yapı inşa etme isteği haline dönüşmüş ve günümüz yapı malzemeleri ve inşaat yapıları tasarlanabilmiştir.

İnsanoğlunun en önemli yaratıcı eylemi “tasarlamak ve üretmek” tir. Binaların taşıyıcı sistemlerini etkileyen strüktür malzemelerdeki gelişme tasarımda büyük olanaklar yaratmakta, bir anlamda tasarım anlayışını (design concept) değiştirmekte ise de; tasarım anlayışının tümden değişmesine neden olan asıl alan, detay zmlerinin ve bitirme işlerinin oluşturduğu alanlardır. Bu alanlardaki çarpıcı değişim yeni bir ağ yaratan malzemelerle gerçekleşmiştir (Yapı 1997).

Ülkemizde bol rezerve sahip olan hammadde kaynaklarından yararlanılarak, üretilebilecek yeni yapı malzemelerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Yapı malzemesi alanında günümüz koşullarına uygun, ekonomik, sağlıklı, kolay elde edilip kullanılabilen, estetik, isteklerimize uygun ağdaş malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Sürekli deprem riski altında olan ülkemizde can ve mal kayıplarını en aza indirmek için yapı tasarımı, üretimi ve denetimi açısından alınması gerekli pek çok nlem olduğu bir gerçektir. Yapı malzemesi ve beton sektöründe hafif agrega kullanımının önemi, ülkemizde yaşanan elim deprem olayları sonucunda daha iyi anlaşılmaya başlamış, çoğu yapı malzemesi ve beton üreten şirketler ar-ge çalışmalarını hızlandırmıştır. Ülkemizde hafif ve doğal agrega olarak kullanılabilen malzemeler arasında, farklı yörelerde bulunan pomza oluşumları, volkanik cüruf oluşumları, diyatomit ve perlit oluşumlarını sayabiliriz. Bu doğal yapıya sahip kayaçların, mühendislik zelikler ve endüstriyel anlamda bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu bakımdan ilgili TSE ve ASTM standartlarında öngörülen prensipler çerçevesinde, bu tür malzemeler üzerinde bir dizi

deneysel analiz yapılarak, sektörel olarak kullanılabilirlik kriterlerinin tanımlanması ve yorumlanması gerekmektedir (Şapçı vd. 2004).

Deprem etkisini azaltacak hafif yapıların daha güvenli ve ekonomik olduğu yapılan teorik ve deneysel çalışmalar neticesinde kanıtlanmıştır. Bunun yanında hafif agrega kullanılarak üretilen betonların ya da blokların, düşük yoğunluğa, yüksek ısı yalıtımına ve yüksek yangın dayanımına sahip olmalarından dolayı yapı malzemesi açısından önemli üstün özelliklere sahiptirler (Kaya 2002, Doğan ve Şener 2004, Ceylan ve Saraç 2006, Başığit vd. 2001).

Bu çalışmada pomza, diyatomit ve tuf agregaları kullanılarak bloklar üretilmiştir. Blok özelliklerine agrega türünün ve agrega granülometrisinin etkisi bloklar üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik testler sonucunda belirlenmiştir. Karışımda bağlayıcı olarak tek tip çimento ve sabit su/çimento oranı kullanılmıştır. Üretilen blokların özellikleri deney sonuçlarından elde edilen veriler ışığında değerlendirilmiştir.

1.1 Araştırmanın Amacı

İnşaat sektöründe kullanılan mevcut yapı malzemelerinin çoğu doğal malzemelerdir. Hafif agregalı blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerine agrega türünün etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, öncelikle kullanılacak doğal hafif agrega türleri ve kullanılacak agregaların hangi tane dağılımında kullanılacağı belirlenmiştir. Bu çalışma neticesinde zaten yaygın olarak kullanılan pomza (bims) agregasıyla üretilen blokların yanı sıra, diyatomit ve tuf agregasının da kendilerine özgü özellikleri doğrultusunda inşaat sektöründe hafif yapı bloğu üretiminde kullanılabilme olanakları belirlenecektir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, yüksek ısı yalıtım özeliğine sahip diyatomit agregası kullanılarak, ısı yalıtım özelliği yüksek bölme duvar elemanı, tuf agregası kullanılarak da dayanımı yüksek hafif agregalı blok eleman üretilmek amaçlanmaktadır.

Ülkemizde artan nüfus ve enflasyon karşısında konut açığının giderilmesi, insanların rahat, huzurlu bir ortamda çalışma imkânlarının geliştirilmesi, sosyal refahın sağlanabilmesi için öncelikle yapı sorununun çözümlenmesi gerekir. Yapılarda ise çağdaş duvar malzemesinin üretilmesi, ülkemiz ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte geliştirilmesi, iç-dış ortam şartlarına, ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahip, fiziksel, kimyasal, biyolojik etkilere dayanıklı, yani yapı fiziği kurallarını yerine getirmesi önemlidir.

Ülke ekonomisi açısından ise enerji tasarrufu sağlaması, kolay temin edilmesi, istenirse hafifletilebilme özelliğinde olması, istenilen boyutta üretilebilmesi, mukavemet değerinin de standartlara uygun olması önemli bir konudur.

1.2 Araştırmadan Beklenen Yararlar

İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bims (pomza) agregasının yanında diyatomit ve tuf agregasının da kullanılabilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede ülkemiz doğal kaynaklarından olan diyatomit ve tuf kayalarının kullanımının yaygınlaşması sağlanacak ve inşaat sektörü de, farklı alternatifte yeni bir yapı malzemesi kazanmış olacaktır. Bu tür hafif agregaların inşaat sektöründe kullanılması yapıdaki ölü (zati) yükleri azaltacağından, yapı taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında ekonomiklik sağlayacak ve deprem etkilerini azaltacaktır. Bunun yanında, yapıda iç-dış duvar elemanı olarak kapalı gözenekli malzemelerin kullanılması, ısı ve ses yalıtımı açısından katkı sağlayacaktır. Enerjinin savaş nedeni olduğu günümüzde, çok önemli boyutlarda yakıt tasarrufu sağlanarak hem aile, hem de ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

İnşaat sektörünün hızla geliştiği ülkemizde mevcut yapı ve duvar elemanı üretebilmek amacı ile zengin tarım topraklarını yok etmeye devam eden tuğla üreticileri, zaman zaman hammadde bulmakta sıkıntı çekmektedirler. Tuğlanın yanı sıra, üretimi kolay, hammadde sıkıntısı olmayan, ekonomik, ısı ve ses yalıtımı yüksek, sağlıklı yapı bloklarının üretimiyle alternatif bir yapı malzemesi ve yeni iş sahalarının açılmasına da imkân sağlayacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, çalışma konusu ile ilgili olarak yapılan önceki çalışmalardan bahsedilerek, kullanılan malzemelerin tanımlanması, sınıflandırılması, özellikleri, kullanım alanları açıklanmıştır. Malzemelerle ilgili bilgilerin ardından bu malzemelerin kullanılması ile üretilen hafif betonlar ve hafif beton bloklarla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

2.1 Konuyla İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Ülkemiz topraklarında yaygın olarak bulunan bu malzemeler ile geçmişten günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarla ilgili araştırmacılar ve bulgular aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yeğınobalı (1997), yapmış olduğu araştırmada Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden seçilen bims ve tuf agregaları ile bir dizi taşıyıcı nitelikte ve göreceli olarak yüksek dayanımlı doğal hafif beton üretmiştir. Beton karışımlarında iri agrega olarak hafif taşlar, ince agrega olarak normal ağırlıklı kum kullanılmış, ayrıca çimentonun % 15'i kadar silis dumanı ile toplam bağlayıcı malzemenin % 2-4'ü kadar süper akışkanlaştırıcı katkıya yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çökme değeri 5 cm civarında olan betonlarda 28 günlük basınç dayanımları bims agregası ile 30–50 MPa, tuf agregası ile de 40–50 MPa arasında değiştiğini belirlemiştir. Kuru birim ağırlık değerleri, bims betonlarda en fazla 1850 kg/m³, tuf agregalı betonlarda 2000kg/m³ civarında olmuştur. Betonlarda ısı iletkenlik değerleri 0.44–0.64 W/m.K arasında bulmuştur. Beton özellikleri arasındaki ilişkileri belirleyen ifadeler geliştirilmiş ve üretilen betonların uygulamada kullanım yerlerini araştırmıştır.

Serin (1999), pomza ve diyatomit agregaları kullanarak ürettiği hafif beton bloklar ile normal beton blokların mekanik ve fiziksel özelliklerini karşılaştırmış, çalışma sonucunda pomzalı ve diyatomitli beton blokların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağı, fakat ara bölme duvar elemanı veya yalıtım blokları olarak kullanılabilir özellikte olduğunu belirtmiştir.

Sağın (2005), Isparta yöresi pomza agregası kullanarak plastik kıvamda üretmiş oldukları küp numuneler üzerinde testler yaparak numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemiştir. Bulk yoğunluk değerini $0,98-1,57 \text{ kg/dm}^3$, çimento bağlayıcısı kullanılarak üretilen serilerde otoklav kürü sonunda basınç dayanımı değerlerini max. $99,1 \text{ kg/cm}^2$, su kürü sonrasında max. $131,4 \text{ kg/cm}^2$ olarak elde etmiştir.

Koçu (1997), Konya ve çevresindeki tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesini amaçladığı çalışmada ürettiği mamul elemanların fiziksel, kimyasal ve mikro yapı özelliklerini incelemiştir. İnceleme sonuçlarından volkanik tüf içerisindeki $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ oranları toplamının TS 25 de belirtilen oranlardan yüksek çıkması nedeni ile bu malzemenin inşaat sektörüne mutlaka kazandırılması gerektiği, üretilen mamul maddelerin özgül kütlesi karışımda kullanılan puzolan ve Ca(OH)_2 oranına göre farklılık göstermekte ve $2,325-2,300 \text{ g/cm}^3$ aralığında değiştiği, ısı iletkenlik katsayısının $0,586-0,705 \text{ W/mK}$ olarak bulunmuştur.

Öner vd.(2004), yaptıkları çalışmada, Hınıs (Erzurum) dolaylarında yüzeyleşen volkanik malzemenin inşaat sektöründe yapıtaşı ve hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmak için kayaçların teknik özelliklerini belirlemişlerdir.

Ağırdır (1989), yaptığı çalışmada Altınapa bims agregasının inşaat sektöründe kullanılabilirlik, TS 3234'e uygun hafif bims beton briket imalatına uygunluğunu araştırmıştır. Deneyleerde Altınapa bims agregasının fiziksel özelliklerini ve bu agregalar ile üretilen briketlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlarla Altınapa bims agregasının yapı elemanı üretiminde kullanılmasının uygun olduğunu belirtmiştir.

Arıcı (1977), yapmış olduğu çalışmada Van yöresinden elde edilmiş tüfün beton agregası olarak kullanılabilirliği ve taşıyıcı hafif beton mukavemetine etkisini araştırmıştır. Yaptığı deneysel çalışmalar neticesinde tüfün hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin yanı sıra, agreganın ince tüf malzeme ile %10 oranında yer değiştirilmesiyle ürettiği betonun mukavemetinde de %10 artış sağlamıştır.

Özdeniz vd. (1994), ülkemizde üretilen briketlerin genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmalarında da normal beton ve bims beton harcıyla iki tür briket üreterek, briketleri higrotermal açıdan değerlendirmişlerdir. Bu briketlerle oluşturdukları duvarlar üzerinde çeşitli testler yaparak, kullanılan briketlerin yapı fiziği açısından kullanılabilirliklerini değerlendirmişlerdir. Deneyler sonucunda bims beton briket duvarları kış mevsimi dış ortam sıcaklığı en düşük -6 °C olan yerlerde kullanılabileceğini, perlit dolgulu normal beton briket duvarların ise kış mevsimi dış ortam sıcaklığı ≥ -15 °C olan yerlerde kullanılabileceğini saptamışlardır. Denenen duvarlar içinde her yönüyle en iyi sonucu Perlit dolgulu bims beton briket duvar olduğu belirlenmiştir. Bu duvarın ülkemizin her yerinde kullanılmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Arda (1994), pomza agregası kullanarak üretmiş olduğu hafif betonlarda agrega konsantrasyonunun betonun mekanik özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmaları sonucunda hafif betonlarda agrega konsantrasyonunun artmasıyla basınç dayanımı, elastisite modülü ve kırılma işinin azaldığını belirlemiştir.

Topçu vd. (2005), Kayseri yöresinden sağlamış oldukları bims kumu ve agregasının özelliklerini araştırmışlardır. Bu agregalarla farklı dozajlarda hafif betonlar üretilip, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir.

Altun ve Haktanır (2001), yapmış oldukları çalışmada Kayseri yöresi hafif agregaları ile üretilen hafif beton özelliklerinin, geleneksel bir beton özellikleriyle karşılaştırmasını yapmışlardır. Yöresel hafif agregalar kullanarak C16 sınıfı taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir.

Şimşek vd.(1999), hafif beton yapı elamanı üretmek için pomza taşı agregası ile uçucu külü kullanarak çalışma yapmışlardır. Karışıma giren çimento miktarı ağırlıkça (%) olarak uçucu kül ile yer değiştirmek sureti ile %50 iri, %50 ince agrega ile birinci karışım ve yalnız ince agrega kullanarak ikinci karışım ile hafif beton üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre karışımlardan en uygun olanı %10 uçucu küllü hafif beton karışımı olmuştur. %10 uçucu küllü beton karışımlarına ait 28 günlük sonuçlar; %50 iri,

%50 ince agregalı betonlarda, basınç dayanımını 123 KN/m^2 , eğilme dayanımı 29.37 KN/m^2 ve birim ağırlığı 16.8 KN/m^3 olarak, yalnız ince agregalılarda ise basınç dayanımı 77 KN/m^2 eğilme dayanımı 35.50 KN/m^2 ve birim ağırlığı 16.85 KN/m^3 olarak tespit edilmiştir.

Başıyigit vd. (2001), Beton blok eleman üretiminde pomza taşı ilavesi ile çimento miktarının % 10'u oranında silis dumanı kullanmışlardır. Beton blok elemanlarının içerisine pomza taşı katılmasıyla birim ağırlıkta azalmalar gözlemlenmiş, silis dumanı katkısıyla ise şahit beton bloğun dayanımından daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmalarda kullanılan silis dumanının düşük dozajda ve erken yaşlarda beton blokların dayanımını artırdığı, yüksek dozajda ise dayanımını etkilemediğini yapılan deneyler sonucunda belirlemişlerdir.

Dinçer ve Çağatay (2004), yaptıkları çalışmada pomza agregası, uçucu kül ve çelik lif katkılı betonların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Normal betona pomza agregası ve/veya uçucu kül katkısının şekil değiştirme performansı artan sırayla, pomza katkılı betonlar, çelik lif katkılı betonlar ve uçucu kül katkılı betonlardır. Normal iri agregaya %75 pomza katıldığında küp dayanımı göz önüne alınırsa, basınç dayanımında %62 oranında kayıp meydana gelmektedir. Pomza katkılı" betonun basınç dayanımına çelik lif katkısı", %20 dolayında bir artış, kül katkısı ise %2,7 gibi göz önüne alınmayacak bir azalma meydana getirmektedir. Normal betona çelik lif ve uçucu külün birlikte katıldığı durumda çelik lif, betonun tüm mekanik özelliklerinde artış eğilimi yaratırken, uçucu kül azalmaya neden olmaktadır. Pomza katkılı hafif betonlara çelik lif katkısı, basınç dayanımında %20, çekme dayanımında ise %47 gibi önemli bir oranda artış sağlamıştır. Ancak, bu karışıma uçucu kül ilave edildiğinde betonun 28 günlük mekanik özelliklerinde önemli miktarda düşüş meydana gelmektedir.

Aruntaş vd. (1998), Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş'de bulunan iki ayrı yataktan sağlanan diatomitlerin fiziksel özelliklerini, kimyasal kompozisyonlarını, mineralojik bileşimlerini ve mikroskobik yapılarını incelemişlerdir. Diatomitlerin, hem birbirleri hem de ilgili standart ve literatürle karşılaştırılması sonucunda filtrasyon

malzemesi, puzolanik malzeme ve yalıtım malzemesi olarak çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabilceği kanısına varmışlardır.

Alyıldız (2003), çalışmasında Isparta-Derboğazi tüflerinin inşaat sektöründe yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin ve fiziko-mekanik özelliklerinin, donma-çözünme çevriminden nasıl etkilendiğini araştırmıştır. 55 periyotluk donma-çözünme sonucunda $2,46 \text{ g/cm}^3$ lük yoğunluğa sahip tarsiin %54,73 oranında su emme değerinde artış olduğunu, birim hacim ağırlığının ise %7,15 oranında azaldığını ve basınç dayanımı değerinin %55,13 azaldığını belirlemiştir.

Tokgöz vd.(2004), silis dumanı katkılı çimento ve pomza agregası kullanarak ürettikleri briketlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda silis dumanı ikameli briketlerin birim kütle değerlerini azalttığını, donma-çözünme ve basınç mukavemeti değerlerinin ise artırdığını tespit etmişlerdir.

Dinçer ve Çağatay (2004), yaptıkları çalışmada, normal agreganın ve normal iri agreganın yerine %0, %25,%50, %75, %100 oranlarında pomza agrega kullanılarak taşıyıcı hafif betonların mekanik özellikleri araştırmışlardır.

Çobanoğlu ve Özpınzar (2003), Sandıklı (Afyon) tüflerinin mühendislik özelliklerini ve beton agregası olarak kullanım olanaklarını araştırmışlardır. İnceledikleri tüf örneklerinin birim hacim ağırlık değerlerinin $1,367-1,856 \text{ gr/cm}^3$, hacimce su emme değerlerinin % 24,80-33,17, ağırlıkça su emme değerlerinin %27,04-32,30 arasında değiştğini belirlemiştir. Bunun yanında özelliklerini belirledikleri tüf numunelerden üretilen hafif betonun basınç dayanımı değerlerinin BS 16 betonuna eşdeğer dayanım gösterdiğini belirterek, hafif beton agregası olarak kullanılabilceğini belirlemiştir.

Tolgay vd. (2004), Nevşehir pomzasının jeolojik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini belirleyerek, yapı malzemesi olarak hafif betonda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Beton örneklerinin test sonuçlarından pomzanın yapılar için uygun malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

Ünal vd. (2006), Afyonkarahisar yöresi volkanik tuf agregaları kullanarak üretilen blokların özelliklerini araştırmak amacıyla, çimento dozajı ve su/çimento oranı sabit olmak koşulu ile karışıma giren agrega granülometrisi değiştirilerek farklı serilerde bloklar üretmişlerdir. Üretilen blokların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişler. Deney sonuçlarından; karışımdaki ince agrega oranının %50 dolaylarında kullanılmasıyla, özellikle ileriki yaşlarda en iyi basınç dayanımı, porozite ve ısı yalıtımının sağlanabileceği blok üretimi gerçekleştirmişlerdir.

2.2 Agregalar

Agrega, doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin genellikle 100mm'ye kadar çeşitli büyüklükteki kırılmamış veya karılmış tanelerinin bir yığıdır. Başka bir deyişle agrega, kum, çakıl, kırmataş, cüruf vb. mineral kökenli taneler olup, bir bağlayıcı yardımıyla beton, asfalt gibi sağlam bir kitle oluşturan çeşitli büyüklükteki kırılmamış veya karılmış tanelerdir. Agregayı oluşturan tanelerin bir bağlayıcı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemeye ise beton denir. Betonlar bağlayıcının türüne göre asfalt betonu, polimer betonu gibi adlar alırsa da, inşaat mühendisliğinde beton denildiğinde çimento ile yapılan beton anlaşılır. Agregaya beton hacminin yaklaşık % 60-80'ini oluşturur. Agregaya çimento ile genellikle kimyasal etkileşmeye girmez (Ekmekyapan ve Örüng 1997).

Agregaların beton içerisindeki rolü çok önemlidir. Granülometrisi, şekil yapısı, sertliği, betonun davranışını direkt olarak etkiler. Betonda kullanılmadan önce agrega özelliklerinin deneylerle belirlenmiş olması gerekir (Topçu 2006, Erdoğan 2003, İnt.Kyn.1).

Doğada bol miktarda bulunan agregalarla üretilen normal betonun birim ağırlığını düşürebilmek için, düşük birim ağırlıklı hafif agrega ile beton üretme çalışmaları 1950'lerden beri araştırılan bir konu olmuştur. Yeni yapım yöntemleri ile hafif agregaların, beton üretiminde kullanılması yapıya olumlu etkiler sağlamaktadır. Düşük birim ağırlıklı agregalar ile yapı ağırlığı önemli ölçüde azalmakta ve daha büyük

açıklıkta yapılar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yapı ağırlığının azalması, kesitlerin küçülmesine, donatının, maliyetin ve işçiliğin azalmasına neden olmaktadır. Taşıyıcı hafif beton üretiminde en yaygın yöntem de hafif agregalar kullanılmasıdır (Çelik ve Gürdal 2005). Hafif agregalar boşluklu yapıları nedeniyle düşük birim ağırlığa sahiptirler. Boşluklar arttıkça su emme ile birlikte ısı ve ses yalıtım özellikleri de artar, buna karşılık dayanımları azalır.

2.2.1 Hafif Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar genel olarak kaynağına göre, tane şekline göre, özgül ağırlığına göre ve tane büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadırlar. Ama bunların dışında çok değişik özellikleri ile de sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları kullanılacakları alana göre daha doğru tarzda kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır. Agregalar günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Beton malzemesi dışında, dolgu ve ıslah malzemesi, yol inşaatlarında asfalt ve temel malzemesi, demiryolu balastı olarak da kullanılmaktadır.

İnşaat sektöründe doğal agregalar kullanımı, sektördeki hızlı gelişmeye bağlı olarak mevcut kaynakların hızla tükenmesi ve çevresel etkiler göz önüne alındığında zamanla azalacağı beklenmektedir. Diğer taraftan kırma-eleme işlemleriyle kırılmış agregalar üretimi ve kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca, agregalar şeklinin beton dayanımında önemli bir rol oynadığı göz önüne alındığında, uygun kırıcı ekipmanlar kullanılarak kübik şekilli tanelerin üretilmesi kırılmış agregalar kullanımını arttıracaktır (Çavuşoğlu vd. 2004).

2.2.1.1 Doğal Hafif Agregalar: Genellikle volkanik ve tortul kökenli olan agregalardır. Meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan tüf, volkanik cüruf, bims (pomza), süngertaşı, diatomit gibi kayalardan elde edilirler. Hacim özgül ağırlıkları 0,5–1,5 arasında değişir.

2.2.1.2 Yapay Hafif Agregalar: Çeşitli endüstriyel fırınlardan elde edilen, ergiyerek topak haline gelmiş cüruf lar genellikle gözenekli olduklarından hafif agrega olarak kullanılabilirler.

2.2.1.3 İşlenmiş Doğal Hafif Agregalar: Kil, şeyl, perlit, vermikulit gibi kayaç lar döner fırınlarda veya hareketli ızgaralarda 1000°C ye kadar ısıtılırlar. Kapalı gözenekler içinde oluşan gazlar veya su buharı genişerek yumuşamış olan taşın hacmini büyütür. Vermikulit de genişleme plakalı içyapıdaki değişikten dolayıdır. Genleşmiş killerde hacim özgül ağırlıkları 0,6–0,9 arasında değişir. Genleşmiş perlit veya vermikulitin hacimlerinde 20–30 kat artış meydana gelir, hacim özgül ağırlıkları 0,24'ün altındadır.

2.2.1.4 İşlenmiş Yapay Hafif Agregalar: Yüksek fırından çıkan kızgın cürufun üzerine su püskürtülerek veya cüruf su ile hızla karıştırılarak oluşan su buharının gözenekli bir yapı meydana getirmesi sağlanır. Genleşmiş yüksek fırın cürufunun hacim özgül ağırlığı 0,3–1,1 arasındadır. Kömür yakan termik santrallerden elde edilen uçucu kül ıslatılıp toprak halinde fırınladığında içindeki karbon yanar ve yuvarlak taneli sinterleşmiş uçucu kül elde edilir. Hacim özgül ağırlığı 1,0–1,2 arasında değişir.

2.2.1.5 Organik Hafif Agregalar: Genellikle doğal veya yapay polimer kökenli maddeler, ahşap ve plastikler hafif agrega olarak kullanılabilir (Yeğinoğlu 1997).

Hafif agregaları birim ağırlıkları bakımından kullanım alanlarına göre üç grupta sınıflandırılır (TS 1114 EN 13055–1, 2004).

a. Birim hacim ağırlığı 6.50 KN/m³ den büyük olan hafif agregalar; bunlarla taşıyıcı hafif betonlar elde edilebilmektedir.

b. Birim hacim ağırlığı 4–6 KN/m³ arasında olan hafif agregalar; bunlarla yalıtım betonları ve orta dayamalı hafif betonlar üretilebilmektedir.

c. Birim hacim ağırlığı 4 KN/m^3 'den küçük olan hafif agregalar; bunlarla sadece ses veya ısıya karşı yalıtım amaçlı betonlar üretilebilir. Genellikle tane birim ağırlığı, en büyük tane çapı arttıkça azalmaktadır. Agreganın kaba kısmının bir miktarı yerine ince kısım kullanılacak olursa, hem dayanımda hem de birim ağırlıkta artış elde edilir. Agreganın kaba kısmının bir bölümü yerine tabii kum kullanılacak olursa, sözü geçen artışlar daha büyük ve aynı zamanda malzeme masrafı azalmış olur. En büyük agreganın boyutunun beton dayanımına etkisi üzerine yapılan araştırmalarda 25 veya 40 mm. nin üzerinde agreganın kullanılmasının özellikle ayrışmaya neden olması bakımından elverişli olmadığı savunulmaktadır.

Hafif agregalarda su emme fazla miktarda olduğundan, emme suyunun karışım yapmadan önce agregaya mutlaka emdirilmesi gerekir. Aksi halde hidrasyon ve işlenebilirlik için gerekli olan yoğurma suyunun büyük bir bölümünü agregaya hemen emerek, beton bünyesinde ağ şeklinde rötrel çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Bu çatlaklar betonun ıslak ortamda saklanması durumunda da önlenememektedir. Su/Çimento oranını belirleyecek olan karışım suyu, emme suyundan ayrı olarak kullanılır ki, bu bakımdan karışım suyu iki kısımda düşünülür.

- Gerçek su: Hidrasyon ve işlenebilirliğin sağlanması için,
- Emme suyu: Burada emme suyu agregalarda 30 dakikalık su emme deneyi yapılarak % olarak belirlenmiş ve bulunan değerler esas alınmıştır.

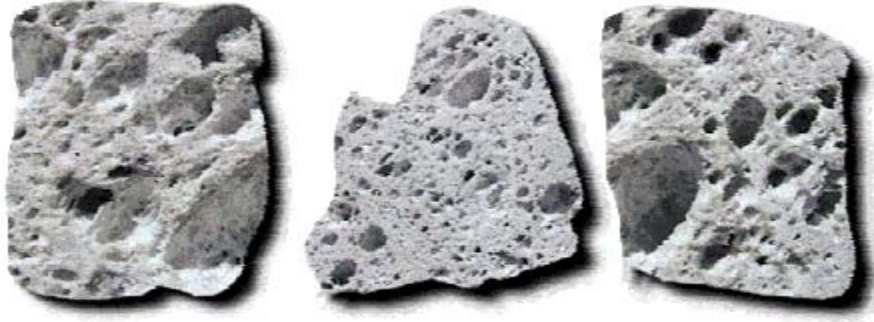
Agreganın granülometrisi, normal betona benzemekle beraber, iri ve ince hafif agregaların tanelerinin farklı yoğunluklara sahip olması ve tane biçimlerinin köşeli oluşundan dolayı yüzey yapıları pürüzlü olmaktadır. Bu nedenle, hafif beton karışımları normal betonlara oranla daha fazla ince tane oranına gereksinim gösterir. İyi bir işlenebilirlik için hafif beton karışımlarında toplam agreganın hacminin % 40-60'ı oranında ince agregaya gerek duyulur. Hafif betonun işlenebilmesi için gerekli su miktarı, genellikle normal beton agregasından daha fazladır. Hafif betonun ağırlığının az olması nedeni ile çökme değerleri, ayrı bir kıvam için normal betona göre bir miktar daha az çıkmaktadır. Hafif beton bileşiminin ancak uygun deneysel araştırmalar sonucu uygulama amaçlarına göre tayin edilebileceği belirtilmektedir (Topçu vd. 2005).

2.2.2 DOĞAL HAFİF AGREGALAR

2.2.2.1 POMZA (BİMS)

a. Tanımı ve Oluşumu

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, küvek, kisir gibi pek çok adla anılmaktadır (DPT 2001).



Şekil 2.1 Pomzanın genel olarak görünümü.

Pomza boşluklu, süngerimsi olup, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeye kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza agregası kullanılarak üretilen yapı malzemeleri, ısı ve ses izolasyonu sağlaması nedeniyle inşaat sektöründe önemli kullanım alanlarına sahiptir (Ünal 1997, DPT 2001).

Pomzanın oluşumu genelde şu şekilde açıklanmaktadır. Asidik magma bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma kati halde bulunur. Volkanik aktivitenin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayalık ve kütleler oluşur. Volkanik bacanın tıkanmasıyla doğal basınç

birikimleri oluşur. Basıncın artmasıyla asidik malzemeyle birlikte magmadaki ergimiş gazlar büyük patlamalarla bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç sertleşmesi ani genişmeleri oluşturur. Bu sırada bünyedeki uçucu bileşenlerin ani olarak kaçmasına neden olur. Uçucuları takiben, arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar, böylelikle pomza oluşur. Oluşan bu poroz pomza kayacı havadan akma mekanizması ile aktif volkan krateri ve civarında mevcut topografya üzerine yığılır. Aktivasyonu yavaşlayan volkanizma faaliyeti sonrası püsküren tuf ve sonrası meydana gelebilecek alüvyonal formasyonlar pomza katmanlarının üzerini muhtelif kalınlıklarda örtebilir (Gündüz 1988, Davraz 2001).

Yoğun erozyon etkilerinden korunmuş pomza katmanları, günümüzde ekonomik öneme sahip yatakları oluşturmuşlardır.



Resim 2.1 Pomza katmanı ve açık ocak işletmesinden bir görünüm.

Pomza kendisine özgü bazı özellikleriyle benzer volkanik kayalardan (perlit, obsidyen) ayrılır. Pratik olarak ayırmamız gerektiğinde rengine, gözenek durumuna ve kristal suyunun olması bakılarak ayırt edilebilir. En çok renk benzerliği ve kristal yapısı bakımından perlit ile karıştırılır. Pomzalı perlit veya perlitik pomza olarak adlandırılabilen geçişli kayalarla petrografik analizlerle ve gözenek yapısından ayrılabilirler (Ünal 1997, İnt.Kyn.2).

b. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Pomzanın sertliği mohs skalasına göre ortalama 5-6'dır. Pomza, kendine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayalardan ayrılır. Bu ayrımlar rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması gibi pratikte görülen farklılıklardır. Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucunda iki tür pomza oluşmaktadır. Bazik pomza; koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlıkları $1-2 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Asidik pomzanın yoğunluğu $0,5-1 \text{ g/cm}^3$, bazik pomzanın yoğunluğu $1-2 \text{ g/cm}^3$ olup bunların kimyasal farklılıkları Şekil 3.3.2.'de sunulmuştur. Pomzalar, gözenekli yapılarından dolayı yüksek gözenekli yapıya sahip olmalarına karşın, gözeneklerinin birbiriyle bağlantılı olmamalarından dolayı düşük geçirgenliğe sahiptirler ve bu nedenle su üzerinde çok uzun süre yüzebilirler. % 2-3 gibi bir neme sahip olduklarında çok zor kırılmalarına karşın sıfır rutubette kolay kırılırlar. Sertlikleri esasen toz halinde önemlidir. Pomza, kayaç olarak sert olmasa da toz malzeme olarak çeliği aşındıracak sertliğe sahiptir. Her iki pomza türü de, ani soğuma ve oluşumu sırasındaki gazların bünyeyi ani terk etmesi sonucu oldukça gözenekli yapılara sahiptirler. Pomzanın su emme özelliği %50'den fazladır. Porozitesi ise %75-80 civarındadır (Serin 1999, Ulusoy 2004).

Asidik ve bazik pomza madenin temel farklılıkları şunlardır; Bazik pomzaların yoğunluğu genel olarak $\geq 1 \text{ gr/cm}^3$ den büyüktür. Renkleri kahverengimsiden kırmızıya, koyu griden siyaha kadar değişir. SiO_2 oranı $< \% 50$, Fe_2O_3 oranı genel olarak $> \% 5$ den büyüktür. Asidik pomza ise bazik pomzaya göre daha hafif olup genel olarak yoğunluğu $< 1 \text{ gr/cm}^3$ den azdır. Bu yoğunluk $< 0,35 \text{ gr/cm}^3$ altına kadar düşebilmektedir. Rengi açık griden beyaza kadar değişebilir. SiO_2 oranı $> \% 50$, Fe_2O_3 oranı genel olarak $< \% 3$ tür. Bazik pomza, volkanik cüruf olarak da adlandırılmaktadır. Genel olarak inşaat sektöründe kullanım alanı bulan bazik pomza, ziraatta de çok nadir de olsa uygulama imkânı bulabilmektedir. Ancak endüstride, asidik pomza kadar yaygın bir kullanım alanına ve ekonomik değere haiz değildir (Davraz 2001).

Çizelge 2.1 Genel olarak pomzanın fiziksel özellikleri (Davraz 2001).

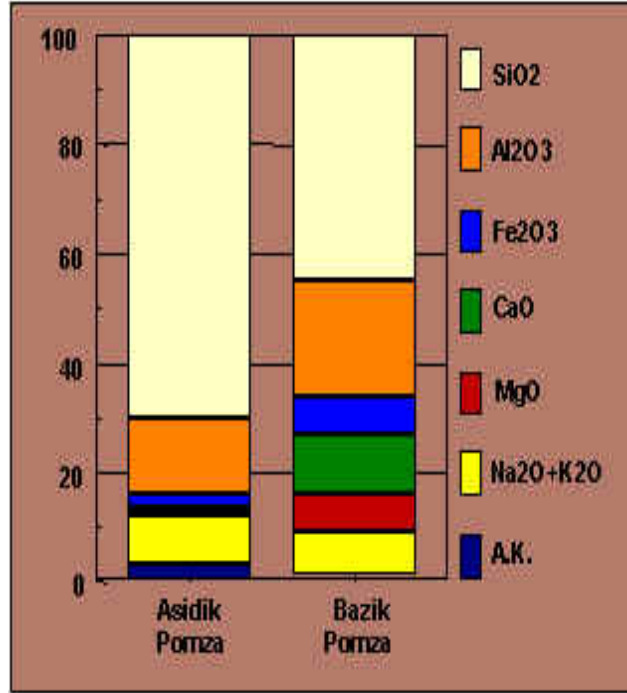
Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık griden, kirli beyaz
Kristal Şekli	Amorf (kristal şekli yok)
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5,5 – 6
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0,32 – 0,97
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1,9 – 265
Porozite (%)	45 – 70
Rötre mm/m	2
Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (kcal/m.h)	0,12 – 0,20
Isınma Isısı (Cal/gr.°C)	0,24 – 0,28
Ses Yalıtımı (Db)	40 – 55
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	16 – 30
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 – 70
Buhar Difüzyon Katsayısı (η)	5–10

Pomza bulunduğu yere göre değişik kimyasal bileşime ve farklı yapısal özelliklere sahip olabilir. Pomzanın genel kimyasal bileşimi ; % 60-75 SiO₂ , % 13-17 Al₂O₃ , % 1-3 Fe₂O₃ , % 1-2 CaO, %7-8 Na₂O - K₂O ve eser miktarda Ti O₂ ve SO₃'den oluşmaktadır. Kayacın içerdiği SiO₂ oranı kayaca abrasiflik özelliği kazandırmaktadır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Pomzada bulunan Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya karşı yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır. Na₂O ve K₂O tekstil sanayisinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir (Dizayn 2006).

Pomzalarda genel olarak kimyasal bileşim şu şekildedir (İnt.Kyn.2).

Çizelge 2.2 Genel olarak pomzanın kimyasal bileşenleri.

Kimyasal Bileşeni (%)	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	60-75	45-55
Fe ₂ O ₃	1-3	7-10
Al ₂ O ₃	13-17	21-25
CaO	1-2	11-13
Na ₂ O+ K ₂ O	7-8	5-6
TiO ₂	-	-
SO ₃	-	-



Şekil 2.2 Genel olarak pomzanın kimyasal bileşenleri.

Pomza, gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek izolasyon etkileri, atmosferik şartlara olağanüstü direnci ve yüksek puzzolonik aktivesi nedeniyle insanoğlunun kullandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pomza, amfi tiyatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yapılar zamana karşı hala direnmektedir.

Pomzalar kırılganlıkları, sertlikleri nedeniyle aşındırıcı olarak; el sabunlarında, temizlik malzemelerinde, kozmetik temizleme ürünlerinde, diş parlatma tozlarında, katkı olarak silgilerde, ayrıca ızgara temizleyiciler olarak, televizyon tüpü camlarının parlatılmasında ve tekstilde, kot giysilerinin ağartılması ve yumuşatılmasında ve dericilikte kullanılırlar. Kot giysi sektöründe kullanılan pomzaların beyaz renkli, kırılganlık dayanımları yüksek, kuru gözenekli, Al₂O₃ oranları % 18' den az olmaları ve mika içermemeleri istenir. Kumaşları yırtmaması için tekstil pomzasının köşeleri

yuvarlatılmış olmalıdır. Kot ürünlerinin yıkanmasında bir ürün için yaklaşık 0,5–1 kg pomza tüketilir (Ulusoy 2004).

c. Pomza Tarihi ve Kullanım Alanları

Pomza Hıristiyanlıktan çok önceleri ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Pomza taşının bilinen en eski referansı MÖ I. yy.' da Vitruvio'ya ait mimari özete dayanmaktadır. Vitruvio yığınları sudan hafiftir. Bu nedenle de yüzücü olarak tanımlanır. Ayrıca suyu emmediğini ve hijyenik olduğunu da belirtir. Eski Romalılar zamanında, pomza taşı çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu eserleri bugün bile halen görülebilir. Bu dönemlere ait en belirgin örnekler Roma Panteonu ve İstanbul'daki Ayasofya Camiidir. O dönemlerden sonra pomza taşı 1800'lerde Almanya'nın Rhmenland şehirlerinde tekrar ortaya çıkmıştır. Avrupa genelinde ise pomza taşına ilgi gösterilmemiştir (Andrew ve Willian 1978, Tolgay vd.2004).

Amerika'da sağlamlaştırılmış pomza Kaliforniya'da 1851'den beri bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Bu tarihten 1963'e kadar yerli pomza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar genişlemiştir. San Francisco yakınlarındaki Mercet Gölü'nden aşındırıcı pomza olarak kullanılmak üzere 1983'te 70 ton üretilmiştir. Pomza çimento ile karıştırılarak Los Angeles su kemerinin yapımında 1908'den 1918'e kadar kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde beton agregası olarak 1935'te kullanılmaya başlanmış ve bundan sonra da düzenli bir artış göstermiştir.

Mevcut kaynaklardan elde edilen bilgilere göre Türkiye'de 1972 yılından bu yana pomza üretiminin yapıldığı belirlenmiştir. Pomza rezervi bakımından oldukça önemli bir potansiyele sahip olan ülkemizde, araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar metreküplük bir pomza potansiyeline sahiptir. Rezervin İç Anadolu bölgesinde yoğunlaşmış olmasına karşın, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de önemli pomza rezervlerine rastlamak mümkündür (Tolgay vd.2004, Serin 1999).

Teknolojik özellikleri ve birçok endüstriyel hammadde türüne göre değişik avantajlara sahip olan pomza (bims) taşı, giderek artan bir eğilimle, farklı endüstri dallarında yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

Son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomza taşı, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı, inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Pomza taşı, yalnızca inşaat sektöründe değil, tarım sektörü, kimya sektörü, tekstil sektörü, aşındırıcı sanayi gibi endüstri alanlarında da çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda kimya endüstrisinde zeolit yapımında, DNA ekstraksiyonunda, atık su arıtımında, kataliz üretiminde kullanım olanakları bulmuştur (Davraz 2001, Küçükyavuz 1996, İnt.Kyn.3).

Pomzanın Kullanım Yerleri:

- Hafif beton üretiminde agrega olarak,
- Tekstil sanayinde arıtıcı olarak,
- El sabunları ve deterjan üretiminde,
- Her türlü filtrelerde süzücü olarak,
- Ses ve ısı yalıtımında,
- Elektrolizde kaplanacak metallerin cilalanmasında,
- Toprak ıslahı ve tavukçulukta,
- Tarım ilaçlarının taşınmasında,
- Ahşap işlerinde cila ve dolgu maddesi yapımında,
- Asfalt yapımında,
- Çimentoda puzolan madde olarak.

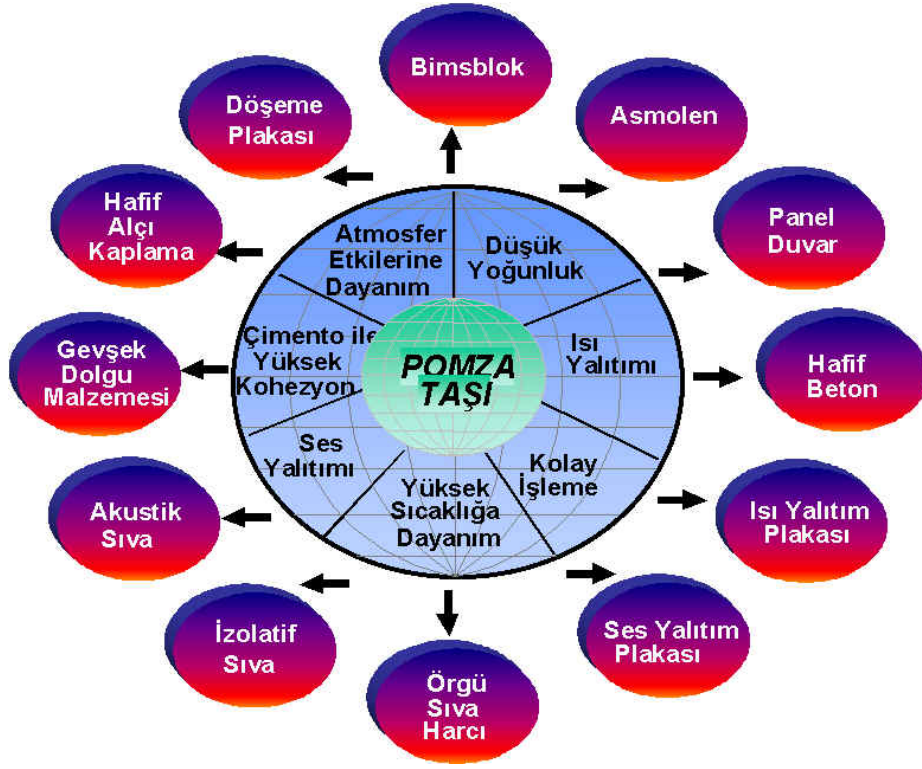
d. İnşaat Sektöründe Kullanımı

Son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomza taşı düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı, inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Türkiye’de pomza sektörünün üretimini talep eden en önemli sektör inşaat sektörüdür. Bu nedenle yurt içi pomza talebi ve fiyat politikası inşaat sektöründeki ivmeye bağlıdır.

Pomza taşının pek çok ülkede geniş kullanım alanları olmasına karşın, ülkemizde hazır beton endüstrisinde kullanımı yaygın değildir. Dünya da özellikle tek katlı veya dubleks konutlarda, gürültü kirliliğinin yoğun olduğu havaalanları ve otoyolların çevreden izole edilmesi amacıyla yapılan çevre duvarlarının inşasında, konser, tiyatro, disko, sinema, gibi akustiğin ve ses yalıtımının ön plana çıktığı sosyal ve kültürel mekanların inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal betona oranla $1/2-2/3$ oranında daha hafif olan pomza betonunda inşaat demirinden % 13–17, işçilikten % 30 oranında tasarruf edildiği bilinmektedir. Bunun yanında, normal betonun ısı iletkenlik değerinin ortalama 2 kcal/m.h.°C olmasına karşın, pomza betonun ısı iletkenlik değeri 0,3 – 0,5 k.cal./m.h.°C dir. Bu değerler pomza betonunun normal betona oranla 4 ila 6 kat daha fazla yalıtım özelliğine sahip olduğunu göstermektedir (Davraz 2001, Dizayn 2006).



Şekil 2.3 Pomza agregası kullanılarak üretilen inşaat malzemesi (biriket).



Şekil 2.4 Pomza taşının inşaat sektöründe kullanım alanları.

e. Tekstil Sektöründe Kullanımı

Tekstil sektöründe üretilen kot, denim ve jean gibi kumaşlara yumuşaklık ve çekicilik kazandırılması için 20 seneye yakın bir süredir taş yıkama prosesi uygulanmaktadır. “Stone –Wash” olarak adlandırılan bu işlem öncelikle Amerika ve Avrupa da gelişmiş daha sonra bu kumaşları üreten diğer ülkelerle birlikte ülkemizde de yaygınlaşmıştır. Ülkemiz pomza ihracatının önemli bir kısmını “tekstil pomzası” olarak adlandırılan iyi kalitedeki bu pomza türü teşkil etmektedir. Nevşehir, Kayseri, Van yörelerinde üretilen tekstil kalitesindeki pomza başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, Fransa, Almanya, Hong Kong, Fas, Tunus gibi ülkelere ihraç edilmektedir (Davraz 2001).

f. Tarım Sektöründe Kullanımı

Volkanik topraklar kendi doğal yapısı ile birlikte çürüyen bitkiler, insan ve hayvan yaşamının sağladığı ek besinlerle, bitki yetiştirmek için çok elverişli bir ortam sağlamaktadır. Pomza taşının %85 oranında gözenekli olması hafif yoğunluk özellikleri göstermesine neden olur. Pomza taşının en küçük birimi dahi irili ufaklı birçok gözeneklerle doludur. Pomza taşı toprağı daha gözenekli bir hale getirerek havalandırır. Ayrıca toprağın özelliklerini ıslah etmek ve suni gübrenin topaklaşmasını engellemek amacı ile kullanılmaktadır. Pomza, toprak olarak seralarda, turunç yetiştirilen bölgelerde, meyveliklerde, çim sahalarda ve tüm tarım bölgelerinde kullanılmakta olup, uygulama sonuçları mükemmeldir.

g. Kimya ve Diğer Sektörlerde Pomza Kullanımı

Öğütülmüş pomzanın sıkıştırılıp ve yapıştırıcı kullanılmadan pişirilmesiyle, kozmetik sanayinde kullanılan pomza elde edilir. Bunun yanında kimyasal taşıyıcı olarak, diş macunu yapımında, gerçek ve takma dişlerin parlatılmasında, boyalarda dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca el sabunlarında, cam temizleyicilerinde ve silgi yapımında da kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen sektörler haricinde abrasif sanayinde de kullanılmaktadır. Pomza çok kırılabilir ve sertliği 5-6 civarındadır. Öğütme sırasında camsı, midye kabuğu şeklinde kırılır ki keskin kenarlı yapısı en ince boyutuna indirildiğinde bile kalmaktadır. Oldukça hafif aşındırıcı olarak sınıflandırılan pomza gerek doğal, gerek doğal olmayan madeni eşyaları ve yumuşak metalleri (gümüş gibi) cilalamakta kullanılır (Uygunoğlu 2005).

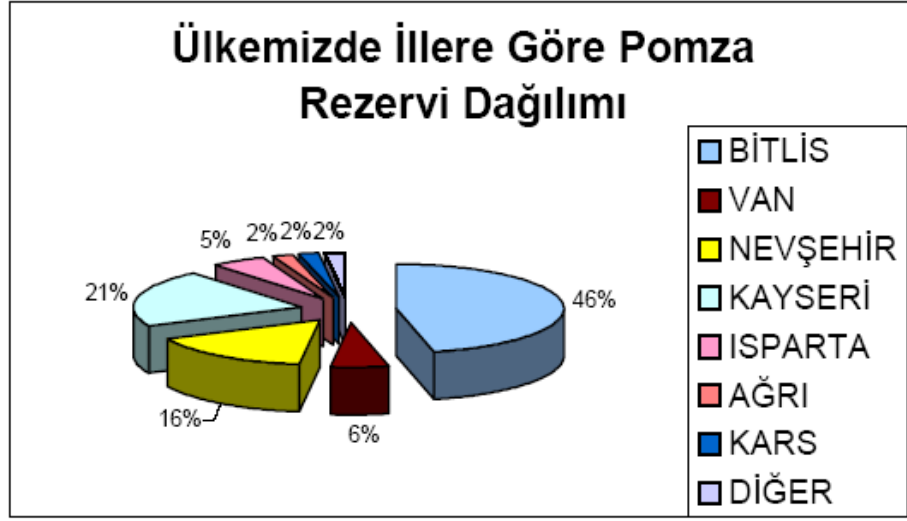
h. Türkiye’de Yatak ve Rezervleri

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre ülkemizde 2,8 milyar ton (görünür+muhtemel+mümkün) pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Dünya pomza rezervlerinin 15 milyar ton civarında olduğu tahmin edildiğinden, Türkiye dünya rezervinin yaklaşık 1/5’i gibi önemli bir kısmına sahiptir. Bu toplam rezervin yaklaşık 1,5 milyar tonu Bitlis-Tatvan, 0,5 milyar tonu ise Nevşehir-Avanos-Ürgüp bölgelerindedir. Dünyada pomza rezervleri konusunda sağlıklı bilgiler bulunmamaktadır. Dünya’ nın en önemli pomza üreticileri sırasıyla, İtalya, İspanya, Türkiye, Almanya, ABD, Yunanistan, İran, Guadalup, Martinik ve Dominik’ tir (Davraz 2001).

Ülkemizdeki önemli pomza rezerv alanları aşağıdaki Çizelge 2.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.3 İllere göre pomza rezerv dağılım oranları.

Pomza Rezerv Alanı	Rezerv Miktarı (1000 m³)	Rezerv Kategorisi
Bitlis-Tatvan	1,100,000	A + B
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	400,400	A + B
Kayseri-Talas-Tomarza	284,000	B
Kayseri –Talas-Tomarza	241.000	A
Bitlis-Ahlat	154.000	A + B
Isparta-Gölcük-Karakaya	100.000	C
Van-Erciş-Kocapınar	154.600	
Kayseri -Develi	58.500	A + B
Nevşehir-Derinkuyu	48.660	C
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.000	B
Isparta Gölcük-Karakaya	31.000	A + B
Ağrı-Patnos	27.800	A + B
Ağrı –Doğubeyazıt	26.800	A + B
A : Görünür Rezerv B: Mümkün Rezerv C: Muhtemel Rezerv		



Şekil 2.5 İllere göre pomza rezerv dağılım oranları.

2.2.2.2 DİYATOMİT

a. Tanımı ve Oluşumu

Aktif diyatomit üretiminde kullanılan hammadde Almanca "Kieselgur", veya İngilizce "Diatomite" olarak adlandırılan endüstriyel bir mineraldir. Libya kaynaklı diyatomitler resmi dokümanlarda "Tripoli", Danimarka'nın killi diyatomitleri ise "maler toprağı" olarak adlandırılmaktadır. Diyatomit, algler sınıfından su canlıları olan diyatomelerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil karakterli bir sedimanter kayadır. Diyatome içinde yaşadığı çevre suyundan temin ettiği silisten yapılmış kabuk veya kavkı içinde yerleşmiş çok küçük bir protoplazmadır. Geniş ve sığ havzalar, çok miktarda suda erimiş silis ve temiz sular, gelişmesini sağlayan ve hızlandıran faktörlerdir. Sayıları 16.000 e ulaşan farklı diyatome çeşitleri tatlı sularda, denizlerde veya hafif tuzlu sularda gelişmektedirler. Ölen diyatomelerin dibe çöken kabukları birikerek diyatomit yataklarını oluşturmaktadır. Çok aktif diyatome kolonileri yılda birkaç milimetre kalınlık yaratacak bir çökeltme hızına ulaşabilmektedirler. Diyatomeler ilk defa 65-135 milyon yıl önce Kretase çağında çok büyük miktarlara ulaşmışlar ve

bugün ticari değeri olan yatakların çoğunu ise Miyosen çağında (7-27 milyon yıl önce) meydana getirmişlerdir (DPT 2001).



Resim 2.2 Diatomitinin doğadan görünümü (Nevada and Oregon/USA).



Resim 2.3 Diatomitinin doğadan görünümü (Afyonkarahisar/Turkey).

Diyatomit, volkanik faaliyet sahalarına yakın bölgelerde tatlı ve tuzlu sularda yaşayan tek hücreli, mikroskobik, silisten yapılmış bir yosun türü olup, diatomların ölmesi ve silisli kavrıklarının bir araya toplanması sonucu meydana gelmiş organik tortul kayalar olarak ta tanımlanır. Minerali meydana getiren diatomeler bugün de denizlerde ve göllerde yaşamlarını sürdürmektedirler. Fakat sayıları geçmiştekinin çok küçük bir oranı kadardır. Su içindeki ergimiş silis oranı, diyatome ve üreme hızlarını etkiler. Miyosen ve pliyosen dönemlerinden meydana gelen volkanik patlamalarla silis oranının yükseldiği ve diyatome için uygun bir hayat ve üreme ortamı sağlandığı söylenebilir. Nem ve ışıkla da beslenen diyatomlar, genellikle koloniler halinde denizlerde, göl ve nehir yataklarında veya bireyler halinde ıslak kayalarda gelişmişlerdir. (Aruntaş 1998, Uygunoğlu 2005).

Silisli alg iskeletleri (diatome) artıklarından oluşmuş çok gözenekli bir tortul kayadır. Türlerine göre diyatome, tatlı ve tuzlu suda yaşayabilirler, ancak diyatomit oluşması için çökelme ortamının sakin olması gereklidir. Bu kayac, diyatome toprağı, kizelgur ve randanit adı ile de bilinir. Danimarka'da %8-12 oranında kıl ve karbonat içeren ve genellikle yalıtım tuğlası üretiminde kullanılan diyatomitler Moler Toprağı adı altında

da anılırlar. Aşındırıcı ve tuğla üretiminde kullanılan diyatomitin asıl kullanım alanı filtre sanayidir. Dünyada üretilen diyatomitin ancak %5'i hafif agrega olarak tüketilir. Kalsinasyon, diyatomitlerin agrega olarak kullanılabilmesi için en önemli engel teşkil eden aşırı su emmelerini azaltır ve betonda kullanımına olanak sağlar (Urhan 1997).

b. Diyatomitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Diyatomit, amorf silis yapılıdır ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Tebeşir görünümünde olup kavkı iriliği 2-200 μm arasında değişmektedir. Doğada 15 bine yakın çeşidi vardır. Biçimleri çok çeşitli olmakla beraber genel olarak yuvarlak tepsi veya uzun balık görünümünde olurlar. Genellikle gevşek halde olup un gibi elde dağılırlar ve dişler arasında çatırdar. En önemli fiziksel özelliği Masif veya tabakalı saf diyatomitler gevrek, gözenekli, düşük görünür yoğunluklu ve tebeşir görünümündedir. Diyatomit tane büyüklüğü 5 mm. ile 10 mm. arasında sıralanır. Bir diyatomitte tane boyu dağılımı diyatomitlerin türüne, iriliğine, kavkılarının tam veya kırıklı oluşuna, kil kum gibi katkılarının varlığına ve oranına bağlı olarak değişir. Organik madde ihtivasının kaynağı sedimanter çamurdan çürümüş bitki kalıntılarına kadar değişir.

Diyatomit taneciklerinin sertliği Mors ölçeğine göre 4,5-6 arasında olup kayaç olarak sertliği 1,5 dolayındadır. Porozitesi %80-85 arasındadır ve kuru halde özgül ağırlığı 0,15-0,40 g/cm^3 arasında değişmektedir. Yüksek su emme özelliği ile ağırlığının üç katına kadar su alabilir. Renkleri beyaz, açık sarı, bej rengi olabileceği gibi organik malzeme yönünden zengin olanlar yeşil, kahverengi hatta siyaha yakın olabilirler (Aruntaş 1998, Serin 1999, Uygunoğlu 2005).

Isı iletkenliği 100-300°C de 0,08 $\text{Kcal/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$., 800°C ve yukarısında ise 0,11 $\text{Kcal/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ mertebesindedir. Ergime noktası ihtiva ettiği safsızlıklara bağlı olarak 1000-1590°C arasında değişir. Diyatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert olup yalnız yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak ta sadece HF (hidroflorik asit) ten etkilenir (DPT 2001).

Türkiye’de bulunan 13 farklı diyatomit yatakları üzerinde yapmış olduğu araştırma sonucunda kimyasal özellikleri bakımından ana bileşenlerinin max. ve min. değerleri aşağıdaki tabloda görüldüğü gibidir (Uygunoğlu 2005).

Çizelge 2.4 Genel olarak diyatomit örneklerinin kimyasal bileşim değerleri.

Kimyasal Bileşen	% Min.	%Max.
SiO₂	65.42	87.48
Al₂O₃	0.81	3.42
Fe₂O₃	0.64	2.48
CaO	0.71	9.37
MgO	0.39	7.20
A.K.(900°C)	3.54	13.42

Bir diyatomit yatağının saf ve temiz olması, oluşumu sırasındaki diyatomların hızla gelişmesinden çok tortul kayacın içindeki yabancı maddelerin varlığına bağlıdır. Yabancı madde olarak organik maddeler; kum, silt, kil, kalsiyum ve magnezyum karbonatlar, toprak alkali tuzları, demir vb. maddeler diyatomitin saflığına bağlı olarak kayaç içinde değişik oranlarda bulunur. Türkiye diyatomitleri içindeki yabancı malzemelerden kum, silt ve kil gibi yabancı maddeler, diyatomit yataklarının oluşumu sırasında, suda bulunan diyatomitler için suda bulunan diğer hayvansal ve bitkisel artıklardan oluşurken, suyun çekilmiş olduğu bölgelerde ise dış etkiler olan rüzgar veya akarsular vasıtasıyla birikmişlerdir. Kalsiyum, magnezyum ve karbonatlar ise ya diyatomlarla beraber ya da oluşmuş diyatomit üzerine çökerek diyatomit içine karışmışlardır.

c. Diyatomitin Tarihi ve Kullanım Alanları

Dünyada diyatomitin kullanımı çok eskiye kadar uzanmaktadır. MS. 530 yılında İstanbul'da inşa edilen Ayasofya Camii'nin kubbesinde, hafifliği nedeni ile diyatomit tuğlası kullanıldığı bilinmektedir. Avrupa'da 30 yıl savaşları sırasında diyatomit una karıştırılarak ekme yapılmıştır. Bu ekmeğin lezzetli, fakat çiğnenmesi ve hazmının güç olduğu bildirilmiştir. Bilimsel olarak endüstride ilk kullanımı, 1867 yılında Alfred Nobel tarafından 3/1 oranında nitrogliserin-diyatomit karışımı ile dinamitin taşınabilen patlayıcı madde olarak üretilmesi ile olmuştur. 19. yüzyılın ikinci yarısına kadar dolgu ve izolasyon malzemesi olarak kullanılan diyatomit, bundan sonra şeker kamışı süzme işleminde kullanılmaya başlanmıştır. 20. yüzyılın başında A.B.D.'nin California eyaletinde önemli yatakların bulunması ile üretim ve teknolojisinde büyük ilerlemeler sağlandığı belirtilmektedir.

Dünyada günümüzde çok farklı sanayi dallarında esas ve yardımcı ham-madde olarak kullanılan diyatomitin kullanım alanları aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

- a. Süzme (filtrasyon) maddesi,
- b. Dolgu maddesi,
- c. Yapı malzemesi,
- d. Yalıtım malzemesi,
- e. Refrakter malzeme,
- f. Çimento puzolanik malzemesi,
- g. Absorban (emici),
- h. Katalizör taşıyıcısı,

1. Sentetik silikat üretimi,
 - i. Hafif aşındırıcı ve temizleyici,
 - j. Kimyasal gübreler için sertleşmeyi önleyici,
 - k. Diş macunu, temizlik maddeleri, ilaç, kağıt, ince film, otomobil lastiği, plastik, seramik, kozmetik, boya, cila, sır, yangın söndürücü, kibrit, cam, petrol gibi çeşitli alanlarda kullanımı bilinmektedir (Aruntaş 1996, Serin 1999, DPT 2001, Çubuk 2001, Uygunoğlu 2005).

2.2.2.3 TÜF

Andezit-bazalt-tüf gibi volkanik kökenli kayaların son yıllarda sıva, dolgu duvar malzemesi, cephe yalıtım kaplaması, parke taşı, taban döşemesi ve beton üretimi gibi birçok yapı sektöründe kullanımı giderek artmaktadır. Bu tür kayaların ısı ve ses yalıtımına sahip olmalarının yanı sıra diğer karbonatlı kayalara (kalsit, dolomit vs.) göre daha sert ve yüksek dayanımlı olmalarından dolayı inşaat sektöründe kullanımı giderek artmaktadır.

a. Tanımı ve Oluşumu

Tüf, yanardağdan püsküren magmadan aniden ayrışıp soğuyan ve bünyesindeki gazların kaçması sonucu gözenekli olarak oluşan piroklastik (ateşte parçalanmış) tanelerin meydana getirdiği, tortul olarak ta kabul edilen kayalara verilen genel bir isimdir (Yeğınobalı 1997).

Bünyelerinde yaygın bir şekilde gaz boşlukları vardır. Sayılamayacak biçimdeki gözenekleri yarı erimiş lavın parçalanmasına eşlik eden hızlı soğuma esnasında gazın genişlemesinden oluşur ve tüf ve tüfit çoğu kez iç içe karışmış olarak bulunurlar. Tüf

hücreli yapı göstermeyen camın sert tozları veya kuvars feldspat ve mafik minerallerin çok ince kristallerini kapsayabilir. Tüfit mineral tanelerini ve patlama ile fırlatılmış kayaç tozlarını kapsar.

Tüflerin oluşumu ani şiddetli bir patlama sonucu, ya da içinde az yada çok akıcı magmanın bulunduğu gaz patlaması ile gerçekleşir. Hemen hemen aynı anda oluşan toz ve kütlelerin miktarı zamanla çok büyük miktarlara ulaşır. Bunların kabarcıkları sadece dışarı çıkarken ve şekillenme sırasında erimiş sıvı tabakaların yüzeyinde oluşur. Gerçekte kendi mecrası içindeki bir magmanın bünyesi vasıtası ile aynı anda meydana gelmiş olmalıdır. Burada buharın aniden serbest kalması için bir gayzer kuyusunun boşalmasından kaynaklanan, aşırı akış ile basıncın kabarması üzerinde biraz benzerlik vardır. Ancak bu olay gayzer'den farklıdır. Sonraki yalnızca bir araçtır, su, magmada uçucu olmayan gazlar bulunurken, az ya da çok viskoz silikat eriyik vardır. Eğer gaz kabarcıkların ani oluşumu magmayı kırmak için yeterli kuvvete ulaşmaz ise, sonradan hacim olarak dev boyutlara genişleyecektir.

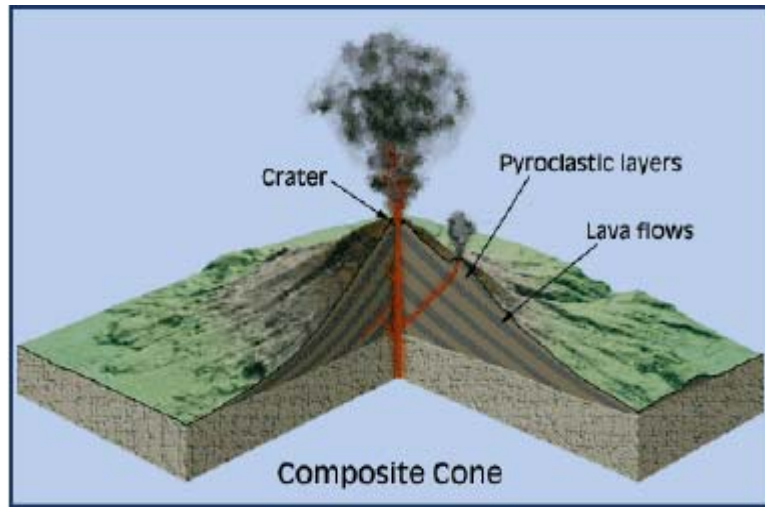
Tüf ve tüfit patlayıcı volkanizma ürünü olan malzemenin depolanma ortamında çökmesi sonucunda oluşan volkano sedimanter bir kayaç çeşididir. Çimento görevini birikme yerinde oluşan neoformasyon mineralleri (kalsedon, kuvars, kalsit) görebildiği gibi yine volkanlar tarafından çıkarılan küllerde görebilir. Bu nedenle piroklastik kayaçlar daha çok kor kayaçlara benzerler ve onlardan ayırt edilmeleri oldukça zorlaşır. Bazen de tortul kayaçların belirgin özelliklerini gösterirler. Volkanik tüfler, volkanizma sırasında şiddetli patlamalarla genellikle katı halde dışarı püskürtülen, değişik tane büyüklüğündeki malzemenin birikmesiyle volkanik ve sedimanter kayaçlara benzer özellikler gösteren piroklastik kayaçlardan oluşurlar (Demir 2001, Erkan 1995).

Puzolanlar kireç ile kimyasal reaksiyona girerek, su karşısında sertleşme kabiliyetine sahip maddelerdir. Kireç ile reaksiyon yavaş ancak sürekli. Reaksiyon olabilmesi için bu maddenin çok ince öğütülmesi gerekmektedir. Farklı puzolanlar bünyelerinde farklı oranlarda silis, alüminyum, kireç, demir oksit ihtiva ettiklerinden sabit bir kimyasal bileşim oranları yoktur. Puzolan olarak tanımlanan volkanik malzemeler TS 25 de "Tras" olarak adlandırılmıştır.

Tüf, tüfit açık renkli, silisli volkanik camlardır. Tüf ve tüfit arasındaki fark tane boyutu esaslı üzerine kurulur. Kullanımında bazı tutarsızlıklar olmasına rağmen 2 veya 3mm'den büyük taneliler (ince çakıl boyutu veya kaba kum) genellikle tüf olarak adlandırılırlar. Bu ebatlardan daha aşağı olanlar ise toz tüfit olarak isimlendirilmiştir (Demir 2001).

b. Piroklastik Kayaçların Oluşumu

Volkanik ve subvolkanik koşullar altında gelişen, uçucu bileşen içeriği fazla, özellikle asidik-ortaç bileşimli ve viskozitesi yüksek magmalar ile ilişkili magmatik faaliyet esnasında çok şiddetli patlamalar meydana gelir. Bu patlamalarla dışarıya çok miktarda katı ve sıvı halde malzeme püskürtülür. Bu tür faaliyete genellikle pliniyen tipi püskürtme adı verilmektedir. Malzemenin dışarı atıldığı baca ve çevresinde daha önce oluşmuş değişik tür ve bileşimdeki kayalarda bu tür patlamalardan etkilenir ve parçalanır. Atmosfere püskürtülen bu malzeme, tane büyüklüğüne bağlı olarak, çıkış noktasının yanına düşer veya çok uzaklara kadar gidebilir. Karasal ortamlarda, denizel/gölsel ortamlarda birikebilir. Bazen bu malzemenin topografya eğimine uygun olarak bir piroklastik akıntı olarak hareket etmesi ve birikmesi de mümkün olabilir. Bu malzemenin pekişmesi, birbiriyle bağlantılı hale gelmesi ile piroklastik kayaç oluşur.



Şekil 2.6 Piroklastik kayaç oluşumu.

Bu volkanik faaliyet karasal ortamda olduğu gibi denizel/gösel ortamda da meydana gelebilir. Yeryüzünde karasal veya denizel/gösel ortamdaki püskürmelerle ilişkili piroklastik kayaçlar dışında subvolkanik koşullar altında oluşan ve intrüzif bir karakter taşıyan piroklastik kayaçlar da bulunmaktadır. Bunlar doğada baca ve çatlak dolguları şeklinde oluşmuşlar ve üzerindeki örtü malzemesinin erozyon ile uzaklaştırılması sonucu yeryüzüne çıkmışlardır (Erkan 1995).

Volkanizma sırasında volkan bacalarından çıkan değişik boyuttaki tanelerin volkan bacalarının etrafında (100 km'ye kadar) birikip taşınmasıyla oluşan kayaçlara tüf, tanelerin su ortamında çökmesi ve taşınmasıyla meydana gelen kayaçlara tüfit denir. Tüflerin daha sonraki aşınma taşınma faaliyetleri ile sedimanter ortamlara taşınması ve çökmesi ile oluşan kayaçlarda epiklastik tüfler olarak adlandırılırlar (Temur 1998).

Çobanoğlu İ. ve Özpınar Y. Yapmış oldukları çalışmalarında, Afyonkarahisar dolay çalışma alanlarındaki tüfleri gruplandırmışlar ve özelliklerini şöyle sıralamışlardır;

1. Grup tüfler: Krem renkli, bol gözenekli tüfler.

2. Grup tüfler: Sütü kahve renkli, az gözenekli tüfler.

3. Grup tüfler: Grimsi-beyaz renkli, gözeneksiz olan gösel tüfler.

Bu volkanitlerin mikroskobik incelemelerinden elde edilen özellikler özetlenirse;

Piroklastlar: Boyutları 1-4 mm arasında değişmektedir. Camsal, mikroporfirik yapıya sahiptirler. Belirlenebilen mineraller albit, sanidin, horblend, ojit ve opaldir.

Ekstraklastlar: 0,5-1,5 mm arasında değişen boyutlarda bulunmaktadır. Çok az da olsa radyolarit ve kireçtaşı parçaları belirlenmiştir.

Matris: Taneleri kaplayan matris, volkanik camdan oluşmakta olup, genellikle dairesel ve düzensiz boşluklu olarak bulunmaktadır. Matriske zeolitleşme yaygındır.

Pirojen Mineraller: Tüfler renk ve dokusal özelliklerine göre pirojen minerallerin dağılımları farklılıklar sunmaktadır (Çobanoğlu ve Özpınar 2003).

c. Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Tüfün ortalama eriyebilirliği 1343°C dir. 760°C nin altında herhangi bir değişikliğe uğramaz. Bu sıcaklıkta dış yüzeydeki lifler buruşur, çekilir. 480-650°C aralığındaki alevlerde yapısal bozulma veya parçalanmaya uğramaz. Doğal nem oranı çok düşüktür. Mohs sertlik skalasına göre sertliği 5,5-6 arasında değişmektedir. Basınç mukavemeti ise 95-130 kg/cm² arasındadır. Camın kendine has yoğunluğu 2,5 gr/cm³ olmasına rağmen tüfün gözenekli yapısı 1 gr/cm³ ten daha az yoğunluk vermektedir. Gözenek çeperleri camdan oluşan bir zar ile ayrıldığından tüf düşük bir geçirgenliğe sahiptir (Demir 2001).



Resim 2.4 Seydiler kasabasının batısında bulunan volkanik tüf yatakları.

Çizelge 2.5 Bazı yörelere ait doğal hafif agregaların özellikleri (Yeğınobalı 1997).

Hafif Agregası	Birim Ağırlık (kg/m ³)		Özgöl Ağırlık Faktörü	Yaklaşık Su Emme (%)		Aşınma Kaybı (%)
	Gevşek	Sıkışık		15 dk.	24 saat	
Eskişehir Seyitgazi tüfleri- iri (I)	-	-	-	19,8	-	-
Eskişehir Seyitgazi Tüfleri- iri (II)	692 942	757 -	1,57 -	1,40 -	22,0 13,7	38,0 -
İskenderun Tüfü Leçelik- iri	650	700	1,82	8,9	-	25,2

Kayseri-Mimarsinan köyü mevkiinden alınan numunenin fiziksel özellikleri; (Sükan 1966).

Özgöl ağırlık : 1,3 gr/cm³
Su emme : 30,1 (%)
Aşınma : 41,2 (%)
Don deneyi : 81,2 (%)

Çizelge 2.6 Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması.

Kaya sınıfı	Porozite (%)
Az kompakt	< 1
Az boşluklu	1 - 2,5
Orta boşluklu	2,5 – 5
Oldukça boşluklu	5 – 10
Çok boşluklu	10 – 20
Çok fazla boşluklu	> 20

Çizelge 2.7 Kayaçların tek eksenli basma dayanımına göre sınıflandırılması (Çobanoğlu ve Özpınar 2003).

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basma Dayanımı (Kgf/cm ²)
Çok düşük dayanımlı	< 250
Düşük dayanımlı	250-500
Orta dayanımlı	500-1000
Yüksek dayanımlı	1000-2000
Çok yüksek dayanımlı	>2000

Tüf kimyasal bileşim olarak genelde şu oranlardadır.

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ en az % 70

MgO en çok % 5

SiO_2 en çok % 3 olmalıdır.

Tüflerin kimyasal özelliklerinin oluşumunda en etkin bileşen SiO_2 'dir. Bu değer yüksek veya düşük oluşu, tüfün asidik veya bazik karakterli bir özelliğe sahip olduğunu gösterir.

d. Kullanım Alanları

Tüfler gereler gibi eskiden beri muhtelif inşaatlarda, inşaat aşısı olarak kullanılır. Taş ocağında nispeten yumuşak olan bu taşlar kolayca çıkarılır ve yontulur. Fakat sonradan havanın ve güneşin etkisi ile rutubeti gider ve sertleşir (Sükan 1966).

Tüfün endüstriye girişi 1940'lı yıllara dayanmasına rağmen eski roma mühendisleri tüf ve kireci çok ince öğüterek bağlayıcılık değeri elde etmişlerdir. Kırılmış ve öğütülmüş tüf ve tüfüt kum yerine akustik sıva ve hafif izolasyon dolgusu olarak filtre malzemesi, karayollarını örten siyah kaplamada (asfalt) kullanılır.

e. Tüfün Beton Agregası Olarak Kullanılması

Kırma tüf, kırmataş, çakıl ve kumun 1/3 ile 1/2 si kadar ağırlığa sahiptir. Tüf betonu buna paralel olarak normal betondan daha hafiftir. Bu özellik tüfe kolay ve hızlı kullanım sağlar. Fakat tüfün esas avantajı hafif ağırlıklı betonun kullanıldığı yerde muhtemelen kullanılan yapı çeliğinin tasarrufudur. Hafif tüf betonu özellikle geometrik şekillerle düzenlenmiş yapılara püskürtülerek de kullanılır. Tüf vb. malzemelerin izolasyon yeteneği k faktörü ile ifade edilir. k faktörü 1 inch kalınlığındaki 1 foot kareli duvar veya bloğun her iki yüzü arasında 1 saat sürede meydana gelen 1°F lık sıcaklık değişimi olarak tanımlanan İngiliz sıcaklık birimidir.

f. Tüfün Aşındırıcı Olarak Kullanılması

Yüksek kalitedeki tüf ve tüfit öğütüldüğü zaman keskin camların liflerini ve çok küçük kırıntılarını kapsayan arı, beyaz bir toz meydana getirir. Bu öğütme esnasında partiküller konkoidal kırılır. Kullanım esnasında daha küçük partiküllere ayrılmalar meydana gelse bile konkoidal şekiller oluşmaya devam eder. Tüfün bu özelliği sertliği ile ilişkilidir ve ovalanarak yapılan temizlikler ve ince parlatma işlemleri için onu vazgeçilmez kıymetli bir malzeme haline getirir.

g. Tüfün Çimento Sanayinde Kullanılması

Tüf çok ince tane boyutlarında öğütülerek tras adı altında çimento sanayinde portland kompoze çimento imalatında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Söz konusu malzeme sönmüş kireçler ile karıştırıldığı takdirde hava ve su içinde sertleşebilen bir özellik kazanırlar (Demir 2001).

h. Türkiye’de Yatak ve Rezervleri

Türkiye’de tüflere tüm volkanik yörelerde rastlanır. Yaygın olarak bulunan bazı bölgelerimiz arasında Afyonkarahisar, Kütahya, Eskişehir, İzmir, Denizli, Kayseri, Nevşehir, Konya ile Van ve Doğu Anadolu yöreleri sayılabilir. Göreceli olarak işlenmesi kolay olan tüfler inşaat taşı olarak kolayca şekillendirilebilirler (Yeğınobalı 1997).

İç Batı Anadolu da önemli bir yeri olan Afyon volkanitleri Bayat–İscehisar–Kırka–Sandıklı–Şuhut arasındaki bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır. Bunlardan Ayazini ve civarında yüzeylenen tüflerin alanı yaklaşık 20 km² civarındadır. Tüflerin kalınlığı ise lokal olarak değişmekte olup 50-150 m arasındadır (Kavas vd. 2001).

Yurdumuzda çok miktarda tuf ve bims mevcuttur. Bunlardan bazı yörelere ait olanlar aşağıdaki gibidir.

Kayseri Tüfleri

Türkiye'nin tuf bakımından en zengin bölgesi Kayseri ve civarındır. Bu bölgede kalite bakımından çeşitli cinste kayalar mevcuttur. Erciyes'in tali volkan bacalarının faaliyetleri esnasında geniş ölçüde ve her püskürtme safhasında, ayrı ayrı volkanik formasyon püskürmüştür.

Kayseri-Develi-Bakırdağ	Bazaltik-Andezitik tuf
Kayseri-Himmetdede	Camlı tuf
Kayseri-Pınarbaşı-Aziziye	Andezitik tuf

Ankara Tüfleri

Ankara-Keçiören	Kalsit ve Kaolinleşmiş liparit tuf
Ankara-Kızılcahamam	Andezitik-bazaltik tuf
Ankara-Pazar	Volkanik tuf

Afyon Tüfleri

İç Batı Anadolu'da önemli bir yeri olan Afyon volkanitleri Bayat-İscehisar-Kırka-Sandıklı-Şuhut arasındaki bölgede çok geniş alanlar kaplamaktadır. Afyon bölgesinin batı-kuzeybatı, doğu ve güneydoğu istikametine doğru kalker ve şistler mevcuttur. Afyonkarahisar'ın efusif kütleli andezittir. Bu andezitler biyolitli, ojitli olup melenokrat andezittir. Bölgenin kuzeyindeki alüvyon ovasından sonra Kozaviran, Kunduzlu, Ayazini köyleri civarında da volkanik tüfler mevcuttur. Volkanik tuf serisinin doğu kısmını paleozoitik şistler kaplar. Güneyde alüvyonlarla kaplanmış ve kuzeye doğru uzanan tüfler asit karakterde olup, genelde riyolitik ve riyodasit cinsinden tüflerdir. Bu

tüfler yumuşak boşluklu ve beyaz renklidir. Bu cins tüflere Akkoyunlu, Seydiler, Karakaya köyleri arasında rastlanmaktadır. Seydiler tüfü çeşitli kristal parçaların, kuvars, plajyoklas (oligoklas, andezin), biyotit lamelleri ve opak tanelerin camsı bir çimento ile bağlanmasından oluşan dasitik bir tüftür. Seydiler Kasabası ve çevresinde, özellikle Afyon – Ankara karayolunun her iki tarafında kalınlığı toplam 20 metreye varan, beyaz, beyazımsı sarı ve krem renkli diyatomit seviyelerini kapsamaktadır (Yıldız vd. 1999, Kavas ve Çelik 2001).

Afyon-Bolvadin	Cam yapılı liparitli tuf
Afyon-Ayazini	Kristal tuf
Afyon-Kalecik	Riyolitik tuf

Denizli Tüfleri

Denizli bölgesini karakterize eden formlar, palazoik yaşındaki şist (grafit, honoz, gnays ve mikaşist) ve minerallerdir. Bölge mağmatik saha bakımından genç volkanik taşlarla kaplıdır.

Denizli-Tavas	Biyotitli tuf
---------------	---------------

Konya Tüfleri

Konya-Sille	Kaolinleşmiş tuf
Konya-Erkmen- Kazancı	Sedimanter tuf

Nevşehir Tüfleri

Bölgedeki tüfler neojen serisinin en büyük kısmı tuf rusubatından mevcuttur. (Andezitik tüfleri, riyolitik tüfleri, volkanik breş ve kum). Burada yer yer ara katmanlar halinde (veya birlikte) konglomera seviyeleri ihtiva eden killi ve kumlu karasal rusubat

mevuttur. Bölgede büyük çapta yayılan bazalt ve andezit içerik bulunması, neojen yaşında çok şiddetli volkanizma faaliyetlerini ispat eder. Bunların en iyi örneği Ürgüp bölgesinde görülmektedir (Sükan 1966).

Nevşehir-Avanos–Mamat

Dasittik tuf

2.3 Hafif Beton

Günümüzde uçucu kül, silis dumanı, çeşitli bölgelerden çıkarılan pomza, volkanik tüfler, ince tahıl, palmiye yaprakları, odun talaşı gibi malzemeler hafif beton üretiminde en yaygın olarak kullanılanlar arasındadır. Avrupa ve Amerika’da hafif agregada kullanılarak imal edilmiş beton köprüler ve çok katlı binalar yapılmıştır. Hafif agregadan imal edilmiş betonlar ölü yüklerde ağırlık olarak büyük azalma sağladığından deprem bölgelerinde deprem kuvvetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Hafif agregadan imal edilmiş betonlarla yapılan binaların maliyetinde büyük indirimler sağlanacağından binalarda hafif betonların kullanımı büyük önem kazanmıştır (Çelik ve Çelik 2004).

Normal beton inşaat mühendisliğinde çok yaygın uygulama alanı bulan bir malzemedir. Beton iyi bir taşıyıcı eleman olmasına rağmen, birim ağırlığının büyük olmasından dolayı yapıdaki ölü yük değeri oldukça büyük boyutlara ulaşmaktadır. Özellikle ölü yük değerinin toplam yüke oranının büyük olduğu, köprü gibi büyük açıklıklı taşıyıcı yapı elemanlarında birim ağırlığın fonksiyonu daha çok önem kazanmaktadır. Diğer yandan normal betonun birim ağırlığının büyük olmasından dolayı ısı iletkenlik katsayısı da yüksektir. Normal betonun birim ağırlığının azaltılması ile hem ekonomik hem de ısı iletkenlik katsayısının düşük bir değer alması sağlanmış olur. Artan boyutların getirdiği problemlerin en ekonomik yönden karşılanması betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle ve dayanımının artmasıyla mümkündür (Arda 1994, Yıldız vd. 2004).

Günümüzde taşıyıcı hafif betonlar özellikle bir yapının ölü yükünün ve kullanılacak betonarme yapı elemanlarının kesit alanlarının daraltılmasında tercih edilmektedir.

Buna bağılı olarak özellikle yüksek yapıların efektif kullanım alanları ve açıklıkları arttırılabilir. Bunun yanında taşıyıcı hafif betonlar duvar panel ve blokların inşasında, çatı katı döşemelerinde, köprü açıklıklarında, ön yapımlı beton ünitelerinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Bu amaçlarla taşıyıcı hafif beton üretmek özellikle deprem bölgelerinde yapılar inşa etmek için tercih sebebidir (Yazıcıoğlu ve Bozkurt 2005).

Hafif agregalı betonlar bu günkü modern yapı endüstrisinde istenilen hafiflik yanında, ısı izolasyonu, ses absorsiyonu ve yangına karşı direnç gibi en iyi özelliklere sahiptirler. Bu bakımdan hafif agregalı betonlar ve bu betonlarla imal edilen, prefabrike duvar elemanı panolar, tercih edilen yapı malzemeleridirler. Halen genel olarak küçük prekast yapı elemanlarının ve duvar elemanlarının üretiminde kullanılmaktadırlar. Duvar elemanı olarak hafif agregalı beton elemanların yapıda kullanılmaları halinde, normal agregalılara kıyasla, hafiflikten kaynaklanan zati yüklerin azalması yanında duvar örüm veriminin ve hızının artması ile birlikte taşıma maliyetlerinde de tahmini %20 civarında bir ekonomi sağlanabilir (Başyigit vd. 2000).

Hafif ve çok hafif agregalar, hafifliklerinin kendilerine sağladığı, yapılarda ölü yük azatımını, ısı yalıtımının basitleştirilip ısı köprülerinin izalesi, büyük ebatlı bloklarla inşaatı olanaklı kılması nedenleri ile inşaat süresinde kısaltım, nakliyede tasarruf gibi avantajlar sağlayabildiklerinden, gelişmiş ülkelerde, özellikle 1950'lerden sonra, yaygın olarak kullanılmışlardır (Urhan 1997).

Hafif betonlar etüv kurusu birim hacim ağırlıkları 800 kg/m^3 'ten fazla, 2000 kg/m^3 'ten fazla olmayan, agregası tamamen veya kısmen hafif agrega olan beton olarak tanımlanmaktadır (TSE 206-1, 2000).

Betonun birim hacim ağırlığının azaltılması başlıca üç yolla olmaktadır;

- Normal agregaların yerine boşluklu olan doğal veya yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betonlar,
- Beton içerisinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturularak üretilen gaz ve köpük betonlar,

- Betonun ince agregasını çıkarmak yoluyla üretilen kumsuz betonlar.

Bu yöntemler incelendiğinde günümüzde çok kullanılmakta olan hafif betonları üretmek için, beton içinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturmak genel bir kuraldır. Betonda boşluk oluşturma, ya harç içinde veya iri agrega taneleri arasında veya agreganın içinde yapılır. Hafif betonlar dayanımlarına göre üç gruba ayrılmaktadır.

- Düşük dayanımlı ısı ve ses yalıtım betonları,
- Orta dayanımlı betonlar,
- Taşıyıcı betonlar.

Taşıyıcı hafif beton üretiminde en çok başvurulan yöntem, hafif agrega ile birim ağırlığı istenilen düzeyde tutmaktır. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar altı grupta toplanabilir:

- Doğal hafif agregalar: Pomza taşı, volkanik tuf, volkanik cüruf gibi,
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist, arduaz ve perlit gibi,
- Endüstriyel atıklardan oluşan hafif agregalar: Yüksek fırın cürufları, uçucu kül gibi,
- Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler,
- Polimer kökenli malzemeler: Styropor gibi (Topçu vd. 2005).

2.3.1 Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle hem birim ağırlık hem de mukavemet koşuluna göre yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabuller vardır.

Birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 'ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç dayanımı 17 N/mm^2 'i aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{--}1800 \text{ kg/m}^3$ 'tür (Topçu 2006).

Hafif betonların sınıflandırılması DIN 1045 birim hacim ağırlıklarına (BHA) göre;

- Hafif betonlar : $\text{BHA} < 20 \text{ KN/m}^3$
- Normal betonlar : $20 \text{ KN/m}^3 < \text{BHA} < 28 \text{ KN/m}^3$
- Ağır betonlar : $\text{BHA} > 28 \text{ KN/m}^3$

TS 2511 'de ise, birim hacim ağırlık esasına göre (TSE 2511, 1977);

- Hafif betonlar : $\text{BHA} < 19 \text{ KN/m}^3$
- Yarı hafif betonlar: $\text{BHA} 19\text{-}21 \text{ KN/m}^3$
- Normal betonlar : $\text{BHA} 21\text{-}24 \text{ KN/m}^3$

Çizelge 2.8 Birim ağırlıklarına göre hafif betonların sınıflandırılması.

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m^3)
Yalıtım Betonları	$300 \text{ kg/m}^3 - 800 \text{ kg/m}^3$
Orta Mukavemetli Hafif Betonlar	$800 \text{ kg/m}^3 - 1400 \text{ kg/m}^3$
Taşıyıcı Hafif Betonlar	$> 1400 \text{ kg/m}^3$

Çizelge 2.9 Basınç dayanımlarına göre hafif betonların sınıflandırılması(Topçu 2006).

Basınç Dayanımı Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı Fck, Silindir (N/mm²)	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı Fck, Küp(N/mm²)
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

2.3.2 Normal Beton ve Hafif Beton Davranışı

Beton yarı gevrek bir malzeme olduğundan çekme dayanımı düşüktür ve betonarme yapıların projelendirilmesinde göz önüne alınmaz. Günümüze dek betonun basınç altındaki davranışı üzerine çok sayıda araştırma yapıldı. Ancak betonun kırılma davranışının daha iyi anlaşılması ve çekme ile ilgili özelliklerin ve kırılma parametrelerinin belirlenmesi için daha fazla bilgiye gereksinim vardır.

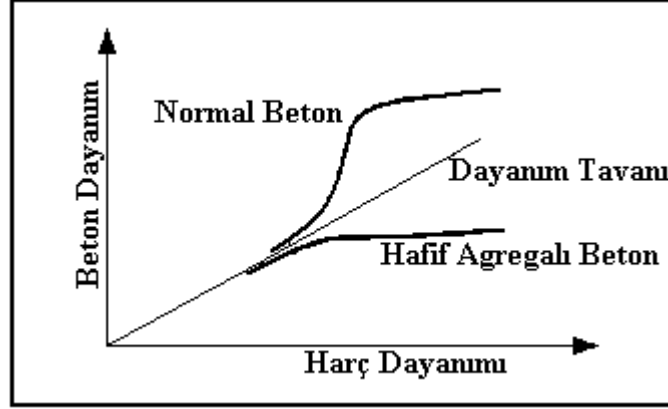
Kompozit malzeme anlayışı açısından betona yaklaşıldığında kaba olarak, beton agrega ve çimento hamuru gibi iki fazdan meydana gelmiş olduğu; daha yakın incelemede ise harç fazının hidrate çimento matrisi içerisine gömülmüş kum taneciklerinden meydana geldikleri görülecektir. Mikroskobik düzeyde yapılan incelemede, hidrate çimento pastasının kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum hidroksitten (C-H) meydana geldiği, bu fazın ise (içi su ile dolu ya da boş) kılcal boşluklar ve hidrate olmamış çimento taneciklerini içerdiği görülecektir. Daha alt ölçekte yapılan incelemede ise kalsiyum-silikat-hidrat jellerinin değişik şekil ve kimyasal yapıda kristalize olmuş zayıf partiküller ile sürekli ve kesikli jel boşluklarından ibaret olduğu tespit edilmiştir. Keza

agregaların da bir kompozit olarak farklı minerallerin belirli bir porozite ile bir araya toplanmış bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Uğurlu 1999).

Beton, agrega, bağlayıcı faz ve boşluklardan oluşan yüksek derecede heterojen bir malzemedir. Bu heterojenlik birkaç düzeyde göz önüne alınabilir. Malzeme modellenmesi amacıyla yönelik olarak, Wittmann (1983), bir malzemenin mikro, mezo, ve makro düzey gibi üç farklı düzeyde incelenebileceğini önerdi. Makro düzeyde gerçekçi bir göçme modeli kurmak için, kırılma mekanizmasını mezo düzeyde incelemek gereklidir. Beton mezo düzeyde incelenirken kompozit içindeki uniform olmayan şekil değiştirmeler bu heterojen yapı için tipiktir ve agrega ile matris arasındaki arayüzeyin işlevi önemlidir. Yakın zamandaki araştırmalar, betondaki arayüzeylerin başlıca iki yönünü ortaya koydu. Bunlar; i) arayüzey bölgesinin mikro yapısı ve beton özelliklerine olan etkileri ve ii) sürekli ortamlar mekaniği ile kırılma mekaniğine dayanan ve beton özelliklerine arayüzeylerin etkilerini gösteren modellerdir. Agregaya ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi betonda en zayıf halka olduğundan betonun mekanik davranışı arayüzey bölgesinin özelliklerinden belirgin biçimde etkilenir ve söz konusu davranış bu geçiş bölgesinin özelliklerine çok duyarlıdır. Arayüzey göçmesi mezo düzeyde göz önüne alınabilir. Agregaya matris arayüzeylerindeki bağ çatlaklarının gelişmesi betonun inelastik davranışında önemli bir işleve sahiptir. Toplam şekil değiştirmenin önemli bir bölümü arayüzeylerde yoğunlaşır ve arayüzey çatlaklarının köprülenmesiyle göçme matriste tamamlanır (Taşdemir ve Bayramov 2002).

Normal agregalı betonlarda zayıf bölge agrega-hamur arayüzeyi olurken hafif agregalı betonlarda kırılma agregada meydana gelir. Bunda hafif agrega dayanımının düşük oluşu kadar gözenek ve su emme oranı yüksek olan hafif agrega içerisine çimento hamurunun işlenmesi ve mekanik kenetlenme nedeni ile arayüzeyin kuvvetlenmesi de rol oynar. Hafif agregalı betonlarda basınç dayanımı agrega türüne bağlı olarak bir "dayanım tavanı" ile sınırlıdır. Bu sınır değerinde agrega kırılır ve çimento hamuru veya harcında iyileştirmeler yapılsa dahi dayanımda artış sağlanamaz. Bu konuda normal ve hafif agregalı betonların davranışı aşağıdaki şekilde açıklanabilir. Belirli bir hafif agrega

için dayanım tavanını yükseltmek ancak en büyük tane boyutunu küçültmekle sağlanabilir (Yeğinoğlu 1997).

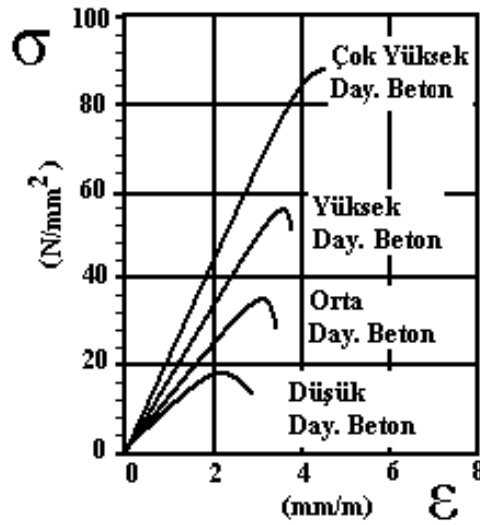


Şekil 2.7 Beton ve harç dayanımı ilişkisi.

Yüksek dayanımlı betonlar, düşük su/çimento oranı, yüksek çimento dozajı kullanarak ve silis dumanı gibi ultra incelikte yüksek reaktiviteye sertleştikten sonra malzeme oldukça yoğun bir hale gelir. Ancak bağlayıcı maddelerin hidrasyonunun tamamlanması için gereken su yetersiz kalır. Çünkü beton elemanın dış bölgesinden iç bölgesine yeteri kadar su girişi olmamaktadır. Bundan dolayı yüksek dayanımlı betonlarda ilk sertleşme sürecinde önemli ölçüde erken rötire oluşur. Agrega hacminin yaklaşık %25'inin önceden nemlendirilmiş hafif agregaya ile yer değiştirmesi betonun içinde sürekli su kürü sağlayan bir kaynak oluşturur. Önceden ıslatılmış agreganın karışıma katılması sonucunda daha az otojen rötire yapan bir beton elde edilebilir. Ortalama tane boyutu arttıkça hem basınç dayanımı hem de basınç dayanımındaki şekil değiştirme azalmaktadır. Normal agregaya ile yer değiştiren hafif agreganın ortalama boyutu arttıkça kırılma enerjisi azalır, buna karşılık karakteristik boyu artarken, eğilme dayanımı azalacaktır. Ayrıca tüm betonlar için basınç dayanımı arttıkça kırılma enerjisinin arttığı, karakteristik boyu ise basınç dayanımındaki artma ile azaldığı yapılan deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir (Taşdemir ve Bayramov 2002).

Normal betonlarda genellikle agregaya matrisden daha dayanıklıdır. Betona çekme gerilmesi uygulandığında çatlaklar ya matris içinden ya da matris-agregaya birleşim

yerinden yayılacaklardır. Çatlaklar ilerlerken agrega tarafından tutulabilirler, ayrıca çatlakların agrega etrafını dolaşması ve çatallaşması bir miktar enerjinin sönümlenmesine yol açacaktır. Hafif betonlarda ise çatlak yayılması agrega içinden başlayacak ve bu olay ani göçmeye sebep olacaktır. Bu yüzden hafif betonlar, normal betonlara göre biraz daha gevrek kırılırlar. Hafif betonlara ait tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramları Şekil 2.8’de verilmiştir (Arda 1994).



Şekil 2.8 Hafif Betonların gerilme-şekil değiştirme diyagramları.

Betonların fiziksel özellikleri, bağlayıcı maddelerin devamlı hidratasyon yapması ile zamanla değişim gösterir. Bundan dolayıdır ki, sertleşmiş bir betonun belirli bir özelliğinin hangi güne ait olduğu belirtilmelidir. Betonun, içinde oluşan buzun basınç dayanımından parçalanarak zarar görmemesi gerekir. Donma olayı sonunda buzda meydana gelen basınç gerilmesi, buzun zati basınç dayanımına erişir ve bundan büyük değerlere ulaşırsa, buz parçalanarak su haline dönüşür ve donma olayının zararlı etkisi ortadan kalkar. Bunun için, betonun alacağı mukavemetin buzun mukavemetinden fazla olması gerekir. Burada en büyük etken; beton yapımında uygulanan yöntem ve teknikler ile kullanılan malzemeler olup özellikle çimentonun niteliği, içerisine katkı maddesi katılıp katılmadığı, katıldı ise miktarının ne olduğudur. Donma-çözülme olayının etki derecesine bağlı olarak seçilecek malzemelerin cins ve miktarları büyük önem arz etmektedir (Yıldız vd. 2004).

Agrega granülometrisi normal betona benzemekle beraber iri ve ince hafif agrega tanelerinin farklı yoğunluklara sahip olması ve tane biçimlerinin köşeli oluşundan yüzey yapıları pürüzlü olmaktadır. Bu nedenle, hafif beton karışımları normal betonlara oranla daha fazla ince tane oranına gereksinme gösterirler (Neville 1975).

Pomza taşı kullanılarak üretilen hafif betonlarda en büyük agrega boyutunun küçümesi ilk 14 günde büzülmeyi artırmakta, daha sonra büzülmede bir değişiklik olmamaktadır. Betonlarda düzgün yüzeyli agregaların köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip olanlardan daha dayanıklı oldukları belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda en uygun biçimli tanelerin küreye yakın olanların olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Normal betonda agreganın E-Modülü, harcın E-Modülünden yüksek olduğundan kırılma öncelikle harç fazında görülür. Yük iletimi agregalar tarafından gerçekleştirilir. Ancak agrega tanelerinin birbirlerine yaklaştıkları noktalarda çimento hamuru yük iletimine kısmen katkıda bulunur. Normal betonlarda kullanılan çimento, su miktarı ve agrega cinsi gibi özelliklerin bilinmesi halinde, elde edilecek olan taze veya sertleşmiş betonun bazı özellikleri yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Hafif betonlarda ise, iç yapının normal betonlardan farklı olması, agrega cinsinin değişimi, su/çimento oranındaki değişimler, agrega boşluk oranındaki değişimler normal betondan farklı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle taze ve sertleşmiş betonun özelliklerinin deneylerle belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Hafif agregalarda su emme miktarı fazla olduğundan emme suyunun karışım yapılmadan önce agregaya mutlaka emdirilmesi gerekir. Aksi halde hidrasyon ve işlenebilme için gerekli olan yoğurma suyunun büyük bir kısmını agregalar hemen emerek beton bünyesinde ağ şeklinde rötre çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu çatlaklar betonun ıslak ortamda saklanması durumunda da önlenememektedir. (Topçu vd. 2004).

Tüf agregalı hafif betonlarda, normal agregalı betonların aksine su emme değerleri daha yüksek olmaktadır. Bu değişiklik tüfün;

- İçerdiği kil ve zeolit minerallerinin yüzdesine,
- Taneleri bağlayan camsı matris ve taneler arasındaki boşluk alanlarına,
- Pekleşmişlik derecesi ve camsı faz miktarına bağlı olmaktadır.

Tüflerden hazırlanan agregalarda da diğer agregalarda olduğu gibi granülometri su emme değerlerini etkilemektedir. Bu bakımdan farklı granülometrideki agregaların su emme değerlerinde de farklılıklar olması beklenir (Çobanoğlu ve Özpınar 2003).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışmanın Kapsamı

Deneysel çalışmalarda kullanılan agregalar genel özellikleri itibariyle, doğal hafif agregalardır. Araştırma kapsamında hedeflenen; hafif agregalı blok eleman üretimi ve üretilen blok elemanların özelliklerine agrega türünün etkisini araştırmaktır. Yapılan laboratuvar çalışmaları aşağıda belirtilen aşamalarda gerçekleştirilmiştir.

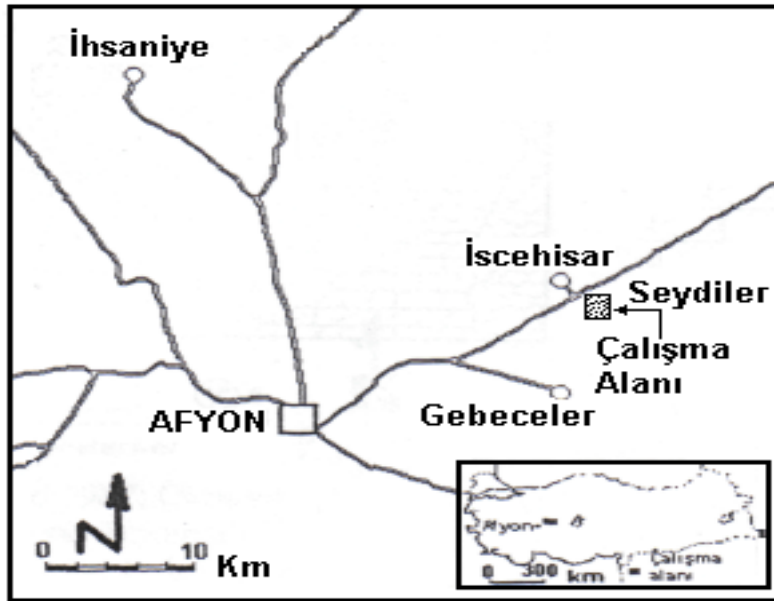
- Üretilecek hafif agregalı bloklar için yeterli miktarlarda malzeme temini,
- Ocaklardan temin edilen diyatomit ve tüfün işlenerek (kırılıp, elenerek) blok eleman üretiminde kullanılacak hale getirilmesi,
- Hafif agregalı blok üretiminde kullanılacak malzemelerin fiziksel özelliklerinin öğrenilmesi ya da tespit edilmesi,
- Çalışmada kullanılan her üç tür (pomza, diyatomit, tüf) doğal hafif agreganın ayrı ayrı kullanılarak deneme karışımları hazırlanması ile uygun su/çimento oranı, kıvam, çimento tipi, çimento dozajının yanı sıra uygun karıştırma yönteminin tespiti gibi önemli parametrelerin belirlenmesi,
- Belirlenen parametre sınırları içerisinde kalarak, üretilen hafif agregalı blok elemanların özelliklerine agrega türü ve agrega granülometrisi etkisinin deneysel veriler ışığında incelenmesi,
- Üretilen blokların inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak; pomza agregasının yanı sıra, özellikle diyatomit ve tüf agregasının da blok eleman üretiminde kullanımının araştırılması,
- Ülkemizde bol miktarda rezerv kapasitesine sahip bu kayaçların kullanım olanaklarının yaygınlaştırarak ekonomiye kazandırılması amacı ile çalışmalar yapılması.

3.2 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu bölümde deneylerde kullanılacak malzemeler ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Blok eleman üretiminde kullanılacak agregaların özellikleri TSE’de belirtilen standart metotlara uygun olarak belirlenmiştir.

3.2.1 Agregalar ve Özellikleri

Hafif agregalı blok eleman üretiminde üç çeşit doğal hafif agrega kullanılmıştır. Kullanılan bu agregalar; “Pomza”, Diyatomit” ve “Tüf” tür. Pomza agregası Isparta ilinde faaliyetini sürdüren Isbaş A.Ş. ‘den, gerekli tane boyutlarında pomza agregası olarak temin edilmiştir. Diyatomit ve Tüf agregası ise, Afyonkarahisar–Ankara karayolunun 24. km sinde bulunan Seydiler kasabası mevkisinden blok kayalar halinde getirilerek, kırılıp elendikten sonra agrega olarak kullanılabilir duruma getirilmiştir (Şekil 3.1). Blok eleman üretiminin tümünde kullanılan agregaların tane boyutları 0–4 mm (ince), 4–8 mm (orta), 8–16 mm (iri) olarak üç gruba ayrılmıştır (Resim 3.1).



Şekil 3.1 Diyatomit ve Tüf agregalarının temin edildiği çalışma bölgesi.

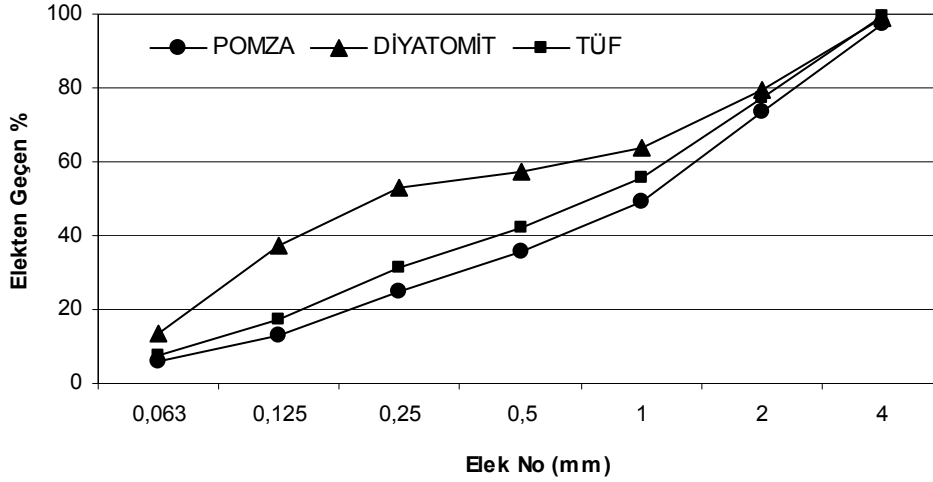


Resim 3.1 Deneylerde kullanılan hafif agrega numuneleri.

Çalışmada kullanılan hafif agregaların özgül ağırlık değeri, iri ve orta sınıf hafif agregalar için Arşimet prensibine göre, ince agregalarda ise piknometre metoduna göre belirlenmiştir. Gözenekli hafif agregalarda “yüzey kuru suya doygun” halin belirlenmesi güç olduğundan, agrega yüzeyleri kurularak, bu değerin mümkün olduğu kadar doğru olarak belirlenmesine dikkat edilmiştir. Birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmadan önce numuneler etüv kurusu hale getirilmiş ve deneylerde kullanılacak hafif agregalar üzerinde elek analizi deneyi yapılarak, agregalara ait tane dağılımları belirlenmiştir. Agregalar üzerinde yapılan deney sonuçları Çizelge 3.1’de, granülometrik dağılım ise Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan hafif agregaların fiziksel özellikleri.

Agrega Özellikleri		Pomza			Diyatomit			Tüf		
		16-8 mm	8-4 mm	4-0 mm	16-8 mm	8-4 mm	4-0 mm	16-8 mm	8-4 mm	4-0 mm
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek	0,37	0,39	0,97	0,65	0,68	0,82	0,72	0,66	0,98
	Sıkışık	0,42	0,44	1,18	0,75	0,82	0,94	0,86	0,78	1,19
Özgül Ağırlık Faktörü		1,70	1,66	2,46	1,38	1,37	2,25	1,68	1,67	2,23
Porozite % (Gözeneklilik Faktörü)		30,9	32,5	-	38,7	39,1	-	24,6	25,1	-
Su Emme (%)	30 dk.	46,1	47,8	-	18	21	-	24,1	28,6	-
	24 saat	53	53,2	-	24	27	-	33,9	35,3	-



Şekil 3.2 (4–0 mm) Pomza–Diyatomit ve Tüf agregaları tane dağılımı.

3.2.2 Çimento ve Özellikleri

Tüm karışımlarda Afyon Set Çimento A.Ş. ‘den alınan CEM I 42,5 R tipi Portland Kompoze çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (Afyon-Set Çimento A.Ş.). Çimento özelliklerinin TS EN 197–1 ve TS EN 197-2’de belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.2 CEM I 42,5R Portland kompoze çimentosu özellikleri.

Analiz Grubu	DENEY	Sonuç	Sınır Değer	
Kimyasal Özellikler	SO ₃ (%)	2,91	<3,5	
	MgO (%)	2,33	<5,0	
	A.Z. (%)	1,92	<4,0	
	Cl (%)	0,06	<0,1	
	Çözünmeyen kalıntı (%)	0,67	<1,5	
Fiziksel Özellikler	Kıvamlılık suyu (%)	30		
	Özgül yüzey (cm ² /gr)	3685	>3500	
	Priz süresi	Başlama(saat-dak)	2sa.52dak	>1sa
		Sonu(saat-dak)	4sa.36dak	<10sa
	İncelik	No.70de kalan(%)	0,13	
		No.200de kalan(%)	3,15	
	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)		3,07	
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2 gün	26,5	>20	
	7 gün	38,7	>31,5	

3.2.3 Su

Hafif blokların üretiminde karışım suyu olarak Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, A.N.S. Kampüsü şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun ortalama sıcaklığı 13 ± 5 °C dir (Ocak-Şubat 2006).

3.3 Kabul Edilen Esaslar, Kullanılan Malzemelerin Karışım Oranları, Üretim ve Deney Programı

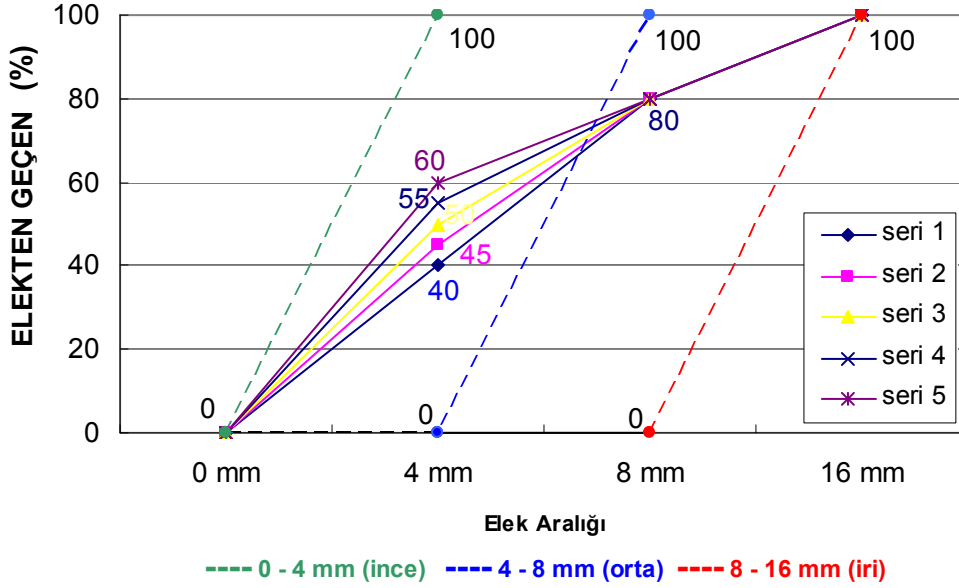
Deney sel çalışmada pomza, diyatomit ve tuf agregaları kullanılarak; pomzalı, diyatomitli ve tüflü bloklar üretilmiştir. Esas değişken agrega karışım oranı (agrega gradasyonu) olmuştur. Karışıma giren ince (0-4 mm) ve orta (4-8 mm) malzemelerin, toplam agrega hacmindeki oranlarının değiştirilmesi ile üç farklı malzeme için ayrı ayrı 5'er seri üretilecektir.

Karışım hesapları genel olarak TS 3234'de belirtilen –Bims beton Yapım Kuralları Ve Deney Metotları- esaslara göre yapılmıştır. Blok eleman üretimi kollu briket makinesinde gerçekleştirilecektir. Üretimde kullanılan briket makinesinin, agregaları hangi oranda sıkıştırabildiğini belirlemek amacı ile 30 dk. su emdirilmiş haldeki üç çeşit agrega için ve her agrega türündeki üç boyut (ince, orta, iri) için briket makinesinde sıkıştırma yapılarak sıkışma faktörleri belirlenmiştir. Belirlenen bu sıkıştırma faktörleri, karışımda kullanılacak toplam agrega hacminden agrega ağırlıklarını belirlemek için kullanılacaktır.

Hafif agregalı bloklar üzerine agrega türünün etkisini araştırmak amacı ile pomza, diyatomit ve tuf agregaları için, agrega granülometrisi değiştirilerek malzemelerin her biri için beş seri olmak üzere 270 adet 10x10x10 mm boyutlarında blok numuneler üretilmiştir. Beton karışımı için kullanılacak agregaların max. tane çapı 16 mm alınarak, çimento dozajı 220 kg/m^3 ve su/çimento oranı 0,15 oranında sabit tutulmuştur. Üç çeşit malzeme için agrega karışım oranları Çizelge 3.3'de ve karışım agregalarının granülometrik dağılımı Şekil 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Agrega karışım oranları.

	1. SERİ	2. SERİ	3. SERİ	4. SERİ	5. SERİ
16-8 mm (iri)	% 20	% 20	% 20	% 20	% 20
8-4 mm (orta)	% 40	% 35	% 30	% 25	% 20
4-0 mm (ince)	% 40	% 45	% 50	% 55	% 60



Şekil 3.3 Serilere göre agrega granülometrisi.

Yapılan agrega deneyleri sonucunda; agregaların porozite ve su emme değerlerinin literatürdeki bilgilerdeki gibi yüksek olduğu görülmüştür. Karışımın kıvamı için gerekli olan karışım suyun agregalar tarafından emilmesini önlemek için, iri (16–8 mm) ve orta (8–4 mm) malzeme olarak sınıflandırdığımız pomza, diyatomit ve tuf agregaları önce 30 dk. su emdirilip, 30 dk. süzdürüldükten sonra karışıma eklenmiştir. Beton bileşenlerinin belirlenmesinde mutlak hacim yöntemi esas alınmıştır. Çimento dozajı çimentonun özgül ağırlığına bölünerek çimento hacmi hesaplanmış ve su/çimento oranından su miktarı bulunmuştur. TS2511’de belirtildiği gibi 1 m³ için belirli olan değerler (su, çimento, hava) 1 m³ hacimden çıkarılarak toplam agrega hacmi bulunmuştur. Agrega miktarlarının belirlenmesinde, agregaların özgül ağırlık değerleri yerine, ilgili agregalara ait 30 dk. su emdirilip, 30 dk. süzdürüldükten sonraki sıkışma faktörleri alınarak gerekli agrega ağırlıkları hesaplanabilmiştir. Karışımlarda kullanılacak

malzemelere ait değerler TS 3234’de belirtilen esaslar dâhilinde 1 m³ karışıma girecek malzeme oranları belirlenmiştir (Çizelge 3.4, 3.5, 3.6).

Çizelge 3.4 Pomza agregası ile üretilen serilerin karışım oranları.

Malzeme Bileşimi (1 m ³)	SERİLER					Sıkıştırma Faktörü
	Seri - 1	Seri - 2	Seri - 3	Seri - 4	Seri - 5	
Çimento Miktarı (kg)	220	220	220	220	220	-
Karışım Suyu (kg)	33	33	33	33	33	-
İri Agregâ Miktarı (kg)	181,63	181,63	181,63	181,63	181,63	1,02
Orta Agregâ Miktarı (kg)	381,06	333,43	285,80	238,17	190,53	1,07
İnce Agregâ Miktarı (kg)	569,82	641,04	712,27	783,50	854,73	1,60
Ortalama Hava (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-

Çizelge 3.5 Diyatomit agregası ile üretilen serilerin karışım oranları.

Malzeme Bileşimi (1 m ³)	SERİLER					Sıkıştırma Faktörü
	Seri - 1	Seri - 2	Seri - 3	Seri - 4	Seri - 5	
Çimento Miktarı (kg)	220	220	220	220	220	-
Karışım Suyu (kg)	33	33	33	33	33	-
İri Agregâ Miktarı (kg)	315,18	315,18	315,18	315,18	315,18	1,77
Orta Agregâ Miktarı (kg)	651,73	570,26	488,80	407,33	325,86	1,83
İnce Agregâ Miktarı (kg)	680,22	765,25	850,27	935,30	1020,33	1,91
Ortalama Hava (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-

Çizelge 3.6 Tüf agregası ile üretilen serilerin karışım oranları.

Malzeme Bileşimi (1 m ³)	SERİLER					Sıkıştırma Faktörü
	Seri - 1	Seri - 2	Seri - 3	Seri - 4	Seri - 5	
Çimento Miktarı (kg)	220	220	220	220	220	-
Karışım Suyu (kg)	33	33	33	33	33	-
İri Agregası Miktarı (kg)	199,44	199,44	199,44	199,44	199,44	1,12
Orta Agregası Miktarı (kg)	427,36	373,94	320,52	267,10	213,68	1,20
İnce Agregası Miktarı (kg)	534,20	600,98	667,75	734,53	801,30	1,50
Ortalama Hava (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-

Çalışmada 15 farklı özelliğe sahip beton karışımı hazırlanmıştır. Karışıma giren malzemeler miktarı, karıştırma için kullanılan betonierin kapasitesine ve üretilecek blokların hacmine bağlı olarak oranlanarak tekrar hesaplanmıştır. 30 dk. su emdirilmiş ve 30 dk. süzdürülmüş agregalar ile kuru haldeki çimento, betonierde 1 dakika karıştırıldıktan sonra hesaplanan karışım suyu da betonyere eklenerek 3 dakika daha karıştırma yapılmıştır. Üretimde kullanılan betonier Resim 3.2’de verilmiştir. Üretimler ocak ve şubat aylarında yapılmış olup, ortam ve karışımlara ait sıcaklık değerleri ortalama olarak aşağıdaki gibidir.

Üretimin yapıldığı ortam sıcaklığı: $16 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ve beton karışım suyu sıcaklığı: $13 \pm 5^{\circ}\text{C}$ dir. Tüm bloklar üretildikleri ortamda havada kür edilmişlerdir.



Resim 3.2 Üretimde kullanılan betonier.

Tüm karışımların hazırlanması ve ısı iletkenlik deneyi dışındaki deneyler Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesine bağlı, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Agregalar olarak kullanılacak malzemelerin getirilmesi ve standart eleklerden elenerek öngörülen tane sınıflarına ayrılması işleminden sonra agregalar özellikleri belirlenmiş, ardından da deneme üretimine geçilmiştir. Ön deneme üretim sonuçları doğrultusunda, çalışmanın amacına uygun şekilde üretilen hafif agregalı blok elemanlar üretilmiştir. Üretilen tüm bloklar briket makinesinden çıkarıldığı andan itibaren ortalama 16 ± 5 °C ye sahip laboratuvar koşullarında 7, 28 ve 56 günlere kadar havada kür edilmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.3 Hafif agregalarla üretilmiş blok elemanların havada kür edilmesi.

Üretilen numunelerin özelliklerini belirlemek için TS EN 12390-1, TS EN 12390-3, TS 3289 EN 1354, TS 3624, TS 3234, ASTM C 597, ASTM C1113 standartlardan yararlanılmıştır.

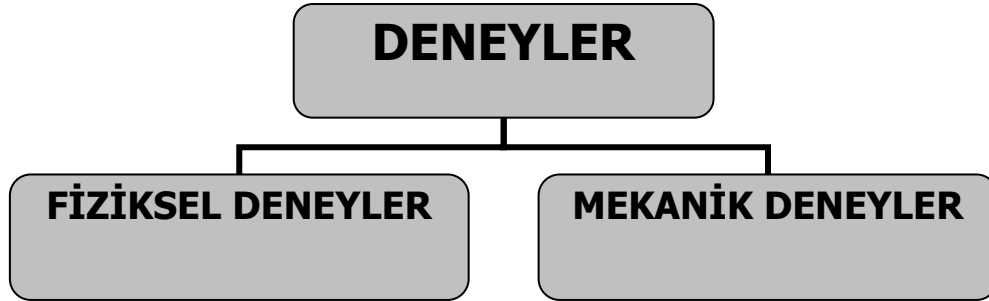
Üretilen numuneler üzerinde yapılacak deneyler, deney yaşları ve numune sayıları Çizelge 3.7’de verilmiştir. Aynı yaşlarda ve aynı seriler üzerinde yapılan deneylerde 3 numunenin aritmetik ortalaması alınarak deney sonucu belirlenmiştir.

Çizelge 3.7 Numuneler üzerinde yapılacak deneyler, deney sayıları ve günleri.

	7 Gün	28 Gün	56 Gün	Toplam
BASINÇ + ULTRASES	3	3	3	9
SU EMME + ULTRASES GÖR. POROZİTE + ISI İLETKENLİK	3	Aynı Numune	Aynı Numune	3
DONMA - ÇÖZÜNME	-	3	-	3
YÜKSEK SICAKLIK	-	3	-	3
TOPLAM	3+3	3+3+3+3	3+3	18

3.4. Kullanılan Deney Yöntemleri ve Numune Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada yapılan tüm deneyler sertleşmiş blok numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan deneyleri üç başlı halinde fiziksel, mekanik ve mikro yapı araştırması adı altında toplamak mümkündür.



- BİRİM HACİM AĞIRLIK
- SU EMME
- POROZİTE
- KILCALLIK (KAPİLERİTE)
- ULTRASES
- ULTRASES HIZI İLE ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BULUNMASI
- ISI İLETKENLİK

- BASINÇ DAYANIMI
- DONMA ÇÖZÜNME
- YÜKSEK SICAKLIK

3.4.1 Fiziksel Deneyler

3.4.1.1 Birim Hacim Ağırlık

3.4.1.2 Su Emme

3.4.1.3 Görünür Porozite

Her seriden 3'er adet numune üzerinde, 7, 28 ve 56 günlük yaşlarda Arşimet Prensibinden yararlanılarak, birim hacim ağırlık, su emme ve görünür porozite değerleri belirlenmiştir. Her seriden 3 numune için elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak deney sonucu belirlenmiş olur.

Numunelerin ağırlıkları max 3000 gr, min 2 gr, $e = d = 0,1$ gr. hassasiyetli CAS marka, MW-II modelli terazide tartılarak hesaplanmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.4 Numune tartılmasında kullanılan terazi.

Birim Hacim Ağırlık, Su Emme ve Görünür porozite deneyleri kılcallık deneyi yapılan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Daha önce, 105 °C etüv (Resim 3.5) kullanılarak kurutulan numunelerin değişmez etüv kuru ağırlıkları hesaplanmıştır. Kılcallık deneyinin ardından, numunelerin tamamı su içerisinde kalacak şekilde su dolu kaba konularak 24 saatten az olmamak koşulu ile bekletilmiştir. 24 saatin sonunda sudan çıkarılan deney numuneleri su içerisinde asılı kefeye sahip Arşimet terazisi ile

tartılarak su içerisindeki ağırlığı belirlenmiştir (Resim 3.6). Arşimet terazisinden alınan numune hiç bekletilmeden, ıslatılarak sıkılmış bir bez vasıtası ile yüzeylerindeki su damlacıkları silinerek, yine bekletilmeden 0,1 g. hassasiyetli terazide tartılarak yüzey kuru suya doymun haldeki numune ağırlıkları (Y.K.S.D.A.) belirlenmiştir (Resim 3.7). Yapılan bu tartımlar sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak, deney numunesinin Birim Hacim Ağırlık, Su Emme ve Görünür porozite oranı aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.



Resim 3.5 Numunelerinin kurutulmasında kullanılan etüv.

Resim 3.6 Numunelerinin su içindeki ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan Arşimet terazisi.

Resim 3.7 Numunelerinin Y.K.S.D. ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan terazi.

$$BHA = \frac{A}{(W1 - W2)} \quad (3.1)$$

$$GP = (W1 - A)/(W1 - W2) \times 100 \quad (3.2)$$

$$S = (W1 - A)/A \times 100 \quad (3.3)$$

BHA= Birim Hacim Ağırlık (kg/dm³)

GP = Görünür Porozite (%)

S = Ağırlıkça Su Emme (%)

A = Etüv Kuru Numune Ağırlığı (gr)

W1 = Yüzey Kuru Suya Doymun Numune(YKSD) Havada Ağırlığı (gr)

W2 = Numunenin Su İçerisinde Ağırlığı (gr)

3.4.1.4 Kılcallık (Kapilerite)

Etüv kurusu değişmez ağırlığa gelen numuneler üzerinde yapılan bu deney yöntemi (Uyan 1975) ile blok numunenin kılcallık katsayısı belirlenebilmektedir. Kılcallık katsayısının belirlenmesi için, etüv kurusu değişmez ağırlığa gelen numunelerin yan yüzeylerinin alt kısımları su almayacak biçimde parafin kullanılarak yalıtılmıştır (Resim 3.8). Yan yüzeylerin parafinlenmesinin amacı, numunenin sadece alt yüzey alanından su emme gerçekleşmesini sağlamaktır. Parafinlenmiş numunelerin ağırlıkları kaydedilir. Resim 3.9'da gösterilen ve içi belirli bir seviyeye kadar su doldurulmuş deney düzeneğine konulan numunelerin, deney başlangıcından itibaren kronometre ile 1., 4., 9., 16., 25. ve 36. dk.'lerde deney düzeneğinden alınan numuneler terazide tartılarak kaydedilir. Bu tartımlar neticesinde birim alandan emilen su miktarı zamana bağlı olarak belirlenmiş olur. Kılcallık katsayısının belirlenebilmesi için düşey eksende birim alandan emilen su miktarları, yatay eksene de deney başlangıcından itibaren tartım yapılan zaman değerlerinin karekökleri (\sqrt{t}) yazılarak noktasal bir grafik elde edilir. Bu noktalara ait çizilen doğrusal grafiğin eğimi grafikten belirlenir (S). Bulunan bu eğim 3.4 nolu eşitlikte yerine konarak kılcallık katsayısı belirlenmiş olur.



Resim 3.8 Kılcallık için parafinlenen numuneler.



Resim 3.9 Kılcallık deneyi için geliştirilen deney düzeneği.

$$\text{Kılcallık Katsayısı (k)}(\text{cm}^2/\text{dk}) = \Pi / 4) \times S^2 \times 10^5 \quad (3.4)$$

3.4.1.5 Ultrases Deneyi ve Ultrases Hızı İle Elastisite Modülünün Bulunması

Hasarsız deney yöntemleriyle yapılan ölçümlerde, betonun yüzey sertliği, elastiklik, yoğunluk gibi bazı özelliklerden yararlanılarak sayısal değerler elde edilmektedir. Ultrasonik hız metodu beton içerisinden geçen ultrasonik dalganın, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölüldüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı bulunur. Ölçülen bu hız numune ile ilgili bazı özelliklerin tahmininde kullanılır.

Üretilen hafif agregalı blokların ultrases hızlarını belirlemek için “MATEST” marka ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Blok numunelerin karşılıklı iki yan yüzeylerinden yapılan ölçümler ses geçiş süresini μs cinsinden ölçmektedir. (Resim 3.10, 3.11). Ölçülen ultrases geçiş süresinin yüksek olması malzemenin içyapısındaki boşluk miktarının fazla olduğuna işaret eder. Bu metot ile numunenin içyapısı hakkında bilgi edinilmiş olur (Akbulut, Ünal, İçağa, Demir, Zorluer, Ergün 2004). Ultrases geçiş süresinden, ultrases geçiş hızı; Hız (v) = Yol (l)/Zaman (t) bağıntısı kullanılarak, ölçüm yapılan mesafe l (km), ultrases geçiş hızı t (sn) cinsinden alınırsa, ultrases geçiş hızı km/sn cinsinden hesaplanmış olur.



Resim 3.10 Deneylerde kullanılan ultrases cihazı.



Resim 3.11 Deney numunesinin ultrases cihazı ile ölçüm yöntemi.

ASTM C597 de belirtilen ultrasonik test yönteminden elde edilen veriler ışığında numunenin elastisite modülü de hesaplanabilmektedir (Koçu 2001).

Katı malzemelerin içinden geçen ultrases hızı ile o katıya ait elastisite modülü arasındaki bağıntı eşitlik 3.5 ve 3.6 yardımıyla bulunan eşitlik 3.7'de belirtilmiştir.

$$c = \sqrt{\frac{Eu.g}{\Delta}} \quad (3.5)$$

Eşitlikteki deki c yerine, ultrases deneyi sonucu bulunan “ultrases hızı” konulursa;

$$V^2 = \frac{Eu.g}{\Delta} \text{ bulunur} \quad (3.6)$$

Eşitliklerde kullanılan $V=\text{km/sn}$, $\Delta=\text{kg/lt}$, $Eu=\text{N/cm}^2$ alınır, Ultrases hızına bağlı olarak Elastisite modülü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$Eu = 10^5.V^2.\Delta / g \quad (3.7)$$

Eu = Ultrases ile bulunan Elastisite modülü değeri (N/cm^2),

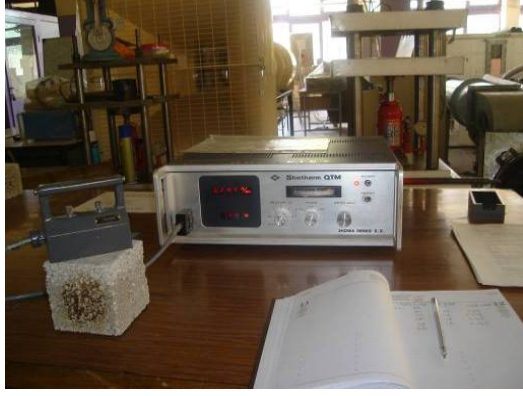
V = Numuneden ölçülen ultrases hızı (km/sn),

Δ = Numunenin yoğunluğu (kg/lt). (Hesaplamalarda yoğunluk yerine birim hacim ağırlık alınacaktır) (Koçu 2001).

3.4.1.6 Isı İletkenlik

Isı iletkenlik katsayısı belirlenecek deney numunesi üzerinde yapılan beş kez ölçüm sonucunda bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak numunelere ait ısı iletim katsayısı belirlenmiştir. Etüv kurusu değişmez ağırlığa gelen numuneler üzerinde

yapılan deneyler Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Isı iletim katsayıları “Hot Wire” yöntemi kullanılarak ASTM C1113 ‘de belirtilen metotlar doğrultusunda SHOTHERM QTM-D2 cihazı ile ölçülmüştür (Resim 3.12, 3.13).



Resim 3.12 Isı iletkenlik ölçümü yapılan cihaz. **Resim 3.13** Numunenin ısı iletkenlik ölçüm yöntemi.

Hot Wire yönteminde ısı iletkenlik değeri yaklaşık olarak aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır (Eşitlik 3.8 ve 3.9).

$$k = \frac{q \cdot \ln(t_2/t_1)}{4 \cdot \pi \cdot \Delta t} \quad (3.8)$$

q = Örnek malzemenin merkezinden geçen telin ısı akışı, kcal/h.m

t = Zaman, h

Δt = Sıcaklık farkı, °C ($t_2 - t_1$)

Eşitlikteki değerleri yerine koyacak olursak, ısı iletkenlik; $q = 0,85R \cdot I^2$

$$k = \frac{K \cdot I^2 \ln(t_2 - t_1)}{V_2 - V_1} - H \quad (3.9)$$

V2, V1 : Voltaj, mv

I : Akım şiddeti,

K, H : Cihaz sabitleri.

Bu yöntemde ısı ünitesi, bir dijital güç kaynağı ile bağlantılı ısıtıcı bölüm ve ısı akış düzenleyicisinden oluşmaktadır. Ayrıca ısıtıcı bölümünün sıcaklığını kontrol etmek için

iki adet termokup sayısal tarayıcı ile irtibatlandırılmıştır. Numune üzerine yerleştirilen termokulpa bağlı telin ısısı kaydedilir. Tele uygulanan gerilim yardımı ile numuneye ait ısı iletim katsayısı ölçüm anındaki ortam ısısına göre nümerik olarak belirlenmiş olur.

3.4.2 Mekanik Deneyler

3.4.2.1 Basınç Dayanımı

Basınç mukavemeti, numunenin eksenel basınç altındaki kırılma yükünün, yükleme doğrultusuna dik yöndeki malzeme kesit alanına oranı olarak tayin edilmelidir (TS 3239 EN 1354/Nisan 1996).

Üretilen blokların basınç mukavemetlerini belirlemek amacı ile 100×100×100mm ebatlarındaki küp numuneler 7, 28 ve 56. günlerde, yükleme hızı 2,5 kg/cm²/sn. olarak sabit tutulan 200 ton yükleme kapasitesine sahip Fore marka tek eksenli basınç presinde kırılmıştır (Resim 3.14).



Resim 3.14 Basınç dayanımı cihazı

7, 28 ve 56. günler için belirlenen basınç mukavemeti 3'er adet deney numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney numunesinin basınç mukavemeti aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Eşitlik 3.10).

$$f_{ci} = \frac{F_i}{A_{ci}} \quad i = 1,2,3 \quad (3.10)$$

f_{ci} = i deney numunesinin basınç mukavemeti, N/mm²

F_i = i deney numunesinin kırılma sırasındaki max. yükü, N

A_{ci} = i deney numunesinin yük taşıyan kesit alanı, mm²

3.4.2.2 Donma-Çözülme Deneyi

Donma-Çözülme olayının üretilen blokların fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırmak amacı ile laboratuarda bulunan derin dondurucu kullanılmıştır.

TS 3449 da -Çabuk donma ve çözülme koşulları altında betonda dayanıklılık faktörü tayini- belirtilen esaslara uygun olarak 28 günlük deney numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonunda blok numunede gerçekleşen fiziko-mekanik özellikler belirlenmiştir. Numunelerin donma-çözülme periyotları 30 devir (periyot) olarak belirlenmiştir. Etüv kurusu değişmez ağırlığa gelen numuneler donma-çözülme deneyine başlamadan önce 0,1g hasiyette tartım yapabilen terazi ile tartılır. Daha sonra donma-çözülme deneyi yapılacak numuneler min. 24 saat su içerisinde bekletilerek tamamen suya doymun hale getirilmişlerdir. Suyu doymun hale gelen bu numuneler önce su içerisinde (Arşimed terazisi ile) tartılmış, daha sonrada yüzeyleri kurularak suya doymun havada ağırlıkları (Y.K.S.D.) tartılarak kaydedilmiştir. Böylece deney numuneleri donma-çözülme deneyine hazır hale gelmişlerdir. Suyu doymun haldeki deney numuneleri -20 °C 'ye getirilmiş olan derin dondurucu içerisine yerleştirilmiştir. Numunelerin tüm yüzeylerinin soğuk hava ile teması eşit olabilecek şekilde yerleştirilen numuneler derin dondurucu içerisinde 2 saat bekletilmiştir. -20 °C de 2 saat bekletilen numuneler, derin dondurucudan alınarak ortalama +20 ila +15 °C deki su dolu havuzda 1 saat bekletilerek çözülmeleri sağlanmıştır. Bu işlemler 30 periyot tamamlanana kadar devam ettirilmiştir.

Numunelerin 2 saat derin dondurucuda, 1 saat su içerisinde kalmalarıyla 1 periyot tamamlanmış olmaktadır. 30 periyot sonunda numuneler, donma-çözülme deneyi başlangıcındaki gibi tekrar tartılarak; deney öncesi ve deney sonrası bulunan fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Ancak diyatomit agregası kullanılarak üretilen bloklarla ilgili olarak; amaçlanan 30 Periyotluk Donma-Çözünme aralığı, numunelerde gerçekleşen fiziksel değişimin (dağıma, dökülme ve ufalanma) yüksek olması sebebi ile, deney 15. Periyot tamamlandıktan sonra sonlandırılmıştır (Resim 3.15).



Resim 3.15 Donma-çözünmeye tabi diyatomit numuneleri (Deney öncesi-sonrası)

3.4.2.3 Yüksek Sıcaklık Etkisi

Bir yapının veya yapı elemanlarının, yangın başladıktan sonra belirli bir zaman aralığında yangın etkisi altında yıkılma tehlikesi olmamalıdır. İçerisinde yaşayan insanların güvenliği veya yangının yayılmaması için eğer gerekli ise; tüm yangın yükünün yanması ve soğutma aşamasında bina, yıkılmadan ayakta kalmalıdır (İnt. Kyn. 4).

Üretilen blokların yangın dayanımlarının araştırılması amacı ile 28 günlük numuneler üzerinde yüksek sıcaklık etkisi deneyi yapılmıştır. Her seriden üç adet numune yüksek sıcaklık etkisi deneyinden önce 105°C de kurutulduktan sonra değişmez etüv kurusu

ağırlığa getirilmiştir. Ağırlıkları tartılan numuneler, ısınma hızı 6-10 °C/dk. olan fırına konularak, fırın sıcaklığı 600 °C ye ulaştıktan sonra 2 saat süre ile ısıtılmışlardır (Resim 3.16). Isınma süresi sonunda fırın açma-kapama butonundan kapatılarak soğuması beklenilmiştir. Tutulacak kadar soğuyan numuneler fırından çıkarılarak laboratuvar ortamında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir.

Laboratuvar ortamında soğuyan deney numuneleri 0,1 g hassasiyete sahip terazi ile tartılarak yüksek sıcaklık etkisinden sonra ki ağırlığı kaydedilmiştir. Daha sonra numunenin yüksek sıcaklık sonrasındaki basınç dayanımı değerini belirlemek amacı ile, basınç mukavemeti testi yapılmıştır.



Resim 3.16 Yüksek sıcaklık uygulanan fırın.

4. BULGULAR

Bu bölümde, hafif agregalar kullanılarak üretilen blokların özelliklerinin belirlenmesinin amaçlandığı bu deneysel çalışma kapsamında, numuneler üzerinde yapılan deneylerle (birim hacim ağırlık, su emme, görünür porozite, kılcallık, ultrases, ısı iletkenlik, basınç dayanımı, ağırlık, donma-çözünme, yüksek sıcaklık) ilgili bulgular çizelgeler ve grafiklerde gösterilmiştir. Deney sonuçları, fiziksel deney sonuçları ve mekanik deney sonuçları olmak üzere iki bölüm halinde sunulmuştur.

4.1 Fiziksel Bulgular ve Değerlendirilmesi

Numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacı ile yapılan deneylerden, birim hacim ağırlık, su emme, görünür porozite, kılcallık ve ultrases deneyleri 7, 28 ve 56 günlük numuneler üzerinde, ısı iletkenlik deneyi ise 56 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Pomza, diatomit ve tuf hafif agregaları kullanılarak üretilen üç tür blok elemana ait deney sonuçları, deney yaşlarına göre, sırası ile Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 7 Günlük numunelere ait fiziksel deney sonuçları.

		B.H.A. (kg/m ³)	Su Emme (%)	Görünür Porozite (%)	Kılcallık Kat. ×10 ⁵ (cm ² /dk)	Ultrases Hızı (km/sn)	Elastisite Modülü (N/cm ²)	
7 GÜNLÜK NUMUNELER	POMZA	Seri-1	1040	27,90	28,82	82,9846	2,39	60556,41
		Seri-2	1180	18,34	21,67	7,6779	2,39	68708,24
		Seri-3	1290	11,69	15,04	6,4719	2,51	82845,35
		Seri-4	1270	14,54	18,52	24,2020	2,43	76444,68
		Seri-5	1280	15,51	19,84	39,9209	2,45	78320,08
	DİYATOMİT	Seri-1	1120	38,42	43,15	989,0810	1,72	33775,82
		Seri-2	1200	33,37	39,92	248,6661	1,68	34524,77
		Seri-3	1140	36,53	41,41	962,5000	1,60	29749,24
		Seri-4	1170	34,81	40,86	293,8851	1,59	30151,65
		Seri-5	1190	31,90	37,99	246,4347	1,52	28026,26
	TUF	Seri-1	1440	19,76	28,56	19,6429	2,33	79690,28
		Seri-2	1430	19,73	28,26	34,0186	2,35	80501,27
		Seri-3	1440	20,86	30,09	24,6400	2,31	78328,07
		Seri-4	1440	20,89	30,06	34,9556	2,26	74973,94
		Seri-5	1440	20,58	29,59	30,6920	2,30	77651,38

Çizelge 4.2 28 Günlük numunelere ait fiziksel deney sonuçları.

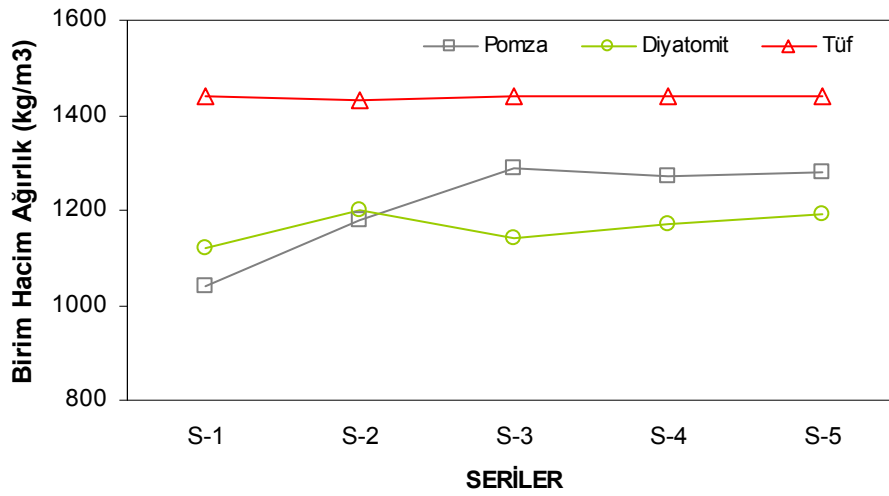
		B.H.A. (kg/m ³)	Su Emme (%)	Görünür Porozite (%)	Kılcallık Kat. ×10 ⁵ (cm ² /dk)	Ultrases Hızı (km/sn)	Elastisite Modülü (N/cm ²)	
28 GÜNLÜK NUMUNELER	POMZA	Seri-1	1100	23,43	25,6	31,4827	2,65	78743,63
		Seri-2	1180	17,73	20,96	3,4321	2,73	89647,52
		Seri-3	1260	12,43	15,63	3,2698	2,70	93633,03
		Seri-4	1260	15,86	19,99	10,1829	2,61	87494,86
		Seri-5	1230	19,80	24,41	23,8544	2,66	88715,47
	DİYATOMİT	Seri-1	1160	34,80	39,56	576,1850	1,76	36628,09
		Seri-2	1220	30,98	37,9	157,3177	1,79	39847,12
		Seri-3	1150	34,59	39,95	709,0298	1,66	32303,16
		Seri-4	1200	32,16	38,71	171,6380	1,75	37461,77
		Seri-5	1190	32,84	39,05	166,1091	1,72	35886,81
	TÜF	Seri-1	1440	19,93	28,72	4,5635	2,59	98467,52
		Seri-2	1420	19,79	28,15	5,5177	2,52	91922,20
		Seri-3	1440	19,94	28,74	5,6013	2,58	97708,62
		Seri-4	1440	20,95	30,13	7,4536	2,56	96199,63
		Seri-5	1450	20,75	30,07	11,8285	2,60	99918,45

Çizelge 4.3 56 Günlük numunelere ait fiziksel deney sonuçları.

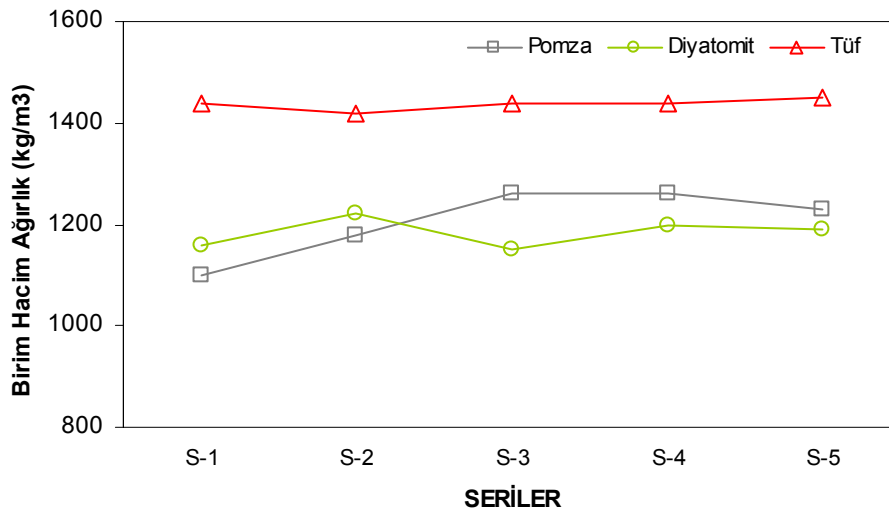
		B.H.A. (kg/m ³)	Su Emme (%)	Görünür Porozite (%)	Kılcallık Kat. ×10 ⁵ (cm ² /dk)	Ultrases Hızı (km/sn)	Elastisite Modülü (N/cm ²)	Isı İletkenlik (w/m.K)	
56 GÜNLÜK NUMUNELER	POMZA	Seri-1	1090	24,17	26,41	30,2029	2,62	76271,11	0,270
		Seri-2	1180	18,96	22,28	1,5621	2,68	86393,80	0,316
		Seri-3	1240	14,40	17,79	1,5400	2,68	90786,71	0,364
		Seri-4	1230	18,88	23,26	11,8285	2,63	86725,66	0,305
		Seri-5	1240	19,28	23,90	33,6063	2,71	92830,62	0,313
	DİYATOMİT	Seri-1	1160	34,55	39,98	532,3693	1,70	34173,29	0,259
		Seri-2	1220	31,79	38,65	137,7338	1,69	35519,29	0,313
		Seri-3	1140	36,49	41,56	662,1536	1,59	29378,53	0,263
		Seri-4	1180	34,99	41,21	143,6210	1,64	32351,97	0,309
		Seri-5	1180	34,14	40,20	115,0364	1,54	28526,89	0,304
	TÜF	Seri-1	1520	13,70	21,09	1,3075	2,54	101278,90	0,582
		Seri-2	1510	13,63	20,60	1,3279	2,53	98525,58	0,498
		Seri-3	1540	13,62	20,99	3,9424	2,57	103685,48	0,496
		Seri-4	1470	18,40	27,11	8,7127	2,56	98203,79	0,535
		Seri-5	1540	13,50	20,88	6,3373	2,54	101278,94	0,541

4.1.1 Birim Hacim Ağırlık ile İlgili Sonuçlar

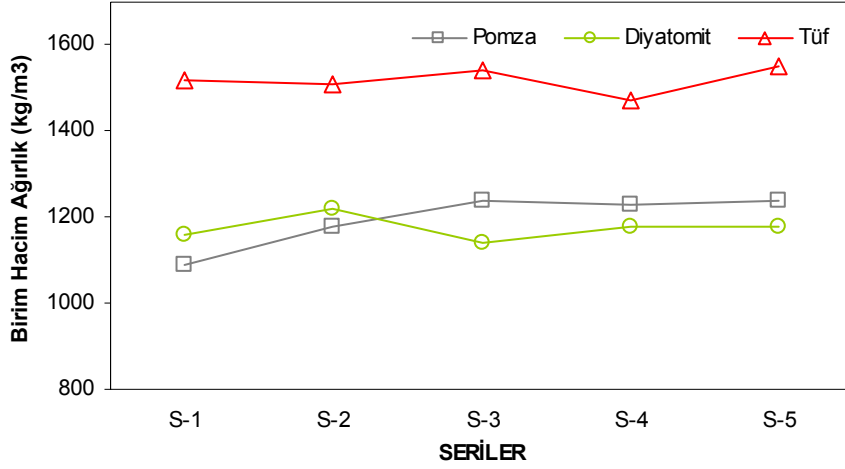
Birim hacim ağırlık deneyi 7, 28, ve 56 günlük tüm numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Arşimed prensibine göre yapılan deneylerde, pomza, diyatomit ve tuf agregası kullanılarak üretilen bloklarda, orta (8-4 mm) agrega oranının azaltılması, ince (4-0 mm) agrega oranının artırılması ile birim hacim ağırlıklardaki değişimler, numune yaşlarına göre sırası ile Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.1 7 Günlük numunelerde birim hacim ağırlık değişimi.



Şekil 4.2 28 Günlük numunelerde birim hacim ağırlık değişimi.



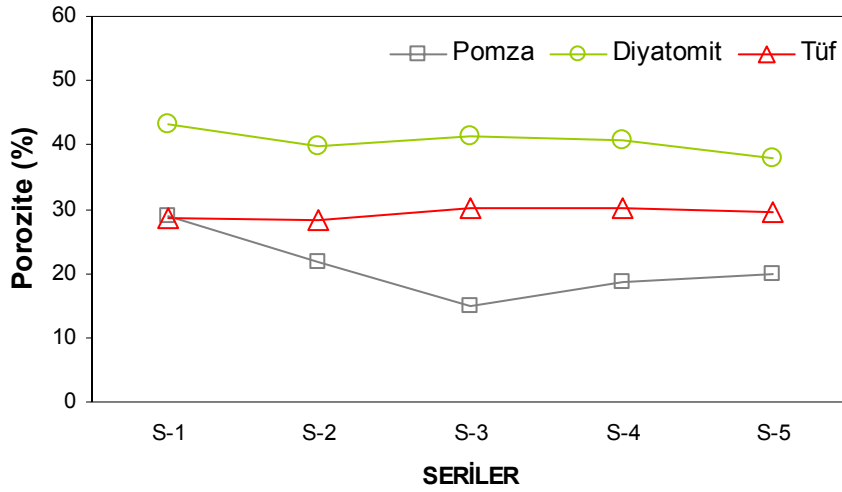
Şekil 4.3 56 Günlük numunelerde birim hacim ağırlık değişimi.

Birim hacim ağırlık değerleri pomza agregalı bloklarda $1040\text{--}1290\text{ kg/m}^3$, diyatomit agregalı bloklarda $1120\text{--}1220\text{ kg/m}^3$ ve tuf agregalı bloklarda $1420\text{--}1540\text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3). Birim hacim ağırlık grafiklerinden görüldüğü üzere, blok eleman bünyesindeki orta agrega (8-4 mm) hacminin azalıp, ince agrega (4-0 mm) hacminin artması ile (Seri-1'den, Seri-5'e gidildikçe) her üç tür blok elemanın birim hacim ağırlık değerinin genel olarak arttığı görülmektedir. Bu artış özellikle pomza ve diyatomitli bloklarda açıkça görülmektedir.

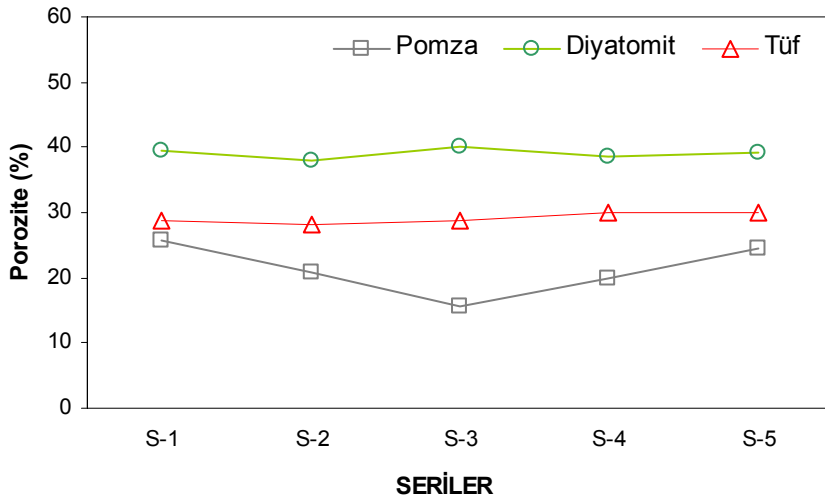
Yine aynı grafiklerden tuf agregası kullanılarak üretilen blokların zamana bağlı (7–28-56. günler için) olarak birim hacim ağırlık değerindeki artış, diyatomit ve pomza agregalı bloklara göre daha fazladır. Bu artışın nedeninin tuf kayacı bünyesinde bulunan açık gözenekli boşlukların, pomza ve diyatomit kayacına göre daha az olmasından, dolayı zamanla bu açık boşlukların çimento jeli ile kapatılması sonucu, blok bünyesindeki porozite oranı düşmüş, paralelinde de birim hacim ağırlık değerinin artmış olduğu düşünülmektedir. Agregalara ait porozite değerleri ve bu agregalar kullanılarak üretilen blok numunelere ait görünür porozite değerlerindeki zamana bağlı değişim verileri de bu sonucu destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

4.1.2 Görünür Porozite

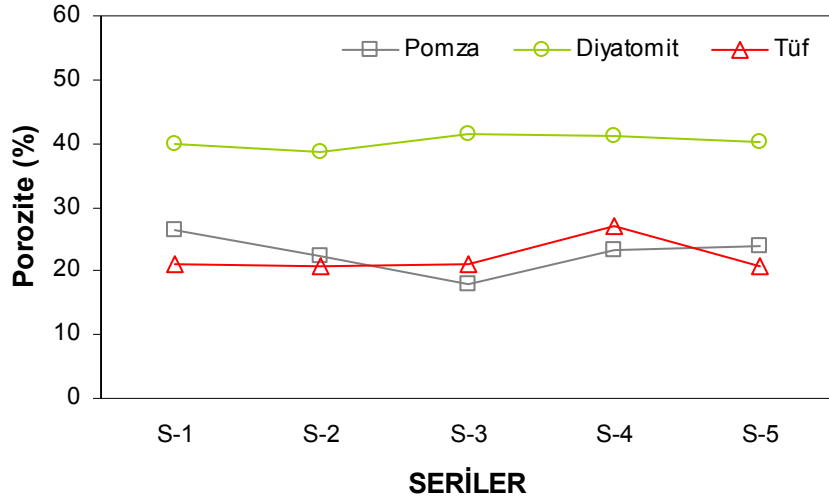
Üretilen 7, 28 ve 56 günlük blok numunelere ait görünür porozite (zahiri porozite) değerleri, birim hacim ağırlık değerlerinin bulunmasında da kullanılan arşimed prensibine göre belirlenerek hesaplanmıştır. Bloklara ait sonuçlar Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da belirtilmiştir.



Şekil 4.4 7 Günlük numunelerde görünür porozite değişimi.



Şekil 4.5 28 Günlük numunelerde görünür porozite değişimi.



Şekil 4.6 56 Günlük numunelerde görünür porozite değişimi.

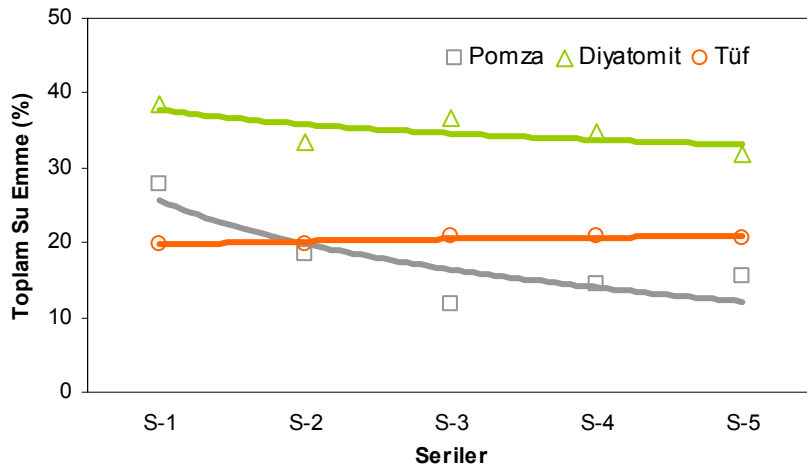
Şekillerden de görüldüğü üzere, pomza, diyatomit ve tüf agregası kullanılarak üretilen üç tür blok içinde, tüm yaşlarda en yüksek porozite değerine sahip blok türü, diyatomit agregası kullanılarak üretilen bloklarda görülmektedir. Görünür porozite değerleri pomza agregalı bloklar için; % 23, diyatomit agregalı bloklar için % 40 ve tüf agregalı bloklar için % 26 mertebesinde. 7 ve 28. günlerde her üç tür malzeme ile üretilen blokların görünür porozite değerlerinde belirgin bir değişiklik görülme de 28. günden sonraki yaşlarda özellikle tüf agregası kullanılarak üretilen blokların porozite değerlerinde ortalama % 20 azalma görülmüştür (Şekil 4.6).

Üç farklı tüf agreganın blok elemanların porozite oranına etkisine bakacak olursak; karışımlardaki ince malzeme oranının % 40'tan, % 60'a ve orta malzemenin % 40'tan, % 20'ye inmesi ile; pomza agregalı numunelerde, ince malzeme oranının artması, porozite oranlarındaki değişim her üç yaşta da azalmaya sebep olmuştur. Diyatomit agregalı numunelerde, erken yaşlardaki porozite oranı ince malzeme miktarının artması ile azalmıştır. Ancak 28 ve 56. günlerdeki porozite değerlerine bakıldığında, ileriki yaşlarda bu azalmanın yavaşlama gösterdiği grafiklerden okunmaktadır.

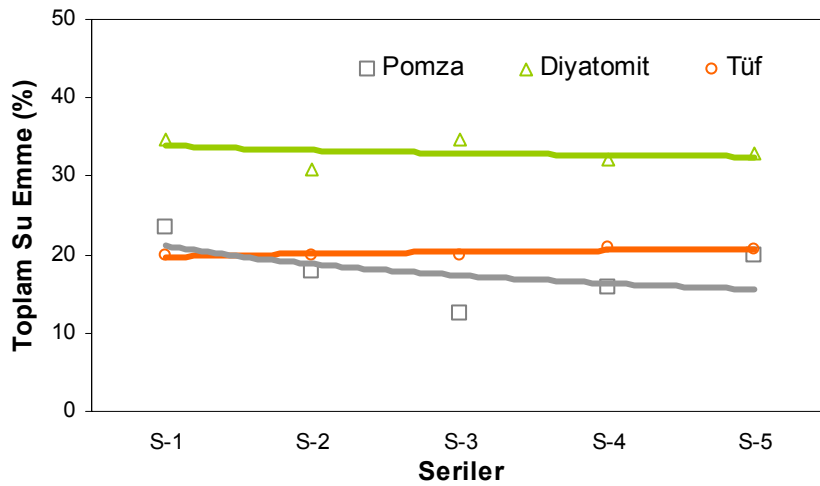
Tüf agregası kullanılan bloklar için ise, her üç yaşta da ince malzeme oranının artmasıyla porozite oranlarında artışlar gözlenmektedir.

4.1.3 Su Emme

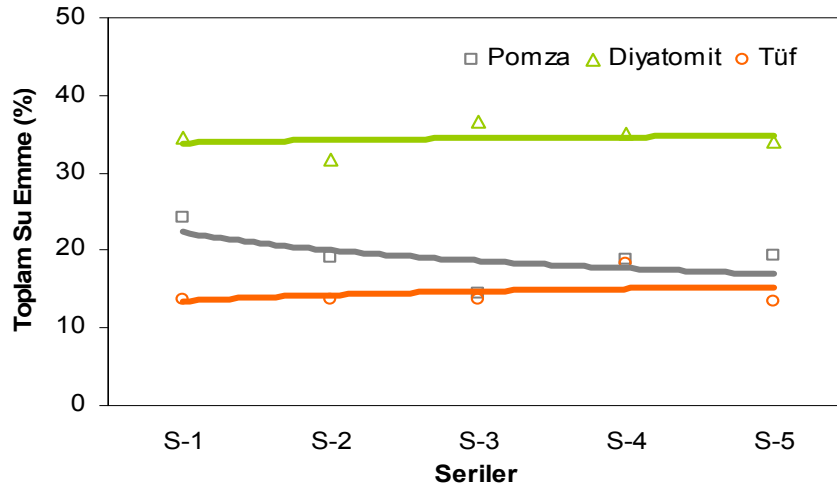
Blok numuneler üzerinde, Arşimed prensibine göre yapılan deney 7, 28 ve 56 günlük numunelerin tümüne uygulanılmıştır. 56 günlük numunelerden elde edilen veriler göz önüne alındığında toplam su emme değerleri; sırası ile, pomza agregalı bloklarda % 21,17 ile % 14,40 arasında, diyatomit agregalı bloklarda % 36,49 ile % 31,79 arasında ve tuf agregalı bloklarda, % 18,40 ile % 13,50 arasında değerler almıştır.



Şekil 4.7 7 Günlük numunelerde toplam su emme değişimi.



Şekil 4.8 28 Günlük numunelerde toplam su emme değişimi.



Şekil 4.9 56 Günlük numunelerde toplam su emme değişimi.

Su emme değerlerini gösteren grafikler (Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9) incelendiğinde; Tüm yaşlarda en yüksek su emme oranı, diyatomit agregası kullanılarak üretilen bloklarda, en düşük su emme oranı ise tüf agregası kullanılarak üretilen bloklarda görülmektedir. Yine aynı grafiklerden elde edilen veriler ışığında zamana bağlı olarak, su emme oranının tüm numunelerde azaldığını söylemek mümkündür. Ancak bu azalış pomza ve diyatomitli numunelerde erken yaşlardan başlayarak kendini gösterirken, tüf agregalı bloklarda 28 günden sonra daha etkili olmuştur.

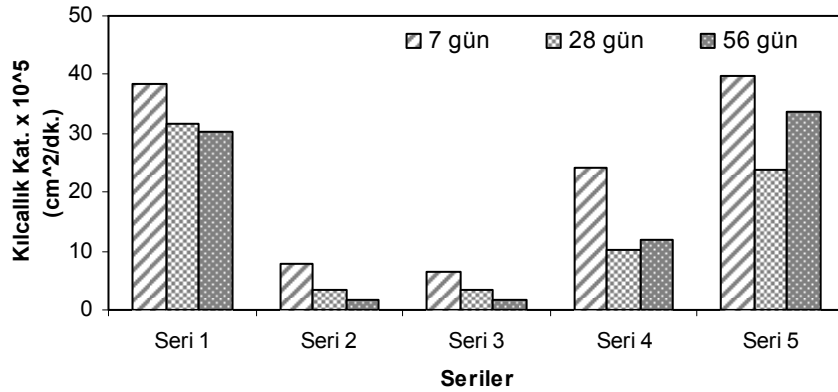
4.1.4 Kılcallık Katsayısı

7, 28 ve 56 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen kılcallık deneyi sonucunda hesaplanan kılcallık katsayılarının değişimi Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki grafiklerde verilmiştir. Deneyler sonucunda üç farklı tür agrega için, en yüksek kılcallık katsayısına sahip olan blok türünün diyatomit agregalı bloklar, en düşük kılcallık katsayısına sahip olan blokların ise tüf agregalı bloklar olduğu görülmüştür. Her üç tür agrega için, 7 günlük kılcallık katsayısı değerleri genellikle 28 ve 56 günlük değerlerden daha yüksektir. Aynı zamanda en düşük kılcallık katsayısı değeri üç tür hafif agregalı bloklar için 56 günlük numunelerde görüldüğünü söyleyebilir. Bulunan bu değerlerin zamana bağlı (7-28-56 günlük) toplam su emme değerlerini de desteklemektedir.

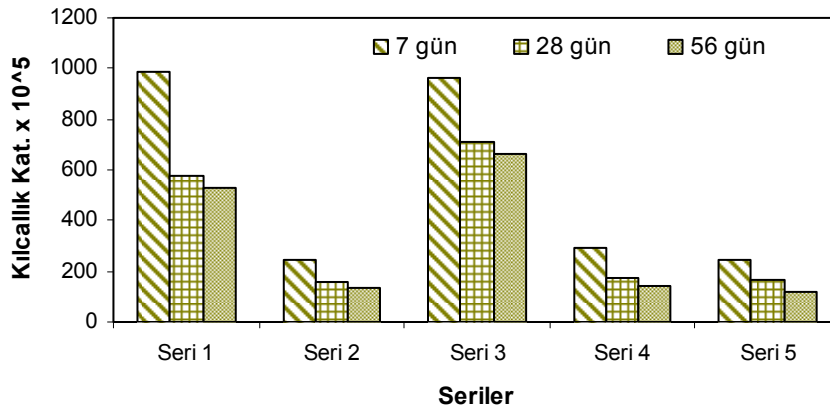


Resim 4.1 (a),(b) Kılcallık deney düzeneği ve numunede kılcal suyun yükselmesi.

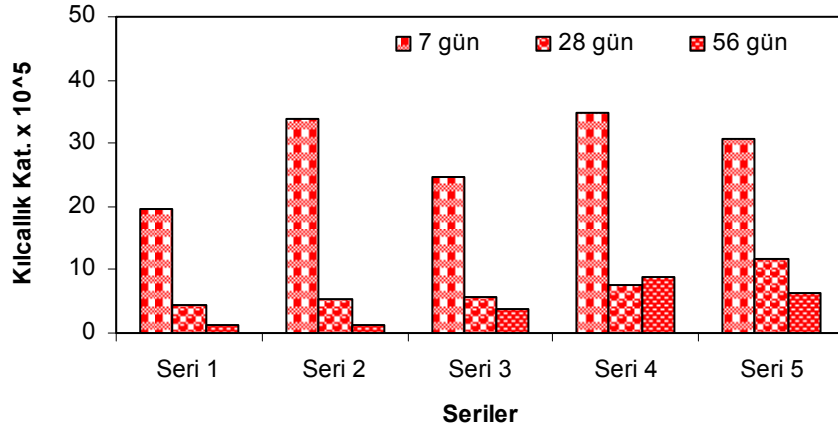
Birim hacimdeki ince malzeme miktarının artması ile (Seri-1'den Seri-5'e) kılcallık katsayısındaki değişim arasında doğrusal bir değişim olmamasına rağmen numunelerin basınç dayanım değerleriyle ters orantılı bir değişimden söz etmek mümkündür. Özellikle porozite değeri yüksek olan serilerin kılcallık katsayılarının da yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.10 Pomza agregalı numunelerde kılcallık katsayısının zamana göre değişimi.



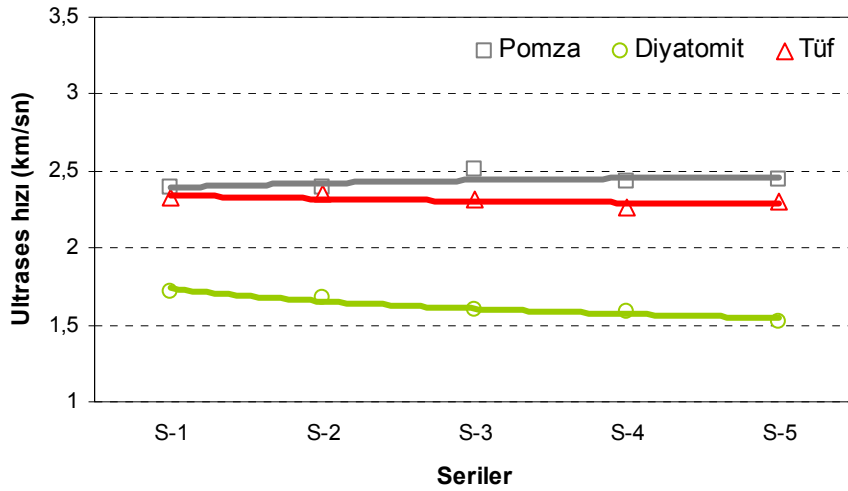
Şekil 4.11 Diyatomit agregalı numunelerde kılcallık katsayısının zamana göre değişimi.



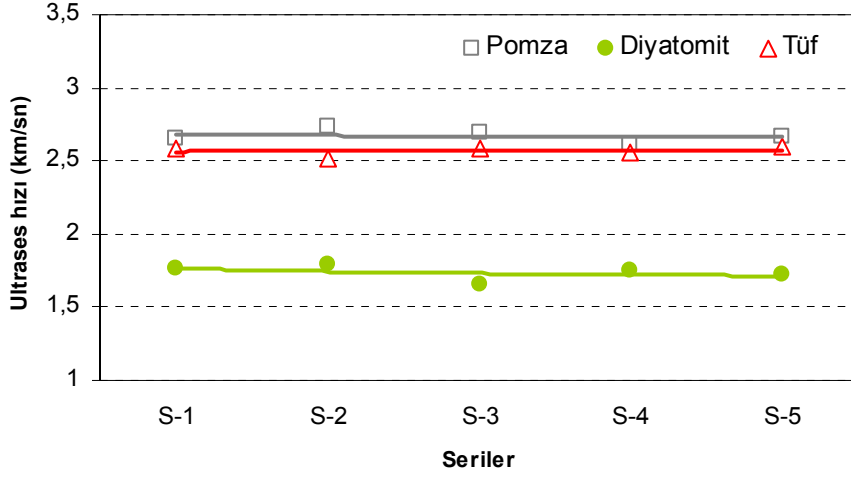
Şekil 4.12 Pomza agregalı numunelerde kılcallık katsayısının zamana göre değişimi.

4.1.5 Ultrases Hızı

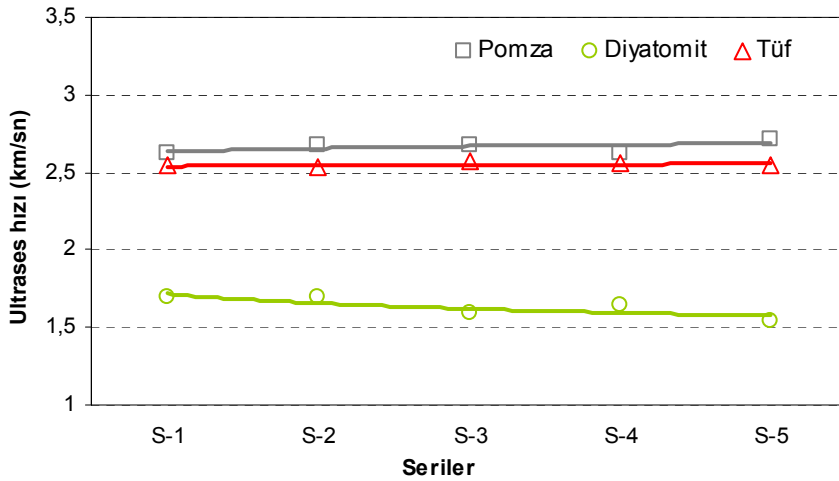
Numunelerin fiziksel özelliklerine ait ultrases hızı deneyi 7-28 ve 56. günlerde etüv kurusu, değişmez sıcaklığa gelmiş numuneler üzerinde uygulanmıştır. Numunelere ait deney sonuçlarından elde edilen grafikler Şekil 4.13, Şekil 4.14, ve Şekil 4.15’de verilmiştir. Ultrases hızları pomzalı numunelerde 2,39-2,71 km/sn, diyatomitli numunelerde 1,52-1,79 km/sn ve tüflü numunelerde 2,26-2,60 km/sn arasında değişmektedir. Tüm yaşlarda (7-28-56 günlük) en yüksek ultrases hızı, pomza agregası kullanılarak üretilen numunelerde görürken, en düşük ultrases hızı ise diyatomit agregası ile üretilen bloklarda görülmektedir.



Şekil 4.13 7 Günlük numunelerde ultrases hızı değişimi.



Şekil 4.14 28 Günlük numunelerde ultrases hızı değişimi.



Şekil 4.15 56 Günlük numunelerde ultrases hızı değişimi.

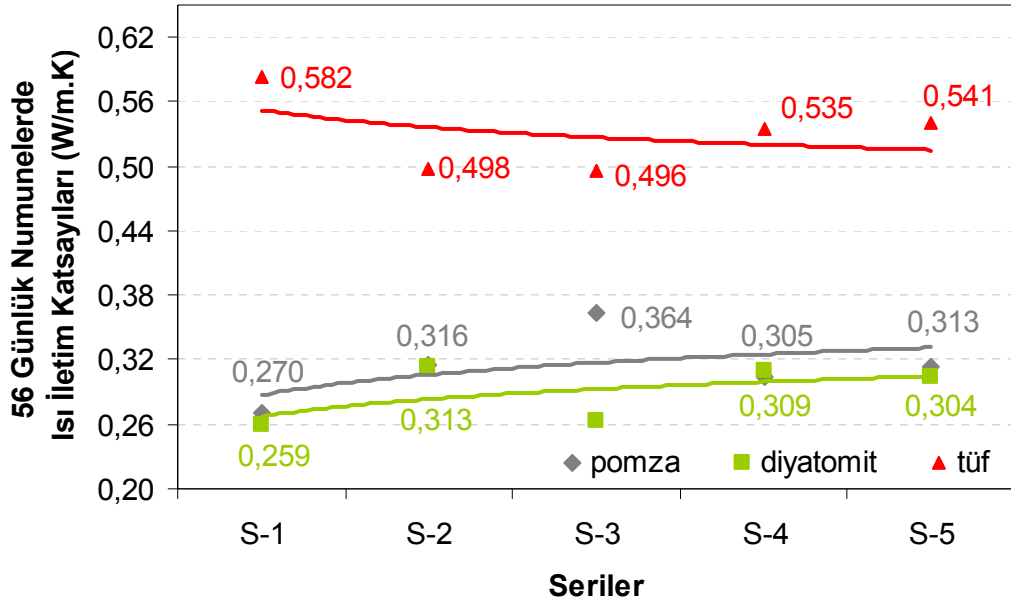
Diyatomit agregası kullanılarak üretilen bloklarda görülen düşük ultrases hızının nedeni, diyatomitin, pomza ve tüf'e göre çok daha fazla poroziteli yapıya sahip olduğundan kaynaklanmaktadır. Pomza, diyatomit ve tüf agregalı karışımlardaki ince malzeme oranının artırılması ile üretilen blokların ultrases hızlarındaki değişiklikler; pomza ve tüf'lü numunelerde fazla bir değişiklik görülemezken, özellikle diyatomit agregalı bloklarda azalan bir değişim gözlenmektedir. Diyatomit numunelerindeki bu ultrases hızı azalışına, numunelerin porozite değerlerindeki artışın sebep olduğunu

söyleyebiliriz. Genel olarak tüm numunelerde ultrases hızının zamana bağlı olarak arttığı, ancak özellikle ileriki yaşlarda (28. günden sonra) bu artışın, belirli bir değerden sonra azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu azalış diyatomit agregası ile üretilen numunelerde açık olarak görülmektedir. Bu azalmanın blok numune bünyesinde var olan mevcut boşlukların, ileriki yaşlarda blok bünyedeki suyun buharlaşması ile oluşan ve rötre sonucu kaynaklanan kılcal çatlaklarla birleşerek toplam boşlukların artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Diyatomitin kayacının dayanımının, diğer iki tür kayacın dayanımına göre daha düşük olması nedeniyle, diyatomitli numunelerin ileriki yaşlardaki ultrases hızındaki azalış açıkça görülmektedir.

4.1.6 Isı İletkenlik Katsayısı

Pomza, diyatomit ve tuf agregasının ayrı ayrı kullanılması ile üretilen blokların ısı iletkenlik katsayıları 56 günlük numuneler üzerinde ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm değerleri Şekil 4.16'da grafik ortamına aktarılmıştır.

Grafikten de görüldüğü üzere tün serilerde, en düşük ısı iletim katsayısına sahip blok, diyatomit agregası ile üretilen bloklarda görülmektedir. Ortalama olarak ısı iletim katsayıları pomzalı bloklarda 0,270-0,364 W/m.K, diyatomitli bloklarda 0,259-0,309 W/m.K ve tuf agregalı bloklarda 0,496-0,582 W/m.K arasında değiştiği görülmektedir. Pomza agregası kullanılarak üretilen blokların ısı iletim katsayıları da diyatomitli bloklara yakındır. Ancak tuf agregası kullanılarak üretilen blokların ısı iletim katsayısı pomza ve diyatomitli bloklara oranla çok daha yüksek olduğu yukarıdaki grafikte görülmektedir. Bunun sebebinin pomza ve diyatomit agregasıyla üretilen bloklarda, agrega yapısından kaynaklanan porozite değerinin, tuf agregasına göre daha yüksek porozite değerine sahip olmasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Genel olarak pomza ve tuf agregası ile üretilen bloklarda birim hacimdeki ince malzeme miktarının artmasına bağlı olarak ısı iletim katsayısında küçük artışlar gözlenmektedir.



Şekil 4.16 56 Günlük numunelerde ısı iletim katsayısı sonuçları.

Aynı numunelere ait 56 günlük görünür porozite değerleri (Şekil 4.6) arasında bağlantı kurduğumuzda özellikle tuf agregası kullanılarak üretilen bloklardaki görünür porozite değerindeki, ince malzeme oranının artmasıyla gözlenen artış, ısı iletim katsayısındaki azalışa bağlanabilir.

4.2 Mekanik Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Üretilen blok numunelerin fiziksel özelliklerinden basınç mukavemeti, donma-çözülme dayanımı ve yüksek sıcaklık etkisi altındaki değişimler araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 7, 28 ve 56 günlük numuneler üzerinde, donma-çözünme ve yüksek sıcaklık deneyleri ise 28 günlük deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mekanik deneylerle ilgili sonuçlar Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da verilmiştir.

Çizelge 4.4 7 Günlük numunelere ait mekanik deney sonuçları.

7 GÜNLÜK		Ağırlık (gr)	Ultrases Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
7 GÜNLÜK NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI	POMZA	Seri-1	1229,63	2,58	6,89
		Seri-2	1458,30	2,65	8,41
		Seri-3	1409,70	2,77	9,25
		Seri-4	1401,53	2,67	8,33
		Seri-5	1477,77	2,66	7,24
	DİYATOMİT	Seri-1	1410,73	1,63	2,36
		Seri-2	1493,43	1,58	2,09
		Seri-3	1392,13	1,54	1,48
		Seri-4	1444,13	1,51	1,85
		Seri-5	1467,33	1,45	1,65
	TUF	Seri-1	1572,47	2,30	9,00
		Seri-2	1544,30	2,34	9,73
		Seri-3	1579,83	2,30	9,20
		Seri-4	1601,83	2,26	8,06
		Seri-5	1612,60	2,28	9,04

Çizelge 4.5 28 Günlük numunelere ait mekanik deney sonuçları.

28 GÜNLÜK		Ağırlık (gr)	Ultrases Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
28 GÜNLÜK NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI	POMZA	Seri-1	1138,83	2,67	7,98
		Seri-2	1274,73	2,73	11,65
		Seri-3	1265,90	2,71	10,53
		Seri-4	1235,77	2,68	7,88
		Seri-5	1344,43	2,69	10,34
	DİYATOMİT	Seri-1	1223,63	1,78	2,91
		Seri-2	1273,37	1,92	4,28
		Seri-3	1182,33	1,55	2,72
		Seri-4	1227,03	1,73	3,56
		Seri-5	1244,17	1,76	3,09
	TUF	Seri-1	1549,53	2,59	13,16
		Seri-2	1436,67	2,56	11,76
		Seri-3	1583,77	2,52	12,07
		Seri-4	1603,97	2,46	13,93
		Seri-5	1576,13	2,49	11,85

Çizelge 4.6 56 Günlük numunelere ait mekanik deney sonuçları.

56 GÜNLÜK		Ağırlık (gr)	Ultrases Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
56 GÜNLÜK NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI	POMZA	Seri-1	1102,73	2,53	9,31
		Seri-2	1221,97	2,54	12,22
		Seri-3	1193,17	2,73	10,52
		Seri-4	1147,10	2,72	9,26
		Seri-5	1263,10	2,63	11,78
	DİYATOMİT	Seri-1	1186,33	1,83	3,87
		Seri-2	1238,53	1,87	3,82
		Seri-3	1192,10	1,51	3,38
		Seri-4	1204,97	1,62	3,60
		Seri-5	1230,63	1,67	2,69
	TÜF	Seri-1	1477,70	2,68	12,58
		Seri-2	1430,17	2,65	10,69
		Seri-3	1469,63	2,59	11,76
		Seri-4	1477,40	2,29	11,40
		Seri-5	1485,17	2,71	12,65

Mekanik testler sonucunda da numunelerin fiziksel özelliklerinde de değişiklikler meydana gelir. 28 günlük deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilen donma-çözünme ve yüksek sıcaklık testlerinin sonuçları Çizelge 4.7 ve 4.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7 28 Günlük numunelerin donma-çözünme etkisi sonuçları.

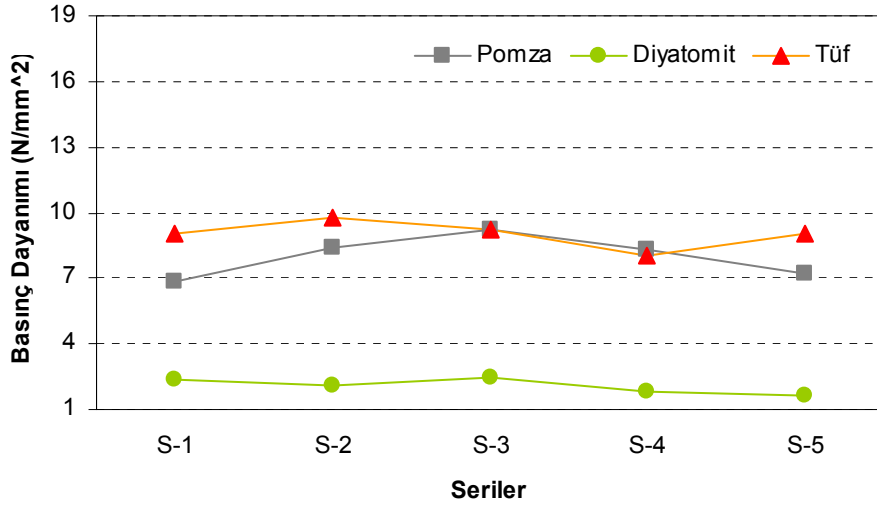
DONMA-ÇÖZÜLME		Deney Öncesi Ağırlık (gr)	Deney Sonrası Ağırlık (gr)	Ağırlık Kaybı (%)	Don-Çöz Yapılmayan Numunelerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Don-Çöz Sonrası Numunelerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı Değişimi (%) (-Azalmış) (+Artmış)	
56 GÜNLÜK NUMUNELER	POMZA	Seri-1	1023,70	1006,70	1,66	7,98	8,46	5,95
		Seri-2	1162,60	1154,87	0,67	11,65	13,46	15,49
		Seri-3	1158,03	1143,13	1,29	10,53	12,43	18,04
		Seri-4	1122,50	1090,80	2,82	7,88	9,18	16,43
		Seri-5	1247,03	1211,43	2,85	10,34	13,40	29,59
	DİYATOMİT	Seri-1	1096,73	1035,07	5,62	2,91	3,50	20,10
		Seri-2	1154,00	1093,90	5,21	4,28	3,98	-7,01
		Seri-3	1084,00	831,73	23,27	2,72	yapılamadı	yapılamadı
		Seri-4	1144,37	1079,27	5,69	3,56	2,95	-17,28
		Seri-5	1146,70	1113,83	2,87	3,09	2,95	-4,53
	TÜF	Seri-1	1465,97	1432,37	2,29	13,16	16,51	25,42
		Seri-2	1328,47	1279,13	3,71	11,76	14,25	21,17
		Seri-3	1462,90	1460,93	0,13	12,07	15,94	32,06
		Seri-4	1482,20	1472,10	0,68	13,93	13,47	-3,34
		Seri-5	1449,33	1425,03	1,68	11,85	17,73	49,62

Çizelge 4.8 28 Günlük numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonuçları.

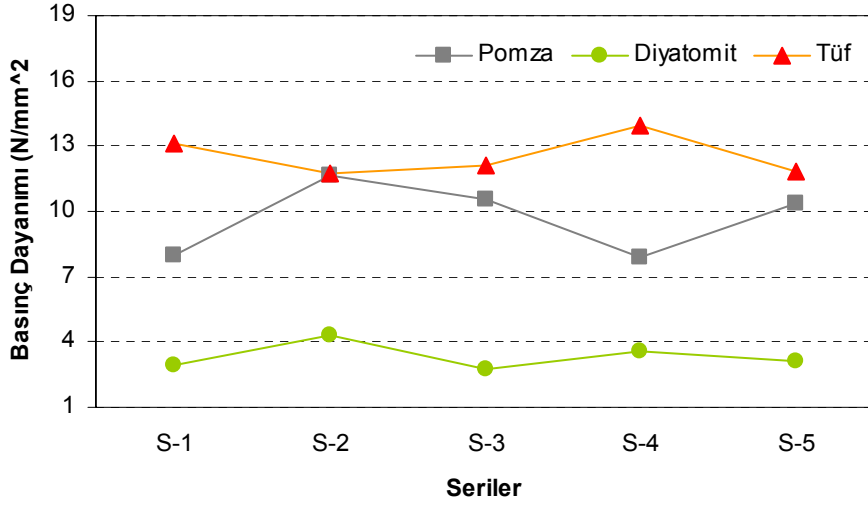
YÜKSEK SICAKLIK		Deney Öncesi Ağırlık (gr)	Deney Sonrası Ağırlık (gr)	Ağırlık Kaybı (%)	Yüksek Sıcaklık Yapılmayan Numunelerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Yüksek Sıcaklık Sonrası Numunelerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı Değişimi (%) (-Azalmış) (+Artmış)	
56 GÜNLÜK NUMUNELER	POMZA	Seri-1	1017,10	974,40	4,20	7,98	5,48	-31,33
		Seri-2	1150,40	1081,50	5,99	11,65	8,42	-27,73
		Seri-3	1173,67	1117,03	4,83	10,53	9,56	-9,21
		Seri-4	1186,73	1134,27	4,42	7,88	7,56	-4,06
		Seri-5	1171,93	1122,60	4,21	10,34	7,24	-29,98
	DIYATOMİT	Seri-1	1108,43	1026,50	7,39	2,91	4,42	51,89
		Seri-2	1161,97	1074,23	7,55	4,28	6,57	53,50
		Seri-3	1104,57	1023,67	7,32	2,72	3,10	13,97
		Seri-4	1146,50	1051,77	8,26	3,56	5,80	62,92
		Seri-5	1172,83	1065,40	9,16	3,09	5,99	93,85
	TÜF	Seri-1	1444,57	1393,03	3,57	13,16	10,25	-22,11
		Seri-2	1343,73	1290,97	3,93	11,76	8,51	-27,64
		Seri-3	1446,63	1390,17	3,90	12,07	9,60	-20,46
		Seri-4	1485,27	1433,60	3,48	13,93	10,17	-26,99
		Seri-5	1452,87	1399,70	3,66	11,85	10,30	-13,08

4.2.1 Basınç Mukavemeti

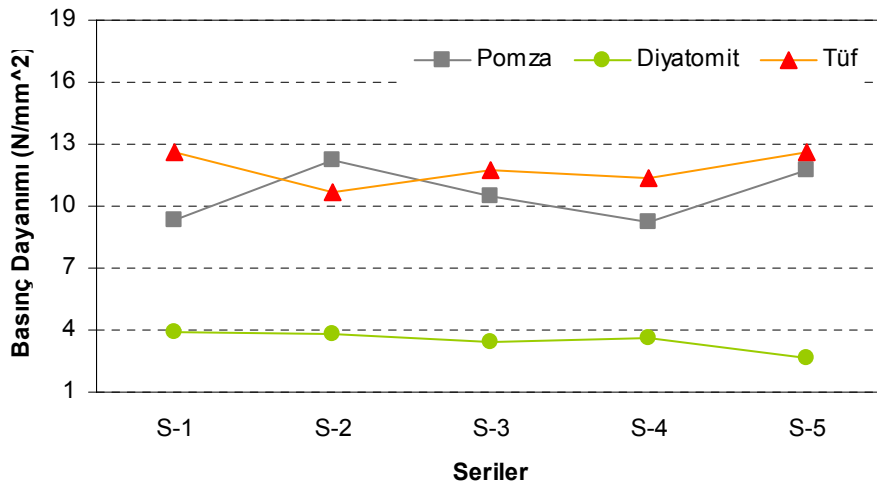
Pomza, diyatomit ve tüf numuneler üzerinde yapılan 7-28 ve 56 günlük numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da belirtilmiştir. Pomzalı numunelerin basınç dayanımları 9,26 N/mm² ile 12,22 N/mm², diyatomitli numunelerin basınç dayanımları 2,96 N/mm² ile 3,87 N/mm² ve tüflü numunelerin basınç dayanımları 10,69 N/mm² ile 12,65 N/mm² arasında değişmektedir.



Şekil 4.17 7 Günlük Pomza, Diatomit ve Tüflü blokların basınç dayanımları.

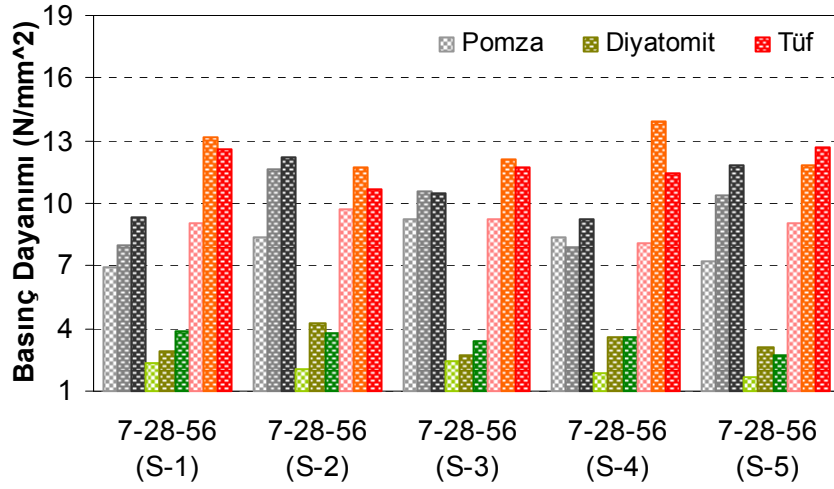


Şekil 4.18 28 Günlük Pomza, Diatomit ve Tüflü blokların basınç dayanımları.



Şekil 4.19 56 Günlük Pomza, Diatomit ve Tüflü blokların basınç dayanımları.

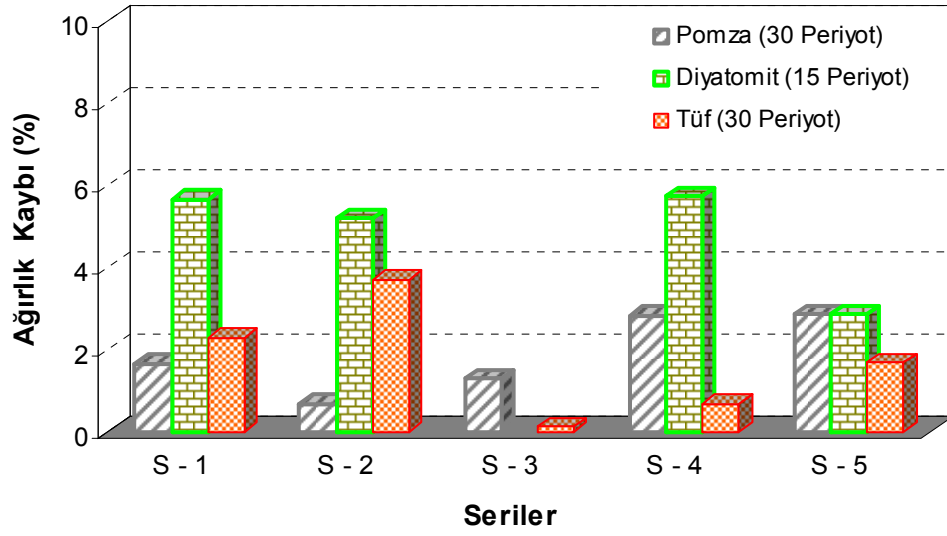
Blok numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarının numune yaşlarıyla ilişkisini gösterir grafik Şekil 4.20’de verilmiştir. Pomzalı numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri Seri-2’de, diyatomit agregalı numunelerde, en yüksek dayanım değeri Seri-2’den ve tuf agregası kullanılarak üretilen bloklarda en yüksek dayanım değeri Seri-5 verilen karışım oranlardan elde edilmiştir. Üretilen hafif bloklar yapılarında bulunan agrega türünün özelliklerine bağlı olarak farklı basınç dayanımı değerleri göstermişlerdir. Diyatomit kayacının tuf ve pomza kayacına oranla daha boşluklu (poroziteli) bir yapı sergilemesi ve literatürden edinilen bilgiler ışığında diyatomit kayacının pomza ve tuf’e göre daha düşük mekanik özelliklere sahip olması, diyatomitli blokların düşük dayanıma sahip olmasında birincil etkindir.



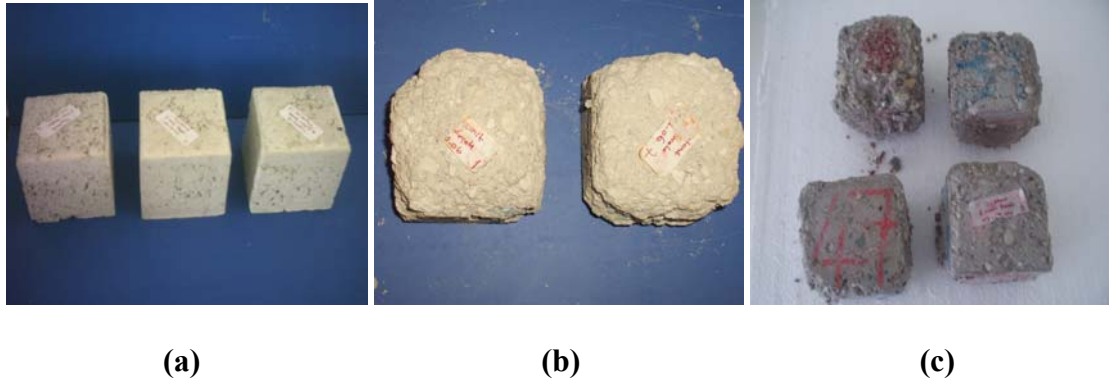
Şekil 4.20 7-28-56 Günlük Pomza, Diyatomit ve Tüflü blokların basınç dayanım değerleri.

4.2.2. Donma - Çözünme Etkisi

28 günlük numuneler üzerinde TS 3449 (Ekim 1980)’a -Çabuk donma ve çözülme koşulları altında betonda dayanıklılık faktörü tayini- göre gerçekleştirilen donma-çözme olayı sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık ve basınç dayanımı değişiklikleri belirlenmiştir. Donma-Çözünme deneyi sonrasında numunelerde gerçekleşen ağırlık ve basınç dayanımı değişimleri Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de grafiklere aktararak sunulmuştur.

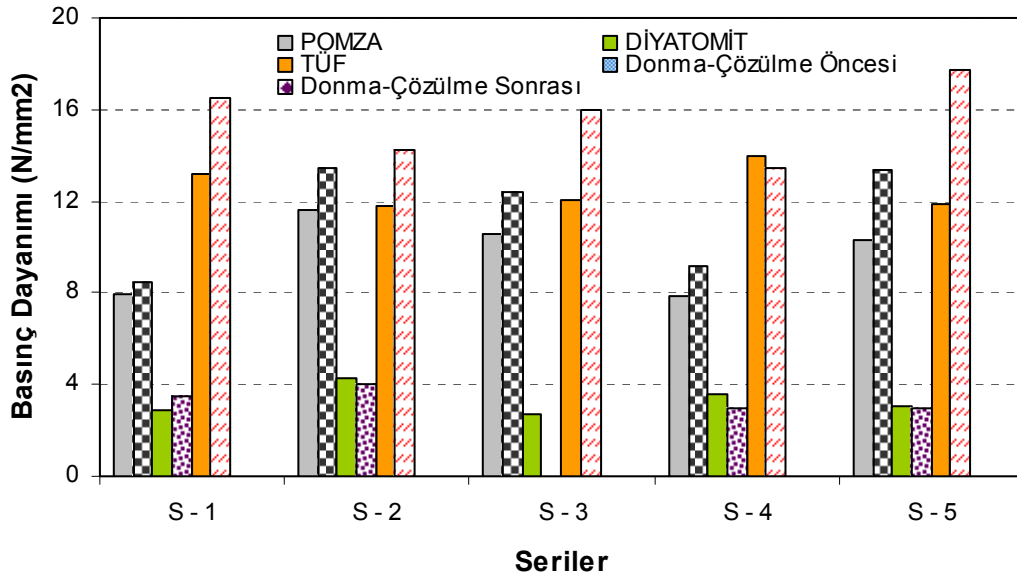


Şekil 4.21 Donma-Çözünme sonrası numunelerde gerçekleşen ağırlık değişimi.



Resim 4.2 (a),(b), (c) Donma-Çözünme öncesi ve sonrası blok numune görünümleri.

Pomza ve tuf agregası kullanılarak üretilen blokların donma-çözünme sonrası, basınç dayanım değerlerinde artış gözlenmiştir. Diatomitli numunelerde ise genel olarak fark edilir bir azalış olduğu deney sonuçlarından görülmektedir. Donma-çözünme deneyi sonunda pomza ve tuf agregalı blok numunelerdeki, havada kür edilen normal numunelere kıyasla, basınç dayanım değerlerinde artış gözlenmesinin sebebini numunelerin donma-çözünme periyotları süresi içerisinde sulu ortamda bekletilmesinin (kür edilmesinden) neden olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte son donma-çözünme periyodu tamamlanan numunelere basınç dayanımı deneyi uygulandığında, numunenin içyapısındaki buzun tam olarak çözülmemesinden de kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.22 Donma-Çözünme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.

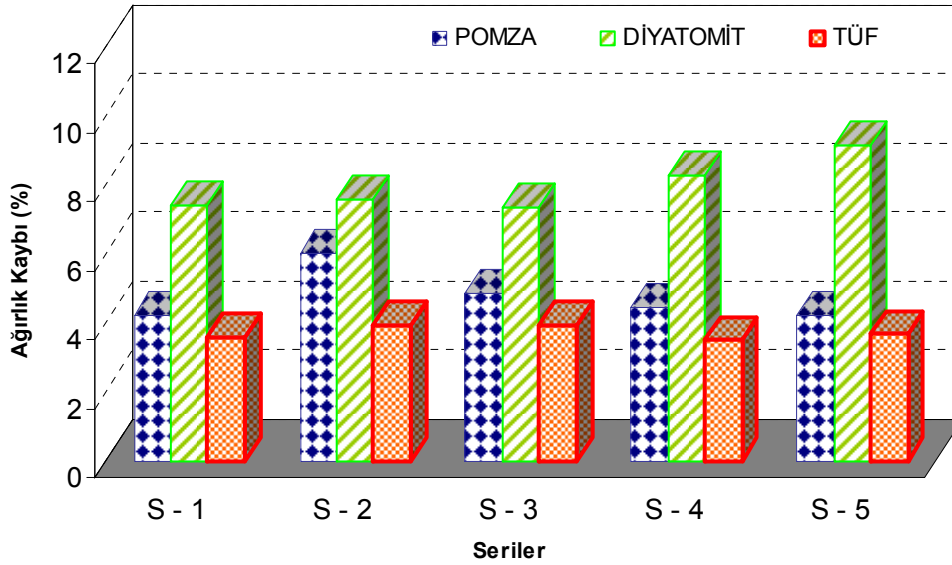
Donma-çözünme periyotları sonunda, numunelerde oluşan dökülmeler, ayrışmalar ve parçalanmaların ne oranda olduğunu belirlemek amacıyla her numunenin ayrı ayrı ağırlık kayıpları hesaplanmış ve Şekil 4.21’de yüzde olarak değişim grafiği çizilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü üzere en fazla ağırlık kaybı (15 Periyot uygulanabilmesine rağmen) diyatomit agregalı blok numunelerde görülmektedir. Şekil 4.22’de Pomza, Diyatomit ve tuf agregalı bloklara ait donma-çözünme sonraki basınç dayanımı değerleri ifade edilmektedir.

Donma-çözünme deneyi sonucunda elde edilen veriler kullanılarak çizilen, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’deki grafikleri birlikte incelediğimizde; pomza, diyatomit ve tuf agregalı bloklar içerisinde, donma-çözünmeye karşı en dayanıklı olan blok türünün tuf agregalı bloklar olduğu görülmüştür. Aynı zamanda diyatomit agregalı bloklarda 15 donma-çözünme periyodu sonunda, hiçte istenilmeyen parçalanma, dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. Özellikle diyatomit kayacında görülen bu olumsuz değişikliklerin sebebinin, kayacın porozite değerinin, diğer iki tür malzemeye (pomza-tuf) oranla yüksek olmasından ve kayacın mekanik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2.3 Yüksek Sıcaklık Etkisi

Numunelerin yüksek sıcaklıklardaki dayanımını belirlemek amacıyla, 28 günlük numuneler 600 °C 'de 2 saat kaldıktan sonra laboratuvar sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Soğuyan numunelerin ağırlıkları kaydedildikten sonra, basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 4.23 ve 4.24'teki grafiklerde görülmektedir.

Şekil 4.23 incelendiğinde en yüksek ağırlık kaybı % 9,16 ile Seri-5'deki diyatomit agregalı bloklarda gerçekleşmiştir. Genel olarak her üç tür malzeme içerisinde en yüksek ağırlık kaybı, diyatomit agregalı bloklarda görülürken, en düşük ağırlık kaybı tuf agregalı bloklarda görülmektedir.



Şekil 4.23 Yüksek sıcaklık sonrası numunelerde gerçekleşen ağırlık değişimi.

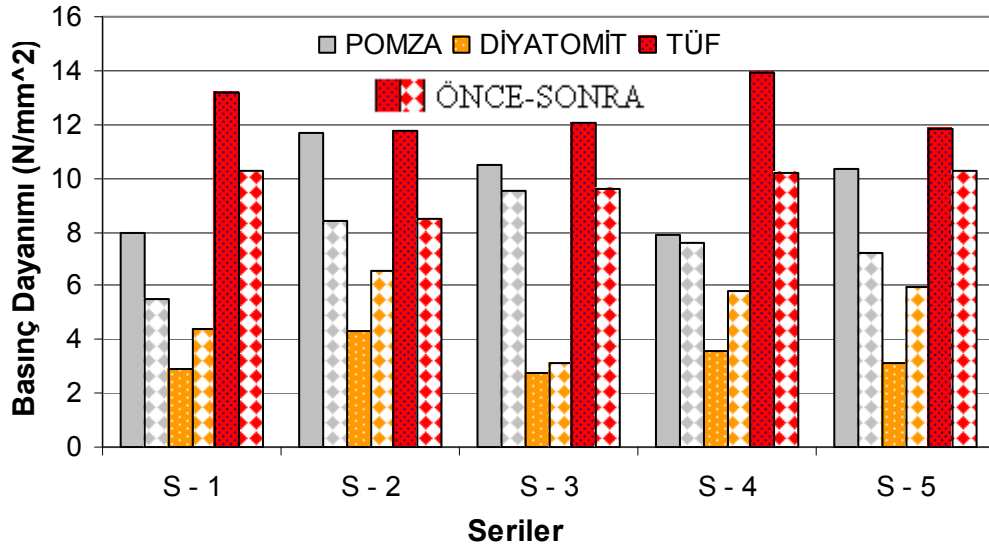
Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında numunelerin dış yüzeylerinde kararmalar belirlenmiştir (Resim 4.3). Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında numunelerde oluşan basınç dayanımı değişimleri Şekil 4.24'de verilmiştir. Basınç dayanımı değerleri göz önüne alındığında pomza ve tüflü numunelerin hepsinde yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı kaybı görülürken, diyatomit agregalı bloklarda küçükte olsa dayanım artışları görülmektedir.



(a)

(b)

Resim 4.3 (a),(b) Yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrası blok numune görünüşleri.

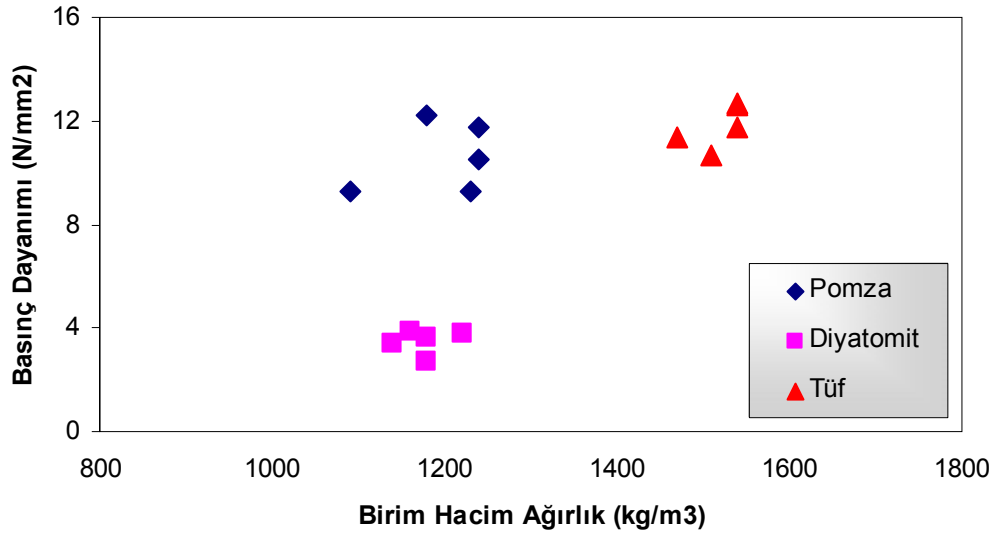


Şekil 4.24 Yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.

4.3. Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi

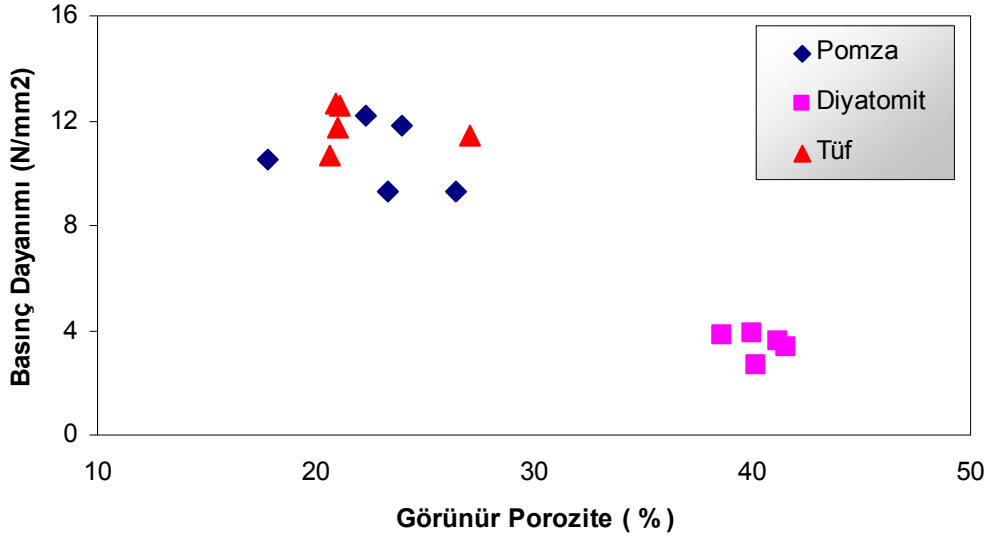
Bu bölümde, deney numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklere ait veriler karşılıklı grafik ortamında değerlendirilmiştir.

Pomza, diyatomit ve tüf agregalı bloklara 56 gün sonunda uygulanan birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.25'te grafik ortamına aktarılmıştır. Grafikten; pomza ve tüflü blokların basınç dayanımı değerlerinin diyatomitli bloklara oranla çok daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Aynı zamanda pomza ve diyatomitli blokların birim hacim ağırlıklarının tüflü bloklara göre çok daha fazla olduğu Şekil 4.25'teki grafikten okunmaktadır. Birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ilişkisi açısından optimum yapı malzemesi özelliklerinin pomza agregalı bloklarda olduğu düşünülmektedir.

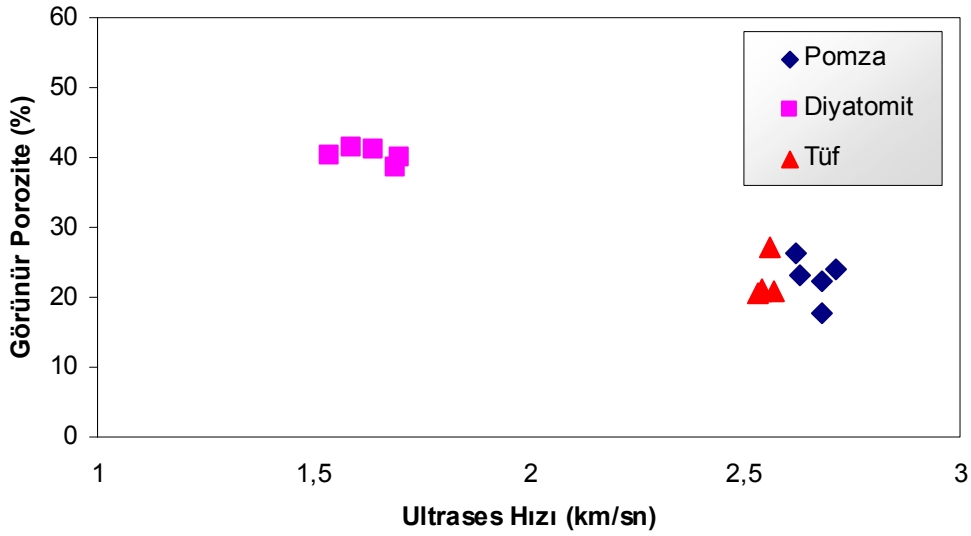


Şekil 4.25 Basınç dayanımı-Birim hacim ağırlık ilişkisi.

Şekil 4.26'daki basınç dayanımı-görünür porozite grafiği incelendiğinde, görünür porozite değeri en yüksek bloklar, diyatomit agregalı bloklar olurken, yine basınç dayanımı yönünden en düşük dayanım özelliklerine sahip blok, diyatomit agregalı bloklar olarak belirlenmiştir. Aynı grafikten görüldüğü üzere porozite değeri yüksek malzemelerin, basınç dayanım değerlerinin düşük olduğu söylenebilir. Bunun yanında diyatomit agregalı bloklarda görülen basınç dayanımı yetersizliğinin, kayacın mekanik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

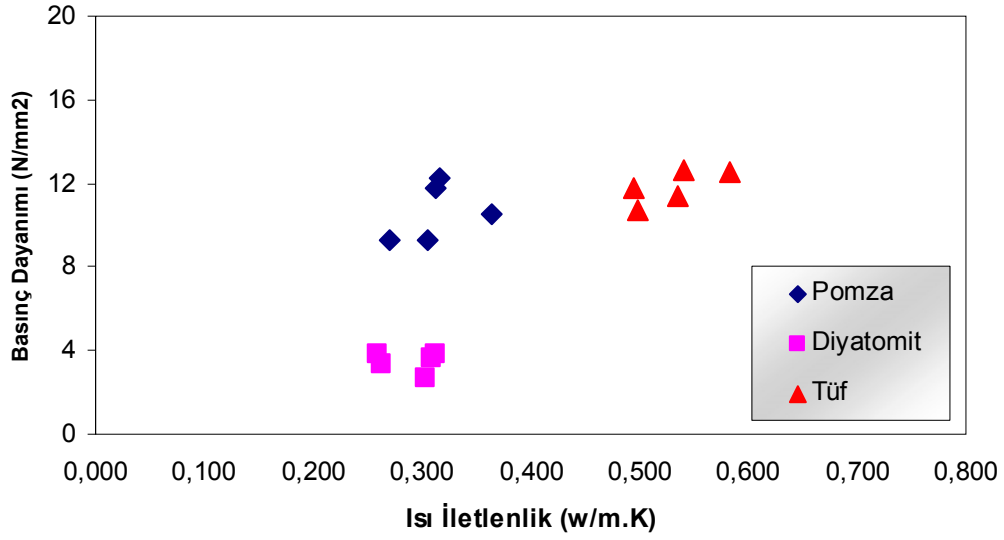


Şekil 4.26 Basınç dayanımı-Görünür porozite ilişkisi.



Şekil 4.27 Ultrases Hızı-Görünür porozite ilişkisi.

56 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen ultrases deneyi ve porozite değerleri sonucunda, özellikle diyatomit agregalı blokların porozite değerlerinin yüksek olması, numunenin iç yapısının boşluklu bir yapıya sahip olmasına dayandırılabilir. Beraberinde ultrases deneyi verilerinin de, pomza ve tüf agregalı bloklara göre düşük değerler alması, diyatomit agregalı blokların, pomza ve tüflü bloklara oranla daha boşluklu bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.28 Basınç dayanımı-Isı iletkenlik ilişkisi.

Basınç dayanımı ve ısı iletkenlik bir yapı malzemesinden beklenen önemli özelliklerden ikisidir. Şekil 4.28’de üretilen blokların basınç dayanım değerleri ve ısı iletkenlik katsayıları birlikte belirtilmiştir. Tüf agregalı blokların basınç dayanımı değerleri yüksek olmasının yanında, ısı iletkenlik katsayıları da yüksek değerler almaktadır. Aynı zamanda diyatomit agregasıyla üretilen blokların ısı iletkenlik katsayılarının düşük olmasının yanında basınç dayanım değerlerinin de düşük olduğu belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada blok eleman üretiminde yaygın olarak kullanılan pomza, diyatomit ve tuf kayaçlarından elde edilen agregalarla hafif blok eleman üretilmiştir. Blok elemanlarla ilgili olarak varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Pomza, Diyatomit ve Tuf agregaları kullanılarak üretilen bloklar arasında en yüksek BHA'ya sahip blok türü tuf agregalı bloklar olurken, en düşük BHA'ya sahip blok türü ise diyatomit agregalı bloklarda görülmüştür.
- Özellikle pomza agregasının granülometrisini değiştirerek (iri malzeme oranının artırılmasıyla) üç tür blok içerisinde en düşük B.H.A. sahip blok elemanın üretilebileceği belirlenmiştir.

Blok eleman bünyesindeki ince malzeme oranının artmasıyla;

- BHA değeri her üç tür numunede de artma eğilimi göstermektedir.
- Su emme değeri azalmış, bunun yanı sıra numune yaşları ile ilişkilendirildiğinde, özellikle ileriki yaşlarda (28 günden sonra) diyatomitli numunelerde su emme oranının arttığı gözlenmiştir.
- Ultrases hızlarında fazla değişim gözlenmez iken, özellikle zamana bağlı ultrases hızı, 28 güne kadar artarken, sonraki yaşlarda azalmalar belirlenmiştir.
- Basınç dayanımı değeri ise doğrusal bir değişim görülmemekle beraber, 28 günlük yaşlarda en yüksek basınç dayanım değerleri pomzalı ve diyatomitli bloklarda Seri-2 de, tüflü bloklarda ise Seri-4 de görülmektedir. Numunelerin zamana bağlı olarak basınç dayanım değerleri; diyatomit ve tüflü bloklarda 28 güne kadar artma, ileriki yaşlarda azalma eğilimi göstermektedir.
- Basınç dayanım değerleri açısından en yüksek dayanıma sahip blok türü, tuf agregalı bloklarda, en düşük dayanıma sahip blok türü ise diyatomit agregalı bloklarda saptanmıştır.

- Donma-Çözünme olayı sonunda görülmüştür ki; diyatomit agregalı bloklar elverişsiz hava şartlarına karşı dayanıksız bir malzemedir. Özellikle porozite oranı yüksek olan malzemelerin elverişsiz hava şartlarına karşı dayanıksız oldukları görülmektedir.
- Yüksek sıcaklığa karşı en dayanıklı malzeme türü diyatomit agregalı bloklar olarak görülmektedir. Ancak diyatomit agregalı blokların yüksek sıcaklık sonrasındaki basınç dayanım artışlarının sebebinin uygun analizlerle belirlenmesi bu sonucu daha da belirgin hale getirecektir.
- Isı iletkenlik deney sonuçlarına göre yalıtım malzemesi olarak kullanılmaya en uygun malzeme türü diyatomit agregalı bloklar olarak belirlenmiştir. Bunun yanında pomza agregalı blokların özellikle yalıtım yönünden, aynı zamanda da basınç dayanım değerinin diyatomitli bloklara göre yüksek olmasından dolayı, pomza agregalı blokları ön plana çıkarmıştır.
- Üretilen mamul blok elemanların genel olarak bir değerlendirmesi yapıldığında, yapı malzemesi sektöründe doğal olmayan, insan sağlığına zararlı ve yapının hizmet ömrünü birçok yalıtım veya taşıyıcı amaçla kullanılan duvar elemanları bulunmaktadır. Bu çalışma sonucundan elde edilen veriler ışığında, optimum düzeyde özelliklere sahip, istenilen ve beklenen özellikleri sağlanabilecek yapı malzemelerinin geliştirilmesi mümkündür.

5.1 Öneriler

Ülkemizde bol miktarda rezerv kapasitesine sahip olan pomza agregasının yanı sıra diyatomit ve volkanik tüflerin de inşaat sektöründe, gerek hafif beton agregası gerekse yapı bloğu üretiminde kullanılarak, ülke ekonomisine katkı sağlamak amacı doğrultusunda konuyla ilgili çalışmalara devam edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Ağırdır M.L., 1989, “Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Briket İmalı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Altun, F. ve Haktanır, T., 2001, “Kayseri Yöresi Erciyes Dağı Hafif Agregaları ile Üretilen Taşıyıcı Hafif Beton Özelliklerinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2001–2, s.10–18.
- Alyıldız İ.S., 2003, “Isparta Dereboğazı Tüflerinde Donma-Çözünme Periyotlarının Fiziko-Mekanik Davranışlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Andrew, S., Willian, K. 1978, “Lightweight concrete, Third Edition, Formerly, Buuilding Research Establishment Garston, Watford, U.K.
- Arda A., 1994., “Hafif Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Arıcı E., 1997, “Van Yöresindeki Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi Ve Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Aruntaş, H.Y., 1996, “Diyatomit, Özellikleri, Kullanım Alanları, İnşaat Sektöründeki Yeri”, Çimento ve Beton Dünyası, Cilt 1, Sayı 4, s.27-32.
- Aruntaş, H., Albayrak, Y., Saka, M., Aydın, H., Tokyay, M., 1998, “Ankara–Kızılcahamam ve Çankırı–Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması” Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 1998, 2(4): s. 337–343.
- ASTM C 597., 1998, “Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete”, ASTM, U.S.A.

- ASTM C 1113,. 2004, “Standard Test Method For Thermal Conductivity of Refractories By Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique), ASTM, U.S.A.
- Başığit, C., Serin, G., Çankıran, O., 2000, “Prefabrike Bölme Panosunda Hafif Betonun ve Çelik Liflerin Kullanılabilirliği”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı 54, s.15-20.
- Başığit, C., Serin, G., Çankıran, O., 2001, “Beton Blok Elemanların Dayanımı Üzerine Pomza ve Silis Dumanının Etkileri”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 2001, 5(2): s.41–48.
- Başığit, C., Genç, Ö. ve Terzi, S., 2001, “Bimsblok ile Yapılan Yığma Yapının Deprem Davranışının Araştırılması”, İMO Antalya Bülten, Sayı: 28, s.20-23, Antalya.
- Ceylan, H., Saraç., 2006, “Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı,10-3, s.,413-421, Isparta.
- Çavuşoğlu, İ., Yılmaz, A.O., Alp, İ., Vıçıl, M., 2004, “Harşit Çayı (Giresun-Tirebolu) Kırılmış Dere Malzemesinin Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”. VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, KAYAMEK–2004 Sivas.
- Çelik, M.H., ve Çelik, A., 2004, “Straforun Taşıyıcı ve Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Politeknik Dergisi, Cilt:7, sayı:3, s.251-257.
- Çelik, Ç., ve Gürdal, E., 2005, “Yerfıstığı Kabuğunun Agrega Olarak Kullanım Olanakları”, İTÜ Dergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarım, Cilt:4, Sayı:1, s.37-46.
- Çobanoğlu, İ., ve Özpınar, Y., 2003, “Sandıklı (Afyon) Tüflerinin Mühendislik Özellikleri Ve Beton Agregası Olarak Kullanım Olanaklarının İncelenmesi”, Yer Bilimleri Dergisi, sayı 42, s.205–222.

- Çubuk, M.K., 2001, “Diyatomit Katkılı Bitümlü Üstyapıların Performans Analizleri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:14, No:1, s.209-220.
- Davraz, M., 2001, “Pomzanın Endüstriyel Kullanım Alanları”, Doktora Seminer Notları, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Demir İ., 2001, “Afyon Bölgesi Tüflerinin Tuğla Üretiminde Kullanılması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, ss.113, Ankara.
- Dinçer, R., ve Çağatay, İ.H., 2004, “Uçucu Kül, Çelik Lif ve Pomza İçeren Betonların Mekanik Özellikleri”, Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Sayı: 19(2), s.261–279, Adana.
- Dinçer, R., ve Çağatay, İ.H., 2004, “Pomza İle Yapılan Hafif Betonların Mekanik Özellikleri”, Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Sayı:19(2), s.247–260, Adana.
- Dizayn Konstrüksiyon., 2006, “Pomza-Bims Sektörümüze Bir Bakış”, İnşaat Teknik Dergisi, Yıl 2006, Sayı 246, s.22-36.
- Doğan, H., Şener, F., 2004, “Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza-Perlit-Ytong-Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler”, Haber Bülteni.
- DPT., 2001, “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer). Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2617 - ÖİK: 628, Ankara.
- Ekmekyapar, T., Örüng, İ., 1997, “İnşaat Malzeme Bilgisi” Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 145, Erzurum.
- Erkan, Y., 1995, “Mağmatik Petrografi”, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Ders Notları. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, ss.154, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.

Gündüz, L., 1998, “Pomza Teknolojisi”, Cilt 1, s.15-33, Isparta.

Kadir, S., ve Karakaş, Z., 2000, “Konya Miyosen Yaşlı Volkanik Birimlerin Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi ile Neofom Kil Mineral Oluşumlarının İrdelenmesi”, MTA Dergisi sayı:122, s.95-106.

Kavas, T., ve Çelik, M.Y., 2001, “Ayazini Afyon Tüflerinin Çimento Sanayisinde Tras Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Madencilik Dergisi cilt: 40, sayı:2-3, s.39-46, Haziran-Eylül-Aralık, Ankara.

Kaymakçı, N., 2001, “Sedimentoloji Ders Notları”, İzmit.

Koçu N., 1997, “Konya Çevresindeki Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Deneysel Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Koçu, N., 2005, “İnşaat Sektöründe Puzolanik Aktiviteye Ship Tüflerinin Kullanılması ve Özelliklerinin Araştırılması”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 15-17 Eylül-Isparta.

Neville, A.M., 1975, “Properties of Concrete”, Pitman Publishing, London.

Öner, F., Alpaslan, M., Boztuğ, D., Kuşcu, M., 2004, “Hınıs Yöresi Volkanitlerin Petrolojisi ve Proklastik Kayaçların Yapıtışı ve Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği”, TÜBİTAK YDABÇAG-101Y053.

Özdeniz, M.B., Pehlivan, A., Yaşar, Y., Yılmaz, S., Yılmaz, C., Yılmaz, M., Kan, Ü., Kars, F., 1994, “Briketlerin Higrotermal Özelliklerinin Saptanması ve İyileştirilmesi” TBİTAK İNTAG Proje No. 605.

Sağın S., 2005, “Pomza İle Üretilen Hafif Beton Blokların Fiziksel Özelliklerin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

- Serin G., 1999, “Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Şapcı, N., Gündüz, L., Ulusoy., 2004, “Karaman ve Civarı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agregada Olarak Yeri ve Önemi”, 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s.138-148, İzmir.
- Şimşek, O., Aruntaş, H, Y., Eroltekin V., 1999, “Uçucu Külün Hafif Beton Yapı Elemanı Üretiminde Kullanımı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”. e-teknoloji Dergisi, Cilt 2, Sayı 3-4, s,15-23.
- Sükan, T., 1966, “Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırması”, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: MAG-31, Kasım, Ankara.
- Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F., 2002, “Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı”, İTÜ dergisi/*d* Mühendislik Cilt:1, Sayı:2, s.125-144.
- Temur, S., 1998, “Endüstriyel Hammaddeler”, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Tokgöz, H., Dorum, A., Kıvrak,O., 2004, “Silis Dumanlı Briketin Basınç Dayanımının Araştırılması”, Politeknik Dergisi, yıl.2004 Cilt.7 Sayı.4 s.369–372.
- Tolğay A., Yaşar, E., Erdoğan Y., 2004, “Nevşehir Pomzasının Agregada Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s 345–354, İzmir.
- Topçu, İ.B., 2006, “Beton Teknolojisi”, s.215-235, Eskişehir.
- Topçu, İ.B., 2006, “Yapı Malzemeleri ve Beton”, s.35-55, Eskişehir.
- Topçu, İ.B., Altun, F., Arı, K., 2005, “Kayseri Yöresi Hafif Agregada Özellikleri ve Taşıyıcı Beton Üretimi”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergi 2005, Isparta.
- TS 25, 1959, “Tras”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TSE 197-1, 2002, “Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 197-2, 2002, “Çimento-Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 206-1, 2002, “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1114 EN 13055-1, 2004, “Hafif Agregalar-Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE EN 12390-1, 2002, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE EN 12390-3, 2003, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 2511, 1977, “Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 3234, 1978, “Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 3234/T1, “Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 3289 EN 1354, 1996, “Gözenekli Beton-Hafif Agregalı-Basınç Mukavemeti Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 3449, “Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 3624, 1981, “Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Uğurlu, A., 1999, “Agrega-Çimento Hamuru Bağı Üzerine”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı 51, s.9-17.
- Urhan, S., 1997, “Hafif Ve Çok Hafif Agregaların Karakteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri” Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, Yıl 2, Sayı 7, s. 19-28.
- Ulusoy, G., 2004, “Pomzanın İzole Monolitik Malzeme İmalinde Kullanılması” MTA Dergisi 129, 89-96, 2004.
- Uygunoğlu T., 2005, “Afyon ve Çevresindeki Hafif Agregalarla Üretilen Blok Elemanların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Ünal, O., Çankıran, O., Sancak, E., 1997, “Hafif Blok Elemanların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri., I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.89-96, Isparta.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Akbaba, H., 2006, “Volkanik Tüf Agregası İle Üretilen Blok Elemanların Özelliklerinin Araştırılması”, 4.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Akbaba, H., 2006, “Tüf Agregası ile Sytropor Kullanılarak Üretilen Blok Elemanların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Akbaba, H., 2006, “Agrega Türünün Hafif Bloklar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul.
- Wittmann, F. H., ed. 1983, “Structure of Concrete with Respect to Crack Formation”, Fracture Mechanics of Concrete, 43-74, Elsevier Applied Science, Amsterdam.
- Yapı dergisi., 1997, sayı 184, mart 1997.
- Yazıcıoğlu, S., ve Bozkurt, N., 2006, “Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 4, s.675-680.

Yeğınobalı, A., 1997, “Yüksek Dayanımlı Doğal Hafif Agregalı Beton” TÜBİTAK İNTAG/TOKİ-626.

Yeğınobalı, A., 1997, “Hafif Ve Yüksek Dayanımlı Hafif Beton”, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, Yıl.2 Sayı 8, Ağustos 1997.

Yıldız, A., Kibici, Y., Emrulloğlu, Ö.F., 1999, “Seydiler (Afyon) Diyatomit Yatağının Jeolojisi ve Mineralojisi”, 1.Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu (Baksem’99), s.96-105, İzmir.

Yıldız, S., Kaya, A., Keleştemur, H., 2004, “Styropor Kullanılarak Elde Edilen Hafif Betonların Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Fırat Üniversitesi, 16(2), S.357-366.

İNTERNET KAYNAKLARI

- İnt.Kyn.1.http://www.betonsa.com.tr/04_hb.asp 09.02.2006
- İnt.Kyn.2.[http://www.isbasbims.com.tr/site/index.php?option=com_content&task=view
&id=22&Itemid=48](http://www.isbasbims.com.tr/site/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=48) 21.03.2006
- İnt.Kyn.3.<http://pomzamer.sdu.edu.tr/pomza.htm> 04.07.2006
- İnt. Kyn.4.<http://www.izoder.org.tr/pdfadmin/files/1154690761.pdf> 03.05.2006
- İnt.Kyn.5.<http://www.uniaktivite.net/ajanda/ajanda.asp?uid=46&id=1745> 21.05.2006

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı HAKAN AKBABA
Doğum Yeri BOĞAZLIYAN
Doğum Tarihi 10 / 09 / 1981
Medeni Hali BEKAR
Yabancı Dili İNGİLİZCE

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise SEYYİD BURHANETTİN E.M.L. Elektronik. 1998.
Lisans AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
Yüksek Lisans

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Yayımları (SCI ve diğer)

1. “Kür Koşullarının Beton Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Deneysel Bir Çalışma” Gap V. Mühendislik Kongresi (uluslararası katılımlı) , Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 26-28 Nisan 2006 Şanlıurfa / TÜRKİYE
2. “Değişik Tür Doğal Hafif Agregalar İle Sytropor Kullanılarak Üretilen Blok Elemanların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 15-16-17 Kasım 2006 İstanbul / TÜRKİYE.
3. “Volkanik Tüf Agregası İle Üretilen Blok Elemanların Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması” 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık 2006 İstanbul / TÜRKİYE.
4. “Agrega Türünün Hafif Bloklar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması” 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 15-16-17 Kasım 2006 İstanbul / TÜRKİYE (Basım aşamasındadır).
5. “Hafif Agregalar ile Üretilen Blok Elemanları Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Araştırılması ve Modellenmesi” adlı 104M341 nolu TÜBİTAK Projesinde görev aldım.