



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Yasin ERDOĞAN

**Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin
Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASİDİK VE BAZİK POMZADAN ÜRETİLEN YAPI MALZEMELERİNİN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yasin ERDOĞAN

DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 02/03/2007 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza:.....	İmza:.....	İmza:.....
Doç. Dr. Ergül YAŞAR	Doç. Dr. Sair KAHRAMAN	Doç. Dr. Alaettin KILIÇ
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

İmza:.....	İmza:.....
Doç. Dr. A. Mahmut KILIÇ	Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇAN
ÜYE	ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: MMF.2003.D.8

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

ÖZ
DOKTORA TEZİ

**ASİDİK VE BAZİK POMZADAN ÜRETİLEN YAPI MALZEMELERİNİN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yasin ERDOĞAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Ergül YAŞAR

Yıl:2007, **Sayfa:** 300

Jüri: Doç. Dr. Ergül YAŞAR

Doç. Dr. Sair KAHRAMAN

Doç. Dr. Alaettin KILIÇ

Doç. Dr. A. Mahmut KILIÇ

Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇAN

Özet: Son zamanlarda pomza, endüstriyel hammadde olarak bir çok avantaja sahip olmasından dolayı yapı ve inşaat sektöründe geniş kullanım alanı bulmuştur. Pomzanın avantajları olarak düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, kolay sıva tutması, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet, ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve işçilikten tasarruf gibi özellikler sayılabilir. Bu çalışmada, asidik ve bazik kökenli pomzaların yapı sektöründe hafif beton ve bimsblok agregası olarak kullanılabilirliği deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir. Çalışmaya asidik pomzaların temsili için Nevşehir bölgesinden, bazik pomzanın temsili için Toprakkale (Osmaniye) bölgesinden numunelerin alınması ile başlanmıştır. Nevşehir ve Toprakkale pomzasının jeolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra yapı malzemesi olarak uygun karışım oranlarında betonlar üretilmiştir. Daha sonra betonların mühendislik özellikleri belirlenerek fiziksel ve mekanik özellikleri açısından Türk Standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Beton deneylerinden sonra, uygun birim hacim ağırlığa sahip Nevşehir asidik pomzalarından bimsblok üretilmesine karar verilmiştir. Dört farklı tip ve boyutta üretilen bimsblokların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde oluşturulan ısı ve ses izolasyonu laboratuvarında beton ve briket örneklerinin yalıtım karakteristikleri incelenmiş ve endüstriyel alanda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan deney sonuçlarından Nevşehir ve Toprakkale yöresi pomzalardan üretilen beton ve briketlerin yapı sektöründe gerek depremsellik açısından gerekse ısı ve ses izolasyonunu sağlaması açısından oldukça uygun bir malzeme olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Pomza, Hafif beton, Isı iletimi, Ses yalıtımı, Bimsblok

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF ENGINEERING PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS MADE WITH ACIDIC AND ALCALINE PUMICE

Yasin ERDOĞAN

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ergül YAŞAR

Year: 2007, **Page:** 300

Jury: Assoc. Prof. Dr. Ergül YAŞAR

Assoc. Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Assoc. Prof. Dr. Alaettin KILIÇ

Assoc. Prof. Dr. A. Mahmut KILIÇ

Asist. Prof. Dr. Tolga ÇAN

ABSTRACT: In recent years, pumice having a number of advantages according to industrial row materials widespreadly increases usability in construction and building sector. These advantages of pumice are having low unit volume weight, high thermal and sound insulation, easily taken plaster and workability, elastic materials due to earthquake forces and behaviour, economic and saving workings. The usability of acidic and alkaline pumice as lightweight aggregate in building sector were determined by laboratory works in this study. The samples of acidic and alkaline pumice were obtained from Nevşehir and Toprakkale (Osmaniye) area respectively. The geological, physical and chemical properties of Nevşehir and Toprakkale pumice as aggregate material were determined and various dimension and type concrete as building material in convenient mixing ratio were produced. The engineering features of concrete were found and appropriateness of concrete characteristics to Turkish standards were investigated. After concrete testing, it was decided to produce of bimsbloc which have suitable unit volume weight from Nevşehir acidic pumice. Physical and mechanical properties of bimsbloc which are four different type and dimension were determined. Furthermore, thermal and sound insulation properties of concrete and bimsbloc in the thermal and sound insulation laboratories in the Department of Mining Engineering at Çukurova University were studied and usability in industrial sector was investigated. Bimsblobs and concrete which are produced from Nevşehir and Toprakkale pumice due to laboratory test results in building sector are quite economic construction materials in terms of earthquake, and thermal and sound insulation.

Key words: Pumice, Light concrete, Thermal conductivity, Sound insulation, Bimsbloc

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında yapmış olduğum Doktora tez çalışmasının her aşamasında beni yönlendiren ve destek veren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ergül YAŞAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapmış olduğum Doktora çalışmasına imkan sağlayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL'a teşekkür ederim.

Tavsiyeleri, destekleri ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. A.Mahmut KILIÇ'a, teşviklerinden dolayı yardımlarına başvurduğum Bölümümüzün değerleri öğretim üyelerinden, Doç.Dr. Alaettin KILIÇ'a, Doç.Dr. Suphi URAL'a, Yard.Doç. Ahmet DAĞ'a, Öğr. Gör. Dr. Nil YAPICI'ya, Arş.Gör. B. Ali MERT'e, Arş. Gör. Ahmet TEYMEN'e, Ulusal Bor araştırma enstitüsünde (BOREN) çalışan kıymetli arkadaşım Atila Gürhan ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezin literatür ve fikir bazlı çalışma esnasında gerek fikirlerinden gerekse eserlerinden çok defa faydalandığım Süleyman Demirel Üniversitesinden Prof Dr. Lütfullah GÜNDÜZ ve Yard. Doç Dr. İbrahim UĞUR'a teşekkür ederim.

Araştırmalarım sırasında numune temini ve üretimi esnasında büyük kolaylık gösteren ARDEMİR Ltd. Şti. Müdürü Mehmet DEMİR'e ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarımı büyük bir sabırla dinleyip bana güvenen, sonsuz desteklerini sunan ve tezimin yazılması esnasında uygun çalışma imkanları sağlayan MTA Genel Müdür Yardımcısı Dr. Abdülkerim YÖRÜKOĞLU'na teşekkür ederim.

Son olarak sürekli manevi desteklerini her zaman hissettiğim, anneme, kardeşime, eşime ve biricik kızıma ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Pomzanın Tanımı ve Genel Yapısı	5
2.1.1. Pomzanın Oluşumu	6
2.1.2. Pomzanın Mineralojik Yapısı ve Belirlenmesi	8
2.1.2.1. Kristallerin Oluşum Sıralaması	11
2.1.2.2. Sınıflandırma Sistemleri	12
2.1.2.3. Magmanın Kristalleşme Olgusu	13
2.1.3. Pomza Türleri	17
2.1.4. Pomzaların Kimyasal Özellikleri ve Türkiye’deki Pomza Bileşenleri	19
2.2. Pomzaların Fiziksel Özellikleri	20
2.2.1. Birim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Komposite ve Su Emme	21
2.2.2. Porozite Doyma Derecesi	24
2.2.3. Gevşek Birim Ağırlık - Sıkışık Birim Ağırlık	27
2.2.4. Dona Dayanıklılık	28
2.2.5. Sertlik	29
2.2.6. Granülometrik Bileşim - Tane Dağılımı	30
2.3 Termik Etkiler ve Yalıtım	33
2.3.1. Malzemede Isısal Özellikler	33
2.3.2 Yapı Malzemelerinde Isısal Konfor ve Malzeme Seçimi	37
2.3.3. Isı Yalıtımının ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti	42
2.4. Ses Oluşum Kriterleri ve Yalıtımı	44

2.4.1. Ses Yalıtımı	45
2.4.2. Ses Karakteristiği ve Oluşum Bilgisi	46
2.4.3. Frekans Aralıkları	52
2.4.3.1. Bas Frekanslar (16 Hz-256 Hz)	52
2.4.3.2. Orta Frekanslar (Midrange; 256 Hz-4096 Hz)	52
2.4.4.3. Tiz Frekanslar (4096 Hz-16384 H)	53
2.4.4. Sesin Yayılma Hızı	53
2.4.5. Sesin Oluşumu	54
2.4.5.1. Hava Doğuşlu Ses	54
2.4.5.2. Yapı Doğuşlu Ses (Darbe Sesleri)	55
2.4.6. Sesin Yayılması	55
2.4.7. Sesin Yansıması	56
2.4.8. Sesin Kırınması	58
2.4.9. Ses Yutulması - Emilmesi	59
2.4.10. Ses Geçirilmesi	61
2.5. Ses Yalıtımı ve Gürültü Denetimi	62
2.5.1. Doğrudan Hava Yoluyla İletim	63
2.5.2. Vibrasyonun Düşürülmesi	63
2.5.2.1. Aralarında Rijit Bağlantı Olan Çift Duvarlar	64
2.5.2.2. Aralarında Rijit Bağlantı Bulunmayan Çift Duvarlar	65
2.5.3. Sesin Hacim İçerisinde Absorbe Edilmesi	66
2.6. Yalıtım ölçümleri	72
3. BETON ve BİMSBLOK	74
3.1. Beton Meydana Getiren Malzemeler	74
3.1.1. Su	74
3.1.2. Bağlayıcı Maddeler	75
3.1.2.1. Çimento	75
3.1.2.1.(1) Çimentonun Üretilmesi	75
3.1.2.1.(2) Çimentonun Oksitleri, Ana Bileşenleri ve Reaksiyonlar	76
3.1.2.1.(3) Çimentonun Hidratasyonu	77
3.1.2.1.(4) Hidratasyon Isısı	78

3.1.2.1.(5) Çimentonun İnceliği	79
3.1.2.1.(6) Çimento Türleri	80
3.1.3. Agregalar	82
3.1.3.1. Agregaların Sınıflandırılması	83
3.1.3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri	84
3.1.3.2.(1) Agregada Su İçeriği	84
3.1.3.2.(2) Birim Hacim Ağırlık	85
3.1.3.2.(3) Özgül Ağırlık	86
3.1.3.2.(4) Su Emme	87
3.1.3.2.(5) Görünür Porozite, Doluluk Oranı ve Gerçek Porozite	88
3.1.3.3. Tane Boyutu ve Dağılımı	89
3.1.3.4. Agregaların Mekanik Özellikleri	91
3.2. Beton	91
3.2.1. Beton Çeşitleri	92
3.2.1.1. Ağırlıklarına Göre Beton Sınıflandırılması	92
3.2.1.2. Yapım Tekniklerine Göre Beton Sınıflandırılması	92
3.2.1.3. Dayanımlara göre beton sınıflandırması	93
3.2.2. Taze beton özellikleri	94
3.2.2.1. İşlenebilirlik deneyleri	95
3.2.2.1.(1) Slump deneyi	95
3.2.2.1.(2) Sıkıştırma Faktörü Deneyi	96
3.2.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri	97
3.2.3.1. Dayanım	97
3.2.3.1.(1) Beton Dayanımlarının Hesap Edilmesi	98
3.2.3.1.(2) Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler	99
3.2.3.1.(2).a) Deney Yöntemi İle İlgili Faktörler	99
3.2.3.1.(2).b) Deney Yönteminden Bağımsız Olan Faktörler	100
3.2.3.2. Dayanıklılık	102
3.2.3.3. Rötire	104
3.2.3.4. Sonik Hız Deneyi	105
3.3. Beton Katkı Maddeleri	106

3.3.1. Beton Katkı Maddelerinin Kullanılması	107
3.3.2. Beton Katkı Maddelerinin Sınıflandırması	107
3.3.2.1. Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri	108
3.3.2.2. Kimyasal Katkı Maddeleri	109
3.4. Hafif Beton Olarak Pomza Kullanımı	106
3.4.1. Hafif Agregalı Betonlar	111
3.4.2. Pomza Karışımları ve TSE Standartları	113
3.4.3. Pomza Agregalı Betonların Özellikleri	116
3.5. Bimsblok Üretimi ve Teknolojisi	118
3.5.1. Bimsblokların Üretim Yöntemi	120
3.5.2. Bimsblok Ürünleri ve Analizi	122
3.5.2.1. Tek sıra boşluklu norm bimsblok	124
3.5.2.2. İki sıra boşluklu norm bimsblok	125
3.5.2.3. Üç sıra boşluklu norm bimsblok	126
3.5.2.4. Dört sıra boşluklu norm bimsblok	127
3.5.3. Geliştirilen Bimsblok Ürünlerinde Kalite Faktörü Analizi	128
3.5.3.1. Ürünün Şekil, Boyut ve Geometrik Analizi	129
3.5.3.2. Ürünün Geometrik Boyutuna Bağımlı Dayanım Fak. A.	130
3.5.3.3. Ürünlerin Ağırlık ve Dayanım Bağımlı Dayanım Kalite Fak. A.	131
3.6. Bimsblokların Mühendislik Özellikleri	133
3.6.1. Birim Hacim Ağırlık	133
3.6.2. Mukavemet Değeri	134
3.6.3. Rötire	134
3.6.4. Sıva Tutma Özelliği	135
3.6.5. Isıya Karşı İzolasyon Değerleri	135
3.6.6. Nemlenme ve Buhar Difüzyonu	136
3.6.7. Isı Depo Etme Yeteneği	137
3.6.8. Ses İzolasyonu	137
3.6.9. Sese Karşı Akustik Özelliği	139
3.6.10. Yangına Karşı Dayanım	139
4. MATERYAL VE METOT	140

4.1. Materyal	140
4.1.1. Kullanılan Hammadde	140
4.1.1.1. Nevşehir Asidik Pomzası	140
4.1.1.2. Toprakkale (Osmaniye) Bazaltik Pomzası	141
4.1.2. Petrografik Özellikler	142
4.1.3. Fiziksel Özellikler	144
4.1.4. Kimyasal Özellikler	144
4.1.5. Mekanik Özellikler	144
4.1.6. Isı İletimi	145
4.1.7. Ses İzolasyonu	150
4.1.7.1. Ölçüm Sisteminde Kullanılan Cihaz Özellikleri	151
4.1.7.2. Ölçümlerde Kullanılan Ses Frekanslar	153
4.1.7.3. Ses Geçiş Kaybı Ölçümünün Yapılması	154
4.2. Metot	158
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	162
5.1. Çalışmada Kullanılan Pomzaların Genel Karakteristik Özellikleri	163
5.1.1. Pomza Rezerv Analizleri	167
5.1.2. Jeolojik Özellikleri	169
5.1.2.1. Nevşehir Asidik Pomzası	169
5.1.2.1.(1) Genel Jeoloji	169
5.1.2.1.(2) Bölgesel Jeoloji	171
5.1.2.2. Toprakkale Bazik Pomzası	174
5.1.3. Mineralojik ve Petrografik Analizler	177
5.1.4. Kimyasal Analiz	180
5.1.5. Fiziksel Özellikler	183
5.1.5.1. Birim Hacim Ağırlık	183
5.1.5.2. Su Emme	186
5.1.5.3. Gerçek Porozite	188
5.1.5.4. Kompasite (Doluluk Oranı) Analizi	190
5.2. Hafif Betona Uygunluk Deneyleri	192
5.2.1. Pomzaların Elek Analizleri	192

5.2.2. Organik Madde İçeriği	197
5.2.3. Pomza Agregasında İnce Madde Oranı Analizi	198
5.2.4. Pomza Agregalarının Kızdırma Kaybı Analizi	201
5.3. Hafif Beton Karışım Hesapları	206
5.3.1. Beton Yapımında Kullanılan Malzemeler	207
5.3.1.1. Çimento	207
5.3.1.2. Agregası	208
5.3.1.3. Karışım Suyu	209
5.3.1.4. Su-Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi	210
5.3.1.5. Diğer Faktörler	210
5.3.2. Beton Karışım Oranları	210
5.4. Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	215
5.4.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyleri	216
5.4.2. Tek Eksenli Basma Dayanımı	222
5.4.3. Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi	226
5.4.4. Sonik Hız Deneyi	230
5.4.5. Isı İletim Katsayısı	234
5.4.6. Ses Yalıtımı	238
5.5. Bimsblok Üretimi ve Kalite Analizi	245
5.5.1. Bimsblokların Genel Özellikleri	246
5.5.2. Bimsblok Üretiminde Kullanılan Malzemeler	247
5.5.2.1. Çimento	247
5.5.2.2. Agregası	247
5.5.2.3. Karışım Suyu	248
5.5.2.4. Kullanılan Deney aletleri	248
5.5.3. Bimsblokların Karışım ve Şekil Algoritmasının Belirlenmesi	248
5.5.4. Bir Sıra Üç Boşluklu Bimsblok (100x400x190 mm)	253
5.5.5. İki Sıra Altı Boşluklu Bimsblok (150x400x190 mm)	258
5.5.6. Üç Sıra Dokuz Boşluklu Bimsblok (200x400x190 mm)	264
5.5.7. Üç Sıra Dokuz Geniş Boşluklu Bimsblok (250x400x190 mm)	269
5.5.8. Bimsblok Kalite Faktörünü Analizleri	275

5.5.9. Duvar Analizi	280
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	283
KAYNAKALAR	295
ÖZGEÇMİŞ	300

ÇİZELGELER

SAYFA NO

Çizelge 2.1. Asidik ve Bazik pomzaların genel kimyasal özellikleri	19
Çizelge 2.2. Farklı illerde pomza oluşumlarının kimyasal analiz değerleri (%)	20
Çizelge 2.3. Birim hacim ağırlık tayini için deney numunesi miktarları	21
Çizelge 2.4. Birim ağırlık tayini için deney ölçü kaplarının boyutları	27
Çizelge 2.5. Pomza agregalarının birim ağırlığı	28
Çizelge 2.6. Mohs sertlik sınıflaması	29
Çizelge 2.7 Pomza Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı	33
Çizelge 2.8. Çeşitli Malzemelerde Isıl Genleşme Katsayıları	34
Çizelge 2.9. Çeşitli Malzemelerde Isı İletkenlik Değerleri	36
Çizelge 2.10. Yapı Kesitlerinde Konveksiyon Katsayısı	39
Çizelge 2.11. Isı bölgeleri k, 1/Δ değerleri	42
Çizelge 2.12. Ses dalgalarının farklı frekanslardaki dalga boyları	48
Çizelge 2.13. Sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızları	54
Çizelge 2.14. Çeşitli malzemelerin ses yutuculuk değerleri	60
Çizelge 2.15. Ses şiddetindeki düşüşe bağımlı olarak malzemelerin ses soğurma yüzdeleri	61
Çizelge 2.16. Gürültü kontrolü	70
Çizelge 2.17. Yapı Elemanlarının Fiziksel ve Akustik Özellikleri	71
Çizelge 3.1. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları	77
Çizelge 3.2. Çimentonun ana bileşenleri	77
Çizelge 3.3. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri	78
Çizelge 3.4. Çimento Türleri	81
Çizelge 3.5. Beton sınıfları ve dayanımları	94
Çizelge 3.6. Slump çökme sınırları (www.kalitekontrol.org)	95
Çizelge 3.7. TS 1114'e göre hafif agreganın kullanım yerlerine göre yoğunluk değerleri	112
Çizelge 3.8. PÇ 32,5 için çimento miktarları	115
Çizelge 3.9. Bimsblokların tanımlanma şekline göre yapılabilir tip ve ebatları	123
Çizelge 3.10. Tek sıra boşluklu bimsblokların TS 2823'e göre	

fiziksel ve mekanik özellikleri	124
Çizelge 3.11. İki sıra boşluklu bimsblokların TS 2823'e göre	
fiziksel ve mekanik özellikleri	125
Çizelge 3.12. Üç sıra boşluklu bimsblokların TS 2823'e göre	
fiziksel ve mekanik özellikleri	126
Çizelge 3.13. Dört sıra boşluklu bimsblokların TS 2823'e göre	
fiziksel ve mekanik özellikleri	127
Çizelge 3.14. İki sıra boşluklu bimsbloğun şekil, boyut ve geometrik analizi	130
Çizelge 3.15. TSE normlarına göre bimsblok kalite faktörleri	131
Çizelge 3.16. ÇBR-15 Normlu bimsbloğun dayanım kalite faktörü	
analiz değerleri	132
Çizelge 3.17. Bimsblokların ısı iletkenlik değerleri	135
Çizelge 3.18. Bimsblok uygulama kalınlıkları	136
Çizelge 3.19. Duvarların ses yalıtım değeri	138
Çizelge 4.1. Ses (Akustik) ölçümleri için kullanılan frekanslar	155
Çizelge 5.1. Dünya pomza rezervi	168
Çizelge 5.2. Türkiye pomza rezervi	168
Çizelge 5.3. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal analizleri	181
Çizelge 5.4. Toprakkale bazik pomzanın kimyasal analiz sonuçları	182
Çizelge 5.5. Nevşehir pomzalarının birim hacim ağırlık değerleri (gr/cm^3)	164
Çizelge 5.6. Toprakkale bazik pomzalarının birim hacim	
ağırlık değerleri (gr/cm^3)	185
Çizelge 5.7. Nevşehir pomzalarının su emme değerleri (%)	186
Çizelge 5.8. Toprakkale bazik pomzalarının su emme değerleri (%)	186
Çizelge 5.9. Nevşehir asidik pomzalarının gerçek porozite değerleri (%)	188
Çizelge 5.10. Toprakkale bazik pomzalarının gerçek porozite değerleri (%)	188
Çizelge 5.11. Nevşehir asidik pomzalarının kompasite değerleri (%)	190
Çizelge 5.12. Toprakkale bazik pomzalarının kompasite değerleri (%)	190
Çizelge 5.13. TS 1114'de öngörülen hafif Agregaların granülometrik özellikleri	192
Çizelge 5.14. Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri	193
Çizelge 5.15. Tüvenan Nevşehir Asidik pomzasının elek analiz değerleri	195

Çizelge 5.16. Tüvenan Toprakkale Bazik pomzasının elek analiz değerleri	196
Çizelge 5.17. Hafif beton agregalarında ince madde oranı sınır değerleri	199
Çizelge 5.18. Nevşehir asidik pomzasının ince malzeme miktarları	200
Çizelge 5.19. Toprakkale Bazik pomzasının ince malzeme miktarları	200
Çizelge 5.20. Nevşehir asidik pomza agregasının kızdırma kaybı deney sonuçları	202
Çizelge 5.21. Toprakkale bazik pomza agr. kızdırma kaybı deney sonuçları	204
Çizelge 5.22. Beton yapımında kullanılan Portland çimentonun kimy. özellikleri	208
Çizelge 5.23. Beton yapımında kullanılan Portland çimentonun fizik. özellikleri	208
Çizelge 5.24. Nevşehir asidik pomzasında agrega, su ve çimento krşm. oranları	212
Çizelge 5.25. Toprakkale bazik pomzasında agrega, su ve çimento krşm. oranları	213
Çizelge 5.26a. Nevşehir asidik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (1, 7 günlük) (kg/m^3)	216
Çizelge 5.26b. Nevşehir asidik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (14, 28 ve 90 günlük) (kg/m^3)	217
Çizelge 5.27a. Toprakkale bazik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (1, 7 ve 14 günlük) (kg/m^3)	219
Çizelge 5.27b. Toprakkale bazik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (28 ve 90 günlük) (kg/m^3)	220
Çizelge 5.28a. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (7 ve 14 günlük)	222
Çizelge 5.28b. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (28 ve 90 günlük)	223
Çizelge 5.29a. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları	224
Çizelge 5.29b. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (90 günlük)	225
Çizelge 5.30a. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı deney sonuçları (7 ve 14 günlük) (MPa)	226
Çizelge 5.30b. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı deney sonuçları (28 ve 90 günlük) (MPa)	227
Çizelge 5.31a. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin	

zamana bağı çekme dayanımı deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük)	228
Çizelge 5.31b. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağı çekme dayanımı deney sonuçları (90 günlük) (MPa)	229
Çizelge 5.32a. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağı sonik hız deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük) (MPa)	230
Çizelge 5.32b. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağı sonik hız deney sonuçları (90 günlük) (MPa)	231
Çizelge 5.33a. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağı sonik hız deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük) (MPa)	232
Çizelge 5.33b. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağı sonik hız deney sonuçları (90 günlük) (MPa)	233
Çizelge 5.34. Nevşehir asidik pomzasından mamul beton örneklerinin zamana bağı ısı iletim katsayı sonuçları (7, 14, 28 ve 90 günlük) (kcal/m ⁰ Ch)	235
Çizelge 5.35. Toprakkale bazik pomzasından mmul beton örneklerinin zamana bağı ısı iletim katsayı sonuçları (7, 14, 28 ve 90 günlük) (kcal/m ⁰ Ch)	236
Çizelge 5.36. Bimsblok karışım oranları	249
Çizelge 5.37. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m ³)	255
Çizelge 5.38. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)	256
Çizelge 5. 39. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük Isı iletim katsayı değerleri (W/m.K)	257
Çizelge 5. 40. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m ³)	260
Çizelge 5. 41. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)	261
Çizelge 5.42. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ısı iletim katsayı değerleri (W/m.K)	262
Çizelge 5.43. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m ³)	266
Çizelge 5.44. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük	

tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)	267
Çizelge 5.45. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ısı iletim katsayı değerleri (W/m.K)	268
Çizelge 5. 46. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m ³)	271
Çizelge 5. 47. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)	272
Çizelge 5. 48. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ısı iletim katsayı değerleri (W/m.K)	273
Çizelge 5.49.Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri	276
Çizelge 5.50. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 ünlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri	277
Çizelge 5.51. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri	278
Çizelge 5.52. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri	279
Çizelge 5.53. Tuğla, Sandviç tuğla, Gazbeton ve Bimsbloklardan oluşan duvar bloklarının karşılaştırmalı maliyet analizleri	281
Çizelge 5.54. Duvar Blokların Ağırlık Analizi	382

SEKİLLER

SAYFA NO

Şekil 2.1. Pomzanın iç yapı analizi akım şeması	9
Şekil 2.2. Magmanın kristalleşme olgusunun sembolik gösterimi	15
Şekil 2.3. Magmanın farklılaşma süreçleri	17
Şekil 2.4. Bazik ve asidik pomzanın genel görünümü	18
Şekil 2.5. Taş türü malzemeler için $\sigma_{\max}$ -dh arasındaki ilişki	26
Şekil 2.6. Maksimum 8 mm. Boyutlu Agregaların Granülometri eğrisi	31
Şekil 2.7. Maksimum 16 mm. Boyutlu Agregaların Granülometri eğrisi	31
Şekil 2.8. Maksimum 32 mm. Boyutlu Agregaların Granülometri eğrisi	32
Şekil 2.9. Maksimum 64 mm. Boyutlu Agregaların Granülometri eğrisi	32
Şekil 2.10. Farklı sıcaklıklarda pomzanın ısı iletim katsayı değerleri ve dağılımı	36
Şekil 2.11. Bir yapı kesitinin sembolik ısı geçiş diyagramı	40
Şekil 2.12. İzolasyonlu ve izolasyonsuz duvarda sıcaklık dağılımı	44
Şekil 2.13. Değişik ses basınçlarının grafik gösterimi	49
Şekil 2.14. Değişen atmosfer ortamlarında ses şiddetlerinin grafiksel gösterimi	51
Şekil 2.15. Pürüzsüz ve katı bir yüzey üzerinden ses dalgasının yansımaları	57
Şekil 2.16. Ses dalgalarının kırınması	58
Şekil 2.17. Dış ortam gürültü seviyesiyle, içeride istenen ses seviyesi arasındaki fark, duvarın sahip olması gereken ses geçiş kaybı değerini belirler	69
Şekil 3.1. Agrega tanelerinin içerdikleri su durumu	85
Şekil 3.2. Birim ağırlığın belirlenmesi	86
Şekil 3.3. Özgül ağırlığın belirlenmesi	86
Şekil 3.4. Kare göz açıklıklı elekler (0.25 mm ile 31.5 mm arası)	89
Şekil 3.5. Slump (çökme) konisi	96
Şekil 3.6. Sonik Hız deney aleti	106
Şekil 3.7. Farklı tip ve boyuttaki bimsbloğun fotoğraf görüntüsü	119
Şekil 3.8. Bimsblok üretim prosesi akım şeması	121
Şekil 3.9. Tek sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi	124
Şekil 3.10. İki sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi	126
Şekil 3.11. Üç sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi	127

Şekil 3.12. Dört sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi	128
Şekil 3.13. İki sıra boşluklu, TSE ve ÇBR-15 normu bimsblok örnekleri	129
Şekil 3.14. İki sıra boşluklu, TSE ve ÇBR-15 normu bimsblok örneklerinin dayanım faktörü analizi	130
Şekil 3.15. TSE 2823 standart normlarına göre bimsblokların dayanım kalite faktör-birim hacim ağırlık ilişkisi	132
Şekil 3.16. ÇBR-15 normlu ürünün kalite analizi	133
Şekil 4.1. 16-8 mm. elek aralığına sahip Nevşehir pomzasının görünümü	141
Şekil 4.2. 8-4 mm. elek aralığına sahip Nevşehir pomzasının görünümü	142
Şekil 4.3. Yapı malzemelerinde petrografik analiz-akım şeması	143
Şekil 4.4. Isı izolasyonunun hesabında kullanılan etüvün sembolik	146
Şekil 4.5. Fırındaki ısıyı $^{\circ}\text{C}$ cinsinden gösteren termometre	148
Şekil 4.6. Isıyı üreten 1. haznenin görünümü	148
Şekil 4.7. Bimsblok konulmuş 2.hazne ve termometre ucunun genel görünümü	149
Şekil 4.8. Beton kalıpdaki ısı iletim katsayısının ölçümü etüvün genel görünüşü	149
Şekil 4.9 Ses ölçüm odasının şematik görünümü	151
Şekil 4.10. Dijital ses seviyesi ölçer (dB metre)'in genel görünümü	152
Şekil 4.11. Anfi ve ses sinyal üreticinin genel görünümü	153
Şekil 4.12. Blok konulmadan önce yapılan hazır durumda olan ölçüm sistemi	156
Şekil 4.13. Beton blok konulduktan sonra yapılan ses ölçümleri	157
Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan pomza hammaddesi	159
Şekil 4.15. Beton karma makinesi	160
Şekil 4.16. Asidik ve bazik pomzadan mamul hafif beton örnekleri	160
Şekil 4.17. Bimsblok pres makinesi	161
Şekil 4.18. Kurumaya bırakılmış Bimsblok (asmolen) örnekleri	161
Şekil 5.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş yer bulduru haritası	163
Şekil 5.2. Doğal halde bulunan Nevşehir pomzalarının görünümü	164
Şekil 5.3. Kırılıp elemeye tabi kalmış Nevşehir Asidik pomza yığın numuneleri	164
Şekil 5.4. Toprakkale bazik pomzalarının yer bulduru haritası	165

Şekil 5.5. Toprakkale bazik pomzasının bulunduğu Tüysüz tepe pomza yığınları	166
Şekil 5.6. Arazide yığın olarak bulunan Bazik pomza numuneleri	166
Şekil 5.7. Yıllara göre pomza üretimi	167
Şekil 5.8. Nevşehir bölgesinin genelleştirilmiş jeolojik haritası	170
Şekil 5.9. Çalışma alanının genel litolojik kesiti	172
Şekil 5.10. Toprakkale civarının jeolojik haritası	175
Şekil 5.11. Nevşehir Asidik pomzasının ince kesit görünümü	178
Şekil 5.12. Toprakkale bazik pomzasının ince kesti görünümü	179
Şekil 5.13. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal bileşimi	181
Şekil 5.14. Toprakkale bazik pomzasının kimyasal bileşimi	182
Şekil 5.15. Nevşehir bölgesi asidik pomzaların birim hacim ağırlık değişimi	184
Şekil 5.16. Toprakkale bölgesi bazik pomzaların birim hacim ağırlık değişimi	185
Şekil 5.17. Nevşehir bölgesi asidik pomzaların su emme değişiminin grafiksel görünümü	187
Şekil 5.18. Toprakkale bölgesi bazik pomzaların su emme değişiminin grafiksel görünümü	187
Şekil 5.19. Nevşehir asidik pomzaların porozite değişiminin grafiksel görünümü	189
Şekil 5.20. Toprakkale bazik pomzaların porozite değişiminin grafiksel görünümü	189
Şekil 5.21. Nevşehir asidik pomzaların kompasite değişiminin grafiksel görünümü	191
Şekil 5.22. Toprakkale bazik pomzaların kompasite değişiminin grafiksel görünümü	191
Şekil 5.23. Kare delikli eleklerde beton agregası granülometrisi	194
Şekil 5.24. Yuvarlak delikli eleklerde beton agregası granülometrisi	194
Şekil 5.25. Tüvenan Nevşehir asidik pomza agregasının granülometri eğrisi	196
Şekil 5.26. Tüvenan Toprakkale bazik pomza agregasının granülometri eğrisi	197
Şekil 5.27. Nevşehir asidik pomzasının sıcaklığa bağlı olarak kütle değişim grafiği	203
Şekil 5.28. Nevşehir asidik pomzasının sıcaklığa bağlı kızdırma kaybı değişim grafiği	203

Şekil 5.29. Toprakkale bazik pomzasının sıcaklığa bağlı olarak kütle değişim grafiği	205
Şekil 5.30. Toprakkale bazik pomzasının sıcaklığa bağlı kızdırma kaybı değişim grafiği	205
Şekil 5.31 Tane büyüklüğü 16 mm olan beton agregalarının limit değerleri ve Nevşehir asidik pomzası agregasının granülometrik eğrisi	211
Şekil 5.32. Tane büyüklüğü 16 mm olan beton agregalarının limit değerleri ve Toprakkale bazik pomzası agregasının granülometrik eğrisi	211
Şekil 5.33. Hafif beton örneklerinin blok kalıplara dökülmüş hali	214
Şekil 5.34. Nevşehir asidik pomza betonlarından alınan karot numuneleri	214
Şekil 5.35. Toprakkale bazik pomza betonlarından alınan karot numuneleri	215
Şekil 5.36. Nevşehir asidik pomzalarının zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi	218
Şekil 5.37. Nevşehir asidik pomzalarında zamana bağlı birim hacim ağırlıklarında oluşan (%) kütle kaybının değişim grafiği	218
Şekil 5.38. Toprakkale bazik pomzalarının zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi	221
Şekil 5.39. Toprakkale bazik pomzalarında zamana bağlı birim hacim ağırlıklarında oluşan (%) kütle kaybının değişim grafiği	221
Şekil 5.40. Nevşehir asidik pomzasından mamül karot örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı değişim grafiği	223
Şekil 5.41. Toprakkale bazik pomzasından mamül karot örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı değişim grafiği	225
Şekil 5.42. Nevşehir asidik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı değişim grafiği	227
Şekil 5.43. Toprakkale bazik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı değişim grafiği	229
Şekil 5.44. Nevşehir asidik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı sonik hız değişim grafiği	231
Şekil 5.45. Toprakkale bazik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı sonik hız değişim grafiği	233

Şekil 5.46. Nevşehir asidik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı ısı iletim katsayı değerleri	237
Şekil 5.47. Toprakkale bazik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı ısı iletim katsayı değerleri	237
Şekil 5.48. Standart frekans eğrisi ile test eğrisi STC arsında karşılaştırma değerleri (Merritt ve Ricketts, 1994)	239
Şekil 5.49. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 7 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	240
Şekil 5.50. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 14 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	241
Şekil 5.51. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 28 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	241
Şekil 5.52. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 90 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	242
Şekil 5.53. Toprakkale bazik pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 7 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	242
Şekil 5.54. Toprakkale bazik pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 14 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	243
Şekil 5.55. Toprakkale bazik pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 28 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	243
Şekil 5.56. Toprakkale bazik pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 90 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi	244
Şekil 5.57. TS 2823 standardında tanımlanan 100 x 390 x 185 ebatlarındaki bimsblok geometrik şekil ve boyutlandırmaları	250
Şekil 5.58. TS 2823 standartlarına uygun olarak tasarlanan 100x400x190 ebatlarındaki bir sıra üç boşluklu bimsbloğun geometrik şekil ve boyutlandırmaları	251
Şekil 5.59 Bir sıra üç boşluklu bimsbloğun (100x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları	253
Şekil 5.60. Bir sıra üç boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi	254
Şekil 5.61. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların zamana bağlı	

birim hacim ağırlıklarının değişimi	255
Şekil 5.62. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların zamana bağlı t.e.b.d değeri değişimi	256
Şekil 5.63. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi	257
Şekil 5.64. İki sıra altı boşluklu bimsbloğun (150x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları	259
Şekil 5.65. İki sıra altı boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi	259
Şekil 5.66. İki sıra altı boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi	261
Şekil 5.67. İki sıra altı boşluklu bimsblokların zamana bağlı Tek eksenli basma dayanım değeri değişimi	262
Şekil 5.68. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi	263
Şekil 5.69. Üç sıra dokuz boşluklu bimsbloğun (200x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları	264
Şekil 5.70. Üç sıra dokuz boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi	265
Şekil 5.71. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi	266
Şekil 5.72. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların zamana bağlı Tek eksenli basma dayanım değeri değişimi	267
Şekil 5.73. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi	268
Şekil 5.74. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloğun (250x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları	270
Şekil 5.75. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi	270
Şekil 5.76. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi	272
Şekil 5.77. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların zamana bağlı Tek eksenli basma dayanım değeri değişimi	273
Şekil 5.78. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90	

günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi	274
şekil 5.79. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların kalite analizi	276
şekil 5.80. İki sıra altı boşluklu bimsblokların kalite analizi	277
şekil 5.81. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların kalite analizi	278
şekil 5.82. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların kalite analizi	279

1.GİRİŞ

Türkiye gibi kalkınma çabasında olan ülkelerin sınırlı olan ekonomik kaynaklarını en iyi şekilde değerlendirip sektörlerle ait yatırımların ayrıntılı, çok yönlü araştırmalara dayalı ve uzun vadeli planlamalara bağlı olarak yapılması herkesçe kabul edilen bir husustur. Bunun içindir ki, kaya mühendisliği biliminde kaydedilen hızlı gelişmelerin paralelinde, bazı kaya kütlesi türlerinin farklı endüstri alanlarında kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerinin kullanımı gerek depreme karşı yüksek bir mukavemet sağlaması gerekse diğer kayaç türlerine göre mühendislik özelliklerinin uygun olması, bu tür kayaçlarının kullanımını arttırmaktadır.

İnsanoğlu eski çağlardan beri kayaçları barınma, iş ve diğer sosyal faaliyetlerin oluşturulabileceği birçok mekânın yapılmasında ana yapı malzemesi olarak kullanmıştır. Zamanla yüksek binaların temel üzerinde oluşturduğu statik yükler, ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve önlem amaçlı zorunlulukların artması ile birlikte hafif kaya malzemelerinin kullanımı artmaktadır. Yapı ve kaplama sektöründe ana hammadde olarak değerlendirilmeye başlanmış olan hafif kayaçların kendilerine has bazı özellikleri dikkate alınarak, yapı endüstrisinde konfor amaçlı ana malzeme olarak sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür kayaçların genellikle doğal gözenekli ve hafif kayaç oluşumları olduğu bilinmektedir.

Bu amaçla, çalışma kapsamında doğal yapı ve kaplama malzemesi olarak asidik ve bazik pomzalar seçilmiş ve ülke ekonomisine endüstriyel hammadde olarak sunulması amaçlanmıştır.

Sertliği 5-6 (Mohs) ve özgül ağırlığı 1-2 gr/cm³ olan pomza, makro ve mikro boyutta olmak üzere gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözenekler arası genellikle bağlantısız ve boşluklu olduğundan geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı ise oldukça yüksektir. Bu üstün fiziksel özellikten dolayı pomza, günümüzde birçok endüstride geniş kullanım alanına sahiptir. Dünya’da inşaat sektöründen, tekstil sanayisine, tarımdan kimya alanına kadar birçok farklı alanda kullanım olanağı bulunan pomzaların endüstriyel hammadde olarak tanıtılması ve endüstrinin pomza

madenciliğine olan ilgisinin artırılması da çalışmanın diğer bir amacını oluşturmaktadır (Yaşar ve Erdoğan, 2001).

Yapı amaçlı olarak kullanılan malzemelerde ısı ve ses yalıtım konforunun sağlanması, günümüzde temel olarak aranan özelliklerin başında gelmektedir. Bu bakımdan doğal yapı taşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra, ısı iletkenlikleri ve ses akustiğinin de belirlenmesi detaylı bir çalışma gerektirmektedir.

Yapılarda ısısal konfor hesaplamaları, bina ısı yalıtım analizlerinde, günümüz ısı yönetmelikleri bakımından önemli bir konu olmuştur. Özellikle 8 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan “Binalarda Isı Yönetmeliği” ve 14 Haziran 2000 tarihinde revize edilerek yürürlüğe giren “TS 825 Isı Yalıtım Standardı”, yeni yapılan konutlarda, ısısal konforun sağlanma prensip ve uygulama kriterlerini tanımlamakla birlikte, ısısal konfor açısından malzemelerde aranan özellikleri de belirtmektedir.

Yapılarda ısı yalıtımını sağlayan başlıca etken, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özellikleridir. Bu özelliği sağladığından dolayı, inşaat sektöründeki uygulamalarda gözenekli pomzaların ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılması giderek yaygınlaşmıştır (Gündüz, 2001). Aynı şekilde içerisinde yaşanan belirli ölçülerde sınırlandırılmış kapalı mekanlarda akustik yönden konfor sağlamak için, malzeme ve yapı düzeni ile ilgili olarak iki önemli etken vardır. Birincisi sesin yansıması veya yankı, diğeri de ses iletimi veya bunun tersi olan ses yalıtımıdır (Gündüz vd, 1998a).

Doğal yapı ve kaplama taşlarının, fiziksel ve yapısal özelliklerine bağımlı olarak, farklı akustik ve ses absorpsiyon özellikleri gösterdikleri bilinmektedir. Ancak, konu üzerinde kullanım amaçları doğrultusunda detaylı inceleme ve araştırma bulgularına yeterince rastlanılmamaktadır. Bu bakımdan doğal kayaç oluşumlarının, ses absorpsiyon özelliklerinin detay ve hassasiyetle incelenmesi gerekmektedir (Uğur, 2001). Bu amaçla çalışmanın diğer bir içeriği de pomzaların ses absorpsiyon ve akustik özelliklerinin deneysel normlarla incelemelerini yaparak endüstriye sunmaktır.

Çalışmada, asidik ve bazik kökenli pomzaların yapı sektöründe hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin tespiti için yapılan deneysel çalışmalara da

değilmiştir. Çalışmaya asidik pomzaların temsili için Nevşehir bölgesinden, bazik pomzanın temsili için ise Toprakkale (Osmaniye) bölgesinden numunelerin alınması ile başlanmıştır. Hafif beton yapımında kullanılması düşünülen pomzaların avantajlarının daha iyi anlaşılabilmesi için, yapı sektöründe pomzaların birbirlerine göre ve beton yapımında en çok kullanılan kireçtaşı agregalarından elde edilen beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve pomzadan üretilmiş beton numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Pomza ocaklarından alınan numuneler TS 1114 “Hafif Agregalar – Beton için” standartlarına uygun olacak şekilde kırılıp elendikten sonra sınıflandırılması yapılmıştır. Daha sonra asidik, bazik ve normal agrega türleri depreme dayanıklı ve hafif olma özelliği göz önünde bulundurularak agrega tane boyutları ile su/çimento oranları ayarlanmış ve optimum agrega tane boyut ve su/çimento oranları belirlenerek en uygun işlenebilirlik şartlarında küp ve silindirik numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş ve agregaların Türk Standartlarına uygun bir şekilde hafif beton üretiminde kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Hammadde olarak Nevşehir Bölgesi asidik pomzaları ile Osmaniye, Toprakkale Bölgesi bazik pomzaları seçilmiştir.

Bu pomzaların genel jeolojik özellikleri belirlenerek rezerv analizleri yapılmıştır. Daha sonra ince kesitleri alınarak petrografik ve mineralojik özellikleri incelenmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Asidik ve bazik pomza agregaları hammadde olarak hazır beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmış ve TS’ye uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

Agregaların, elek analizleri, birim hacim ağırlık değerleri, su emme ve doluluk oranı tayini, poroziteleri, ince madde oranı tayini, kızdırma kaybı, organik madde içeriği ve ince madde oranı analizi gibi betona uygunluk deneyleri yapılmıştır.

Hammadde olarak beton üretiminde uygunluğu belirlenen bu pomzaların beton üretimi için en uygun karışım miktarları belirlenmeye çalışılmış ve NK-1, NK-2 ve NK-3 adı altında Nevşehir asidik pomzası için TK-1, TK-2 ve TK-3 adı altında Toprakkale bazaltik pomzası için ayrı ayrı değerler içeren su, çimento ve agrega karışım miktarları belirlenmiştir.

Belirlenen optimum karışım oranlarında hazırlanan beton örnekler 7, 14, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu deneylerin sonucunda en uygun karışım oranı belirlenmiştir. Ayrıca bu karışım oranlarında oluşturulan beton örneklerinde en yüksek dayanım süresi belirlenmiştir.

Beton numunelerin laboratuvar ortamında oluşturulan ses ve ısı izolasyonu laboratuvarında denemeleri yapılarak ısı iletim katsayıları ile 11 farklı frekansta ölçümü yapılan ortalama ses geçiş kaybı değerleri bulunmuş elde edilen verilerden grafikler oluşturulmuştur.

Hazır beton uygunluk deneylerinden sonra bimsblok üretiminde birim hacim ağırlık değerinin düşük olmasından ötürü Nevşehir asidik pomzasının uygun olduğu belirlenerek deneme yanılma yöntemiyle en uygun bimsblok karışım oranı belirlenmiştir.

Daha sonra bimsblok üretimi için 4 farklı tip, boyut, şekil ve ağırlıkta bimsblok tasarımı yapılmış ve bunların seri üretimine geçilmiştir. Belirlenen tasarımda hazırlanan bimsblok örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ısı ve ses yalıtım değerleri belirlenmiştir. Son olarak bimsblokların dayanım ve birim hacim ağırlığına bağlı olarak kalite faktörü analizleri yapılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan yapı malzemesine ait literatür bilgileri, Önceki Çalışmalar ile Beton ve Bimsblok adlı bölümde verilmiştir. Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yapılan deneysel analizler için kullanılan yöntem ve geliştirilen deney düzeneği ile ilgili bilgiler ise Materyal ve Metot bölümünde verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen bilgilerde tezin Araştırma ve Bulgular bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucunda elde edilen veriler ise Sonuçlar kısmında sunulurken tezin tamamlanması sağlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Pomzanın Tanımı ve Genel Yapısı

Pomza, dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisi son yıllarda girmeye başlamış ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir malzemedir.

Pomza terimi İtalyanca bir sözcük olup, değişik dillerde farklı sözcüklerle adlandırılmaktadır. Fransızca'da Ponce, İngilizce'de (İri taneli olanına) Pumice, (ince tanelisine) Pumicite, Almanca'da (iri tanelisine) Bims, (ince tanelisine) Bimstein adı verilmektedir. Türkçe'de ise sünger taşı, köpüktaşı, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek, kısır gibi adlarla anılmaktadır. Diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Türkçe'ye Pomza, Ponza, Bims, Pumis ve Pumisit terimleri yerleşmiştir.

Pomza boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle, pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır da denilmektedir. Oluşumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza kendine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidyen, peks-tayn) ayrılır. Bunlardan rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılmaktadır. En çok renk benzerliği ve kimyasal bileşimi bakımında perlit ile karıştırılmakta olup bazı durumlarda perlitten ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Pomzalı perlit veya perlitik pomza olarak adlandırılan geçişli kayalarda gözenek yapısı ve petrografik analizler neticesinde ayrılabilir. Pomzada gözenekler genelde birbirleriyle bağlantılı değildir. Pomzanın içerdiği gözenekler camsı bir zarla yalıtılmış olup gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda değişim göstermektedirler. Bu sebepten dolayı, suda bile yüzme özelliği olan, izolasyonu yüksek, hafif bir kayadır. Sertliği Mohs sertlik ölçeğine göre 5-6'dır. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Asidik ve bazik pomzaların genel olarak, kimyasal bileşiminde;

- % 40-75 SiO₂
- % 5-17 Al₂O₃
- % 1-15 Fe₂O₃
- % 1-10 CaO,
- % 7-8 Na₂O-K₂O, ve
- Az miktarda TiO₂ ve SO₃ bulunmaktadır.

Kayacın içerdği SiO₂ oranı, kayaca aşındırıcılık özelliği kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na₂O ve K₂O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedirler.

TS 3234 standartlarına göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genelde 1gr/cm³'den küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır. Ayrıca Pomzanın kırma ve eleme suretiyle beton yapında elverişli hale getirilmiş şekline de pomza agregası veya bims agregası adı verilmektedir.

2.1.1. Pomzanın Oluşumu

Volkanik oluşumlarda asidik magma bazik magmaya nazaran daha viskoz olup yüksek miktarda silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Bu nedenle volkanik aktivitelerin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayaç ve kütleler oluşur. Bu olay, bir volkanın genel aktivite karakteristiğini sergiler (Gündüz vd, 1998a).

Basıncın artmasıyla asidik malzeme ile birlikte magmadaki erimiş gazlar patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç serbestleşmesi ve ani genleşmeleri oluşturur. Bu esnada bünyede uçucu bileşenlerin ani olarak kaçmasına neden olur. Uçucuları takiben, arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşur ve volkan aktivitesi sonrasında genellikle volkan krateri zamanla bir krater gölü şekline dönüşebilmektedir. Burada pomza oluşumunu kontrol eden faktörler,

- Püskürme süresi,
- Ara süreler,
- Magma ısısı,
- Magmadaki erimiş gaz miktarı,
- Püsküren malzemenin soğuma zamanıdır.

Bu oluşan pomza parçaları, volkan bacaların yakınından itibaren uzaklara doğru hava akımının etkisiyle, eski yüzey şekline uygun olarak depolanır. Bu durumdaki pomza yatakları oluşmuş olup, bu yataklar zamanla akarsular tarafından taşınarak uygun havzalarda depolanabilir. Bu şekilde oluşan yataklar içinde % 1-3 oranında andezit, traki-andezit, bazalt, obsidyen gibi volkanik kayaç parçaları bulunur. İkincil durumda oluşan pomza yataklarında ise, yabancı maddeler daha fazla olabilmektedir (Gündüz vd, 1998a).

Pomza taşınma mekaniği, basitleştirilmiş olarak 3 ana grupta ele alınabilmektedir.

1. Düşme (buluttan çökme) ile yığılma,
2. Fırlatma ile yığılma,
3. Akma ile yığılma.

Düşme ile yığılmada sınıflandırma iyi bir değişim sergilemekte, tane büyüklükleri de dar aralıklarda kalmaktadır. Pomza oluşum tabaka kalınlıkları çok ince olup santimetre mertebeleri ile simgelenmektedir. Ayrıca, tabaka kalınlıkları tepelerde ve düzlüklerde aynı kalınlığı göstermektedir.

Fırlatma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza oluşumlarında ise, bazen düzgün ve yer yer birbiri içine itilmiş tabakalar ve arada bazaltik kayaç sokulumları ve patlama-çarpmanın etkisi ile yapıda parçalanma ve sıkışma görülür.

Akma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza yataklarında ise, genel olarak masif strüktür, tabakalarda yoğun kötü bir ayrışma ve boyut sınıflandırması yok denilecek kadar az bir olgu izlenebilmektedir. Bu oluşumun en açık göstergesi ise, gang minerallerinin alt katmanda kaldığı, pomzanın ise serbest halde üst katmanda yer almasıdır.

2.1.2. Pomzanın Mineralojik Yapısı ve Belirlenmesi

Bilindiği gibi pomza oluşumları, volkanik faaliyetler sonucu yeryüzünde oluşan mağma çözeltisi, bünyesinde barındırdığı yüksek miktardaki flor, klor ve su buharı bünyesinden atarak gözenekli yapıdaki pomza şekillenmektedir. Asidik mağma çözeltisinden şekillenen pomzada, silis miktarı %62'nin üzerine çıkabilmektedir. Bazik mağma çözeltisinden oluşan pomzada ise silis oranı %56'nın altına düşebilmektedir.

Kayaçların çeşitli iç yapı ve özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan mineralojik ve petrografik analizler, pomza türlerinin kullanım yerlerinde, pomza karakterizasyonu açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Amacına uygun olarak seçilmiş örnekler üzerinde yapılacak mineralojik ve petrografik incelemeleri, göz ile inceleme, büyüteç ile inceleme, binoküler inceleme ve polarizan mikroskopta inceleme şeklinde dört kategoride sınıflamak mümkündür (Gündüz vd, 1998a).

Göz ile inceleme, taşın cinsi, rengi, boyutu, kırık ve çatlak durumu, damar çeşitleri ve genel görünümü gözle yapılan ilk incelemede belirtilir. Pomzanın üretildiği ocağın litolojisi belirlenmeye çalışılır (Anıl, 1995).

Büyüteç ile inceleme de, laboratuarda analizi yapılacak örneklerin seçimi için büyüteç kullanılarak yapılır. Kayaçta var olan mineral bileşimi, çatlak durumu, genel karakterisitik yapısı ve özellikleri büyüteç ile belirlenmeye çalışılır.

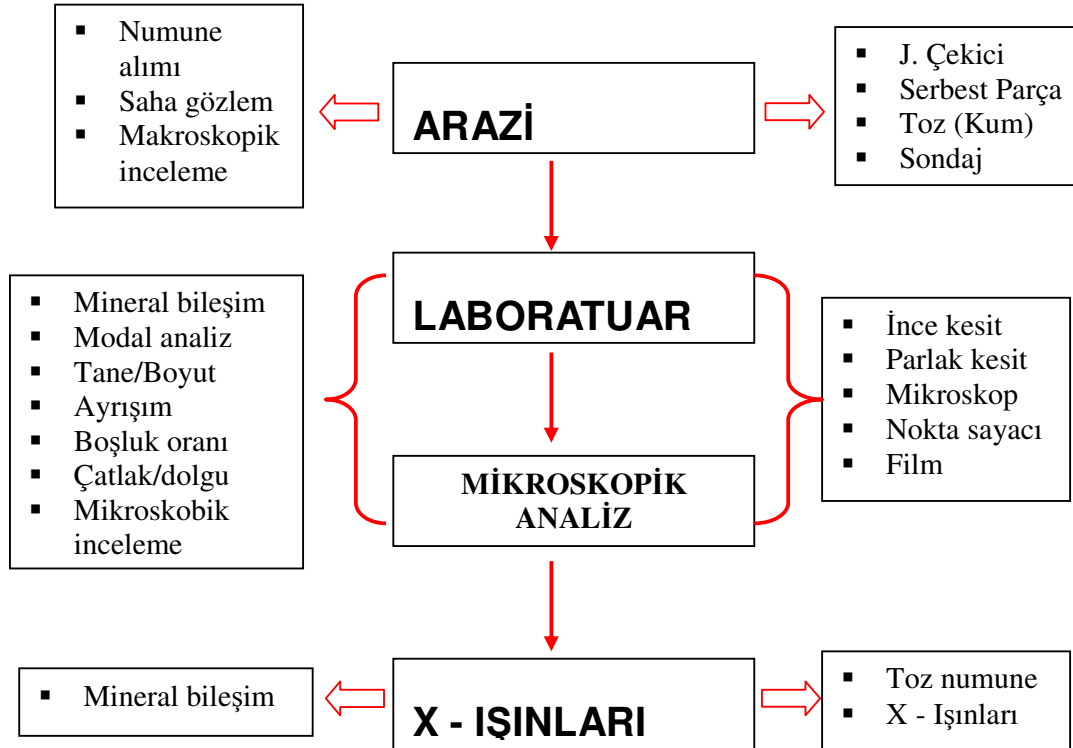
Binoküler ile inceleme, kayacın parlatılmış yüzeyinde yapılan binoküler inceleme olarak adlandırılır. Araziden alınan kayacın litolojik ve anisotropik yapısına göre iki yönlü olarak kesilip parlatılır. Binoküler altında büyük büyütmelemlerde incelenerek mineral yapıları, cinsleri ve boyutları detaylı olarak belirlenmektedir.

Polarizan mikroskop ile inceleme ise kayacın yapısında bulunan mevcut şeffaf minerallerin incelenmesi için petrografi mikroskobu kullanılır. Kayaçtan alınan örnekten kesilen ince levhanın bir yüzü sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grid zımpara tozu ile aşındırılarak düzeltilir. Daha sonra 1000 ve 1200 grid zımpara tozu ile lamelin üzerindeki cam pürüzleri de giderilir ve yüzeyi parlatılmış yüzey cama yükse dayanım özelliği gösteren yapıştırıcılarla yapıştırılır. Yapışmayan,

camın diğer tarafında kalan kısım ise 0,03 mm kalınlık seviyesine ininceye kadar aşındırılır ve cam lamelle örtülür (Gündüz vd., 1998a).

Kayaçların petrografik inceleme için hazırlanmış ince kesit, polarisan mikroskobunda, içinden geçen ışının kazandığı özelliklerin belirlenmesi ile tanımlanır. Burada oluşan minerallerin cinsleri, kristal boyutları, mineraller arasındaki dokusal ilişkiler, gözeneklilik, kılcal çatlakların varlığı, çatlak ve damar dolgu tip ve karakterleri ile mineral yönelimleri rahatlıkla belirlenebilmektedir. Belirtilen pomza örneklerinin mineralojik ve petrografik analizleri yönteminin metodolojisi Şekil 2.1’de verilmiştir. Jeologlar tarafından kullanılan sistem, silikatları yapısal karakteristiklerine göre gruplandırmaktadır.

Temel silikat yapısı, 4 oksijen atomunun 1 merkezi silikat atomuna bağlanmasıyla oluşan SiO_4 (tetrahedron)’dur. Her tetrahedron, bu oksijen atomlarını komşu atomlarla paylaşmakta veya tamamen bağımsız olabilmektedir. Bu tetrahedronlar arasındaki ilişki, silikat sınıflandırmasının temelini oluşturmaktadır.



Şekil 2.1. Pomzanın iç yapı analizi akım şeması (Gündüz vd., 1998a)

Volkanik kayalarda bulunan en önemli silikatlar, alkali feldispatlar ve plajiyoklaz feldispatlardır. Alkali feldispatlar, ya saf potasyum feldispat (KAlSi_3O_8), veya potas ve soda feldispatın ($\text{NaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$) bir karışımı şeklinde bulunmaktadır. Diğer yandan, plajiyoklaz feldispatlar ise, ya saf soda feldispat veya kalsiyum feldispat ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), ya da bunların karışımı şeklindedir (Anıl, 1995).

Potas feldispat, yüksek sıcaklıklarda oluşan sanidin, orta sıcaklıklarda oluşan ortoklaz ve düşük sıcaklıklarda oluşan mikroklin olmak üzere üç farklı şekilde bulunabilmektedir. Mikroklin, triklinik olarak bilinen kristal simetri grubuna dahildir ve volkanik kayalarda bulunmaz. Sanidin ve ortoklaz ise monoklinik yapıya dahildir.

Albit olarak bilinen saf soda feldispat, triklinik yapıdadır ve düşük sıcaklıklarda sabittir. Fakat potas ve soda feldispatın yapısal benzerliklerinden dolayı, potasyum ve sodyum atomlarının boyutları neredeyse aynıdır. Bundan dolayı bu atomlar, yüksek sıcaklıklarda homojen karışım kristallerini oluşturmak üzere yer değiştirirler. Daha düşük sıcaklıklarda, potas ve soda feldispat, biraz daha zor bir şekilde bir araya gelebilmektedir. Bunlar, homojen karışım kristallerini oluşturmaksızın ayrı şekilde bulunurlar. Soda feldispatın, potas feldispat kristallerinin içerisindeki bulunuş şekli, şerit ve mercekler halindedir.

Soda ve kalsiyumlu feldispat (anortit), geniş bir şekilde yer değiştirebilme özelliğine sahiptir ve plajiyoklazlı feldispatlar gibi, süreklilik gösteren mineral serilerine yükseltgenirler. Orta bileşenler (ikincil derece), artan anortit içeriğine göre sırasıyla, oligoklaz, andezin, labradorit ve bitownit'tir.

Bununla birlikte, volkan kenarındaki lav akıntılarının kayalar içerisinde sızmasıyla, dayk ve damar şekilli farklı oluşumlar ortaya çıkabilmektedir. Sıcaklıktaki hızlı düşüş, erimiş kütle kalınlığı ve hareketiyle birlikte, homojen karışım kristallerinin yerine, kristalleşmiş kristal zonlarını oluştururlar. Zonlaşmış kristallerin, yüksek sıcaklıklarda kristalleşen anortit çekirdeği, daha düşük sıcaklıklarda kristalleşen albitin artan içeriğiyle ardışık tabakalar şeklinde çevrelenmiştir (Cook, 1966).

Feldispatitler, alkali feldispatlara oranla, alüminyumca daha zengin, silis bakımından daha fakirdirler. Bunlar, silika ile birlikte çökelen magmadan oluşan

volkanik kayalarda bulunurlar. Lössit (KAlSi_2O_6) olarak bilinen feldispatoit, kimyasal olarak, bir silis molekülündeki potas feldspat eksikliğine karşılık gelmektedir. Benzer olarak, nefelin ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), iki silikon molekülündeki albit eksikliğine tekabül etmektedir.

Pomza oluşumları içerisinde, demir ve magnezyum İçeren minerallerin en önemlisi piroksenlerdir. Rombik piroksenler olarak bilinen bir grup enstatit (MgSiO_3)’den, ferrosilit (FeSiO_3)’e kadar sıralanan bileşim serilerini ve bundan başka bronzit (çok az demir içeriğine sahip) ve hipersiten ($< \%30 \text{ Fe}$) gibi ara elemanları kapsamaktadır.

Daha yaygın olarak bilinen monoklinik piroksenlerin bir serisi, diyopsit ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) ve hedenberjit ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) arasında sıralanır. Diğer seriler, bileşimi Al, Ti ve Na içeren auitlerdir. Hedenberjite benzeyen ve volkanik kayalar arasında bulunan diğer bir monoklinik piroksen de, aegirin ($\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$)'dır. Düşük silika içerikli magma orijinli kayalar, olivin olarak bilinen bileşikler içerebilirler. Bu bileşikler, forsterit (MgSiO_4)'den fayalit (Fe_2SiO_4)'e kadar sıralanırlar ve ara elemanları kapsarlar. Diğer yandan, asidik magmadan (yüksek silika içerikli) türeyen kayalar, içerisinde kristal formda kuvars bulunan silikayı içermektedirler.

Volkanik kayaçların ikinci derecedeki bileşenleri, manyetit (Fe_3O_4), ilmenit (FeTiO_3) ve apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$)'tir. Daha çok demir-magnezyum silikat minerallerini içeren ve soğuk magmadan daha derinlerde kristalleşen bu volkanik kayaç bileşenleri amfibol olarak bilinmektedir (Gündüz vd, 1998a).

2.1.2.1. Kristallerin Oluşum Sıralaması

Daha öncede açıklandığı üzere, minerallerin hepsi aynı sıcaklıkta kristalleşmemekte, fakat belirli bir katılaşma sırası izlemektedir. Bu minerallerden, demir ve magnezyum içeren olivin minerali, en yüksek sıcaklıkta kristalleşirken, bunu magnezyum piroksenler ve kalsiyumca zengin piroksenler takip etmektedir.

Feldispatların içerisinde ise, saf kalsiyum plajiyoklaz en yüksek sıcaklıkta kristalleşirken, bunu plajiyoklaz feldispatların karışımı ve potas feldispatlar

izlemektedir. Kuvars ve feldispatoit mineralleri (nefelin gibi), magmadaki kristalize olacak son minerallerdir.

Yüksek kristalleşme sıcaklığına sahip olan ve ilk sırada oluşan mineraller, biraz daha iri boyuta yükseltgenebilirken, daha sonra kristalleşen mineraller geri kalan boşlukta yer almak zorundadırlar. Bundan dolayı, kayaçtaki minerallerin kristal boyutları, büyük oranda magmanın soğuma hızına bağlı olarak değişmekte ve bu minerallerin mikroskop altında incelenmeleri sonucu, kayacın oluşum tarihçesi anlaşılmaktadır.

Fenokristaller gibi, daha küçük kristaller veya camsı bir yapıyla çevrelenen kristallerden oluşan kayaçların, porfirik bir yapıya sahip olduğunu söylemek mümkündür. Fenokristaller üzerinde yapılan mikroskobik gözlemler sonucunda, magmanın soğuma hızı ve püskürmeden önce magmanın içerisinde oluşan konvektif hareketlerle, gaz içeriğindeki değişimler hakkında bilgi edinilebilmektedir. Öğütülmüş kütle üzerinde yapılan çalışmalarda, erimiş magmanın yeryüzüne ulaştığındaki soğuma sürecini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Küçük kristaller, soğumanın biraz daha yavaş bir şekilde gerçekleştiğini ve tane boyutunun büyümesi için yeterli zamanın sağlanabileceğini göstermektedir. Şayet, camsı bir yapı mevcutsa, bu volkanik materyalin hızlı bir şekilde soğuduğunu ve tanelerin boyutunun artması için yeterli zamanın sağlanamadığını ortaya koymaktadır. Pomza oluşumlarında, bu tarzdaki oluşum kayaçları grubuna girmektedir (Cook, 1966).

2.1.2.2. Sınıflandırma Sistemleri

Bundan 100 yıl önce volkanik kayaçlar, renklerine, dokularına ve fenokristal tiplerine göre çıplak gözle sınıflandırılmakta iken, bugün mikroskopların kullanımıyla minerallerin sınıflandırılması, yapısal ve dokusal özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi ile mümkün olmaktadır.

Magma kökenli (volkanik) kayaçlar günümüzde temel olarak önemli mineral içerikleri ve bunların bulunuş oranlarına göre sınıflandırılmaktadır. Daha kesin sonuçlar almak için, optik ve kimyasal açıdan analiz edilir. Püskürük kayaçların sınıflandırılması için kullanılan ana ölçüt, bu kayaçlardaki silis, magnezyum ve

alüminyum minerallerinin oranıdır. Bilinen yaygın magnezyum mineralleride, piroksen, olivin ve amfibollerdir. Volkanik kayalar, 3 ana grup altında toplanabilmektedir.

- Önemli miktarda serbest kuvars içeren silikalı üst çökelim kayaları,
- Bir miktar feldispat içeren alt çökelim kayaları,
- Hiç serbest kuvars içermeyen veya çok az içeren feldispat esaslı çökelim kayaları.

Bu grupların her biri, alkali feldispatların plajiyoklazlara oranına göre alt kısımlara ayrılmaktadır. Volkanik kayalar, ayrıca, gözlenen veya hesaplanan demir ve magnezyum gibi koyu renkli minerallerin renk indeksine göre de sınıflandırılabilir. Sınıflandırma gibi bir sistem, sadece mikroskop yardımıyla belirlenen ve içerisinde 2 ana mineral bulunan ayrı durumdaki kristalleri içeren kayalar için direk olarak kullanılabilir. Tamamıyla bir kristalleşme söz konusuysa, camsı yapıdaki öğütülmüş kütleye ait kayalar kimyasal analize tabi tutularak, potansiyel mineral kompozisyonunun belirlenmesi mümkün kılınmaktadır.

Renk indeksi kullanılarak yapılan sınıflandırma sistemi normalde, riolit, trakit ve fenolitler gibi açık renkli kayalarla, bazalt ve tefritler gibi koyu renkli kayaları tanımlamaktadır.

Günümüzde bu sınıflandırma sistemlerinin her ikisi de kullanılmaktadır ve bu sistemler, ya kimyasal analiz veya mikroskopik gözlemler esasına, ya da bunların her ikisinin birleşimine dayanmaktadır (Gündüz vd, 1998a).

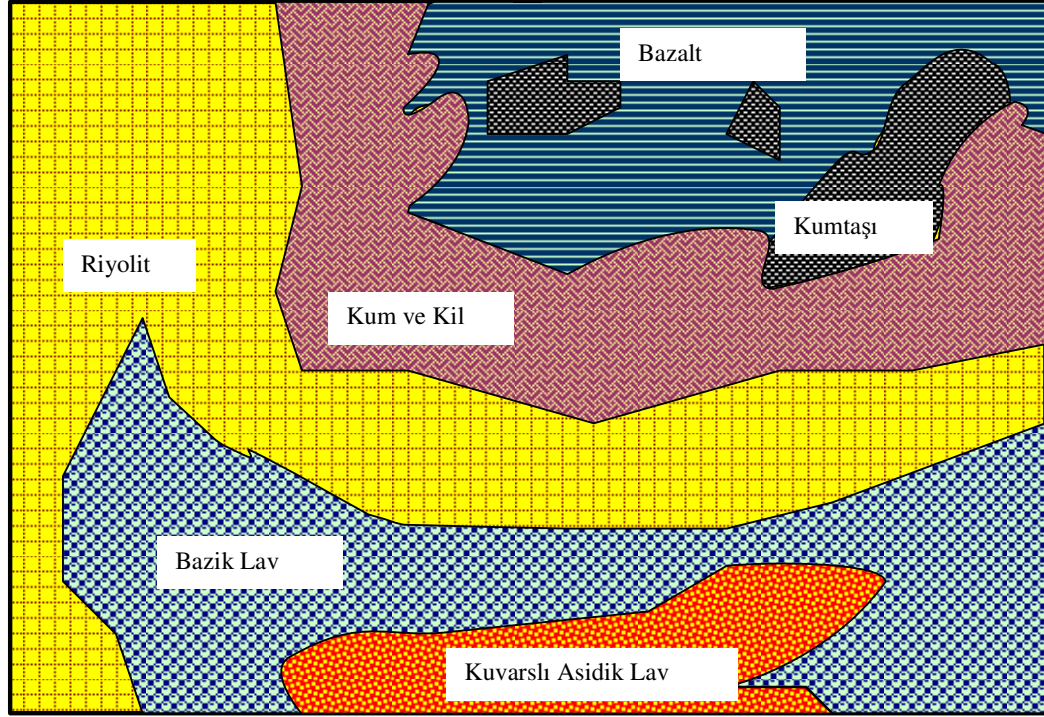
2.1.2.3. Magmanın Kristalleşme Olgusu

Volkanik kayaların kimyasal kompozisyon açısından bu kadar geniş bir çeşitliğe sahip olmasının nedenlerini açıklayan bazı hipotezler vardır. 100 yıl önce ortaya atılan bir hipotez, kimyasal açıdan birbirinden farklı eş zamanlı magmaların, çözelti şeklinde bir arada bulunduğunu iddia etmektedir. Daha sonra ortaya atılan diğer bir hipotez ise, magmaları 2 farklı türde sınırlayarak, bütün volkanik kayaların, bunlardan birinin veya her ikisinin karışımından meydana geldiğini savunmaktadır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar, magmanın katılaşmasını, bütün

minerallerin aynı anda değil soğuma süreci boyunca farklı zamanlarda kristallendiğini açıklayarak ortaya koymaktadır.

ABCD bileşimi şeklinde bir arada bulunan bir eriyikte, A minerali en yüksek kristalleşme özelliğine sahipse, bu mineral ayrılarak, geride BCD şeklinde bulunan, fakat orijinal bileşimle aynı olmayan bir eriyik kalacaktır. Benzer olarak, B mineralinde kristalleşerek ortamdan ayrılmasıyla, kalan CD mineralleri bakımından zengin bir eriyik oluşmaktadır. Magmanın katılaşması üzerinde yapılan çalışmalar, bilinen kompozisyona ait doğal olmayan eriyiğin katılaşması veya silikat kristalleşmesini gösteren diyagramlarla desteklenmektedir. Bu eriyik yavaş bir şekilde soğutulurken, numuneler belirli sıcaklıklarda çıkarılarak ani soğumaya tabi tutulur. Dolayısıyla, hangi minerallerin hangi sıcaklıklarda oluştuğu bu şekilde anlaşılmış olur. Örneğin, olivin-bazalt eriyiğinde, öncelikle olivinin, ardından magnezyumca zengin piroksenler ve son olarak da kalsiyumca zengin piroksenlerin kristalleştiği görülmektedir. Daha sonra soğuma süreci devam ettiğinde, piroksen ve plajiyoklaz minerallerinin aynı zamanda kristalleştiği ötektik noktaya ulaşılır. Bu seride oluşan ilk plajiyoklaz kristallerinin, yüksek bir anortit (kalsiyum) içeriği vardır. Plajiyoklaz minerallerini takiben son olarak da potas feldispatlar kristalleşmektedir.

İkinci derecedeki minerallerden, ilmenit gibi bazı mineraller, olivinden önce kristalleşirken, apatit ve manyetit gibi diğer mineraller daha sonra kristalleşmektedir. Magmanın katılaşma sürecine bağımlı olarak gelişen kristalleşme olgusu, sembolik olarak Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Magmanın kristalleşme olgusunun sembolik gösterimi (Gündüz vd, 1998a)

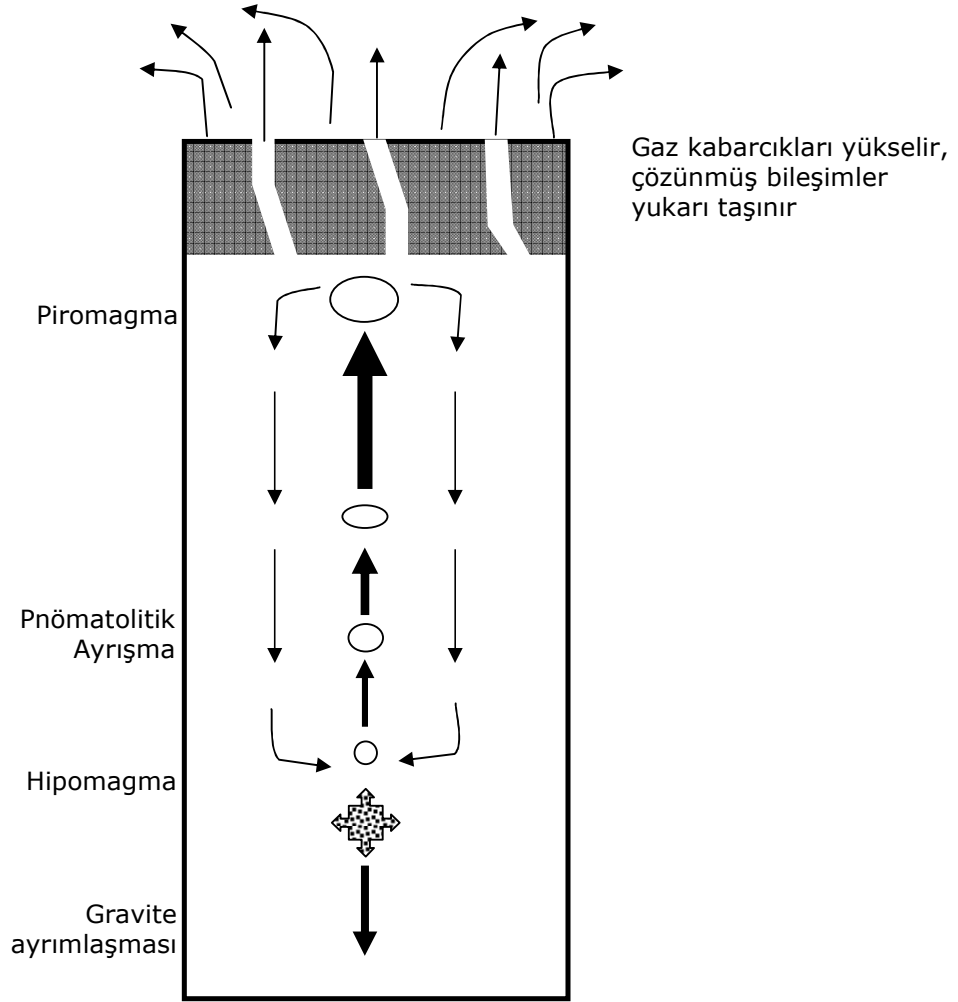
Oluşan kristallerin, arta kalan eriyikten daha ağır olduğu ve bu yüzden tabana çöktüğü unutulmamalıdır. Bu kristallerin, eriyik içerisindeki çökeltme hızları, eriyiğin viskozitesine, kristallerin boyutuna ve kristallerle eriyik arasındaki özgül ağırlık farkına dayanmaktadır. Kristaller bu şekilde tabana çöktüğünde, kristallerin bir araya gelmesiyle oluşan katı kütlelerin, kimyasal açıdan içerisinde çökeldikleri eriyikten daha farklı bir kimyasal bileşime sahip olmalarına neden olmaktadır. Sonuç olarak, olivin, piroksen ve amfibol gibi daha önce oluşumlu kristaller, demir ve magnezyum bakımından zenginleşmekte ve dolayısıyla bu elementler, silis ve alüminyum bakımından zenginleşen geriye kalan eriyikte daha az yer almaktadır. Bu proses, magmanın gravite farklılaşması veya kristal bölümlenmesi olarak bilinir. Bu sürekli proses, ancak kimyasal açıdan farklılaşmış magmanın, püskürmelerle yüzeye taşınmasıyla son bulur.

Potansiyel olarak, olivin, aujit, plajiyoklaz ve ikinci derece mineralleri içeren olivin-bazalt eriyiğinin farklılaşma süreciyle, değişik aşamalar tanımlanabilmektedir. Görüldüğü gibi, olivinin ilk sırada kristalleşmesiyle, geri kalan magma, bazalt olarak bakiye kalmaktadır. Aujit ve plajiyoklazların ileri kristalleşme aşamasından sonra, latit magma oluşur. Gravite farklılaşması sürdüğünde, magmanın kimyasal kompozisyonu, ilk önce trakitik ve daha sonra alkali-trakitik şekline dönüşür.

Bütün magma türleri, gravite farklılaşması süresince mineral üretmezler. Bazı durumlarda magmanın başlangıç soğuması, bünyedeki gaz kabarcıklarını yukarıya doğru çıkmaya zorlar. Bu gaz kabarcıkları, sodyum, demir, titanyum ve fosfor gibi, gazlara büyük eğilimi olan ve çözünmeyen maddeleri taşırlar. Basıncın azalmasıyla birlikte, bu maddelerin gaz içerisindeki çözünabilirliğide azalmakta ve dolayısıyla bu kabarcıklar magmatik oluşumda, basıncın en az olduğu en üst noktaya ulaştığında, bu bileşenler çevre magmanın içerisine doğru serbest bırakılarak kimyasal bileşim değiştirmektedir. Gaz kabarcıkları yükselmeye devam ettiğinde, magmanın en üst seviyesi bu bileşenlerce zenginleşirken, daha alt kısımlar fakirleşmektedir. Bu işlem, pnömatolitik farklılaşma olarak bilinmektedir (Gündüz vd, 1998a).

Magmanın içerisindeki erimiş kütlenin hareketinden dolayı, gravite farklılaşmasından ziyade, pnömatolitik farklılaşma söz konusu olmaktadır. Çünkü gravite farklılaşması için, erimiş kütlenin neredeyse hareketsiz veya çok az hareketli olması gerekmektedir. Bu iki farklılaşma prosesi, özellikle magmanın ilk soğuma aşamalarında, yapıda karmaşık bir farklılaşma yaratmak için bir arada bulunmaktadır. Gravite farklılaşması, magmanın kompozisyonunu, olivin-bazalt'tan alkali-trakit'e değiştirmektedir.

Pnömatolitik farklılaşmanın eklenen kompleksliğiyle, gazlarla yukarı doğru taşınan sodyum gibi bileşenler, daha fazla miktarda nefelinin oluşacağını ve alkali-trakitik magmanın fenolitik tip magmaya altere olacağını ifade etmektedir. Yukarıda özetle bahsedilen gravite farklılaşması ve pnömatolitik farklılaşma süreçlerine ait magmanın değişim karakteristiği Şekil 2.3'de sembolize edilmiştir.



Şekil 2.3. Magmanın farklılaşma süreçleri (Gündüz vd, 1998a)

2.1.3. Pomza Türleri

Pomza volkanik bir kayaç türü olup volkanik faaliyetler neticesinde asidik ve bazik karakterli iki tür pomza oluşmaktadır, volkanik bir cam yapısındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza beyaz, kirli renkte olanıdır. Bazik pomza ise yabancıların Scoria dedikleri Türkçe'deki bazaltik pomza olarak bilinen siyahımsı renkteki pomza türüdür.

Asidik pomzanın yoğunluğu bazik olanlara göre daha az olup $0,5-1 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olup yoğunluğu ise daha fazla ve $1-2 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Her iki türde oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Gözenekler birbirleri ile bağlantılı olmaması pomzaların en önemli karakteristik özelliklerinden biridir. Asidik ve bazik pomzaların genel görünüşleri Şekil 2.4’de verilmiştir.

Pomzanın fazla gözenekli ve gözeneklerin birbirleriyle bağlantısız boşluklar oluşundan dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayadır. Bünyesinde kristal suyu yoktur.



(a)



(b)

Şekil 2.4. Asidik (a) ve bazik (b) pomzanın genel görünüşü

Asidik ve bazik pomzaların yapısal özelliklerindeki farklılığın haricinde kimyasal özellikleride oldukça büyük bir oranda değişim göstermektedir. Pomzalar bünyelerinde silisyum, alüminyum, potasyum, sodyum, demir ve magnezyum gibi kimyasal bileşimler ihtiva ederler. Genel olarak asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Asidik ve bazik pomzaların genel kimyasal özellikleri (Gündüz vd, 1998a)

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2,5	7
CaO	0,9	11
MgO	0,6	7
Na ₂ O+K ₂ O	9	8
Diğer Min.	3	1

Çizelge 2.1’den de görüldüğü üzere asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olması asidik pomzaya aşındırıcılık özelliği katıp beyazımsı bir renk almasını sağlamaktadır. Düşük yoğunluklu asidik pomza bu özelliklerden dolayı, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan, bazik karakterli pomzalarda da alüminyum, demir kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranlarda bulunması nedeniyle yoğunluğu daha ağır rengi ise daha koyu bir yapı göstermektedir. Bu pomza türünde daha yüksek mukavemet isteyen inşaat sahalarında yer döşemelerinde yapısal özelliklerinden dolayı oldukça kullanılabilir bir özellik göstermektedir (Gündüz vd, 1998a).

2.1.4. Pomzaların Kimyasal Özellikleri ve Türkiye’deki Pomza Bileşenleri

Doğal taşların yapılarda kullanım yerlerinde doğal etkenlerin etkisi ile oluşabilecek değişimlerde, malzemenin kimyasal bileşiminin önemli bir rolü bulunmaktadır. Bu nedenle, malzemenin kimyasal bileşimleri, laboratuvar imkanlarına göre konvansiyonel veya aletsel analiz yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Doğal taşlar için kimyasal bileşiklerden CaO, MgO, SiO₂, CO₂, rutubet ve SO₂ yüzdeleri belirlenir. Bununla beraber, boyar oksitlerden Fe₂O₂, TiO₂, Cr₂O₃ ve Al₂O₃ analizleride yapılmaktadır. Bu analizlerin yapılmasındaki temel sebep, doğal taşın oluşumunda büyük yeri olan elementlerden Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe₃⁺, Al₃⁺, Ti₄⁺, Cr₃⁺ gibi

elementlerin varlığı oluşum ve bulunuş şekline göre değişmektedir. Bu değerlerin belirlenmesinde, analiz irdelemelerinin kullanımı tercih edilmektedir. Türkiye’de farklı yörelerde bulunan pomza oluşumlarına ait kimyasal analiz değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Gündüz vd, 1998a, MTA).

Çizelge 2.2. Farklı illerde pomza oluşumlarının kimyasal analiz değerleri (%)
(www.mta.gov.tr)

Bileşim	Nevşehir	Van	Hatay	Kayseri	Adana	İstanbul	İzmir
SiO ₂	71	58,5	61,5	68	59,9	55	71
Al ₂ O ₃	13,2	14,3	11,2	15,1	12,1	3,6	1,3
Fe ₂ O ₃	1,1	4	2,3	3	2,5	0,9	0,5
CaO	1,2	1,5	8,5	3	8,9	29	8
MgO	0,6	0,3	1,2	1	1,5	0,5	3
Na ₂ O	2	4,7	4,6	4	4,7	0,7	12
K ₂ O	4,3	5,3	3,1	2,6	3,3	0,9	0,2
Diğer Min	6,6	11,4	7,6	3,3	7,1	9,4	4
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100

Çizelge 2.2’den görüldüğü üzere Türkiye’deki pomzaların genel kimyasal karakteristikleri birbirlerine oldukça benzemektedir. Pomzalar arasındaki en büyük fark SiO₂ ve CaO bileşenlerinde olduğu görülmektedir.

2.2. Pomzaların Fiziksel Özellikleri

Pomzanın değişik endüstri alanlarında kullanımında fiziksel özelliklerin belirlenmesi için, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, kompasite, porozite, su emme, sertlik, granülometrik dağılım, ısı iletimi ve ses absorpsiyonu gibi özelliklerin TS standartlarına uygun olarak tanımlamaları yapılmalıdır (Gündüz vd,1998a).

Bu bölümde, pomzanın yalıtım amaçlı bir endüstriyel hammadde olarak kullanımı yaygınlaştığı için, yalıtım özellikleri ve gerekli detay teorik yaklaşımlar ayrıca ele alınmıştır.

2.2.1. Birim Hacim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Komposite ve Su Emme

Pomza tanelerinin bu karakteristikleri, genel olarak tanelerin tamamıyla kurutulmuş halde bulunması durumunda belirlenmektedir. Bu kurutma işlemi, genellikle 105°C' de bir etüvde yapılmaktadır.

Pomzanın birim ağırlığı, belirli bir hacmi dolduran pomza tanelerinin oluşturduğu ağırlık anlamına gelmektedir. Birim hacim ağırlığın tayini için hazırlanan numune miktarı TS 3526 standardında belirtilen numune özelliklerine uygun olarak belirlenir (Çizelge 2. 3).

Çizelge 2.3. Birim hacim ağırlık tayini için deney numunesi miktarları (TS 3526, 1980)

En Büyük Tane (mm)	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	63	90	125
Numune Miktarı (kg)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,5	2	3	5	5	5

TS 3526 Standardında belirlenen miktardaki numune, kondüsyonlama işlemleri sırasıyla takip edilerek, su dolu bir kabın içersinde yıkanarak 105°C sıcaklıkta bir etüvde kurutulur ve ağırlığı 0,1 gr hassasiyetteki terazide tartılır. Tartılan numuneler bir ölçü kabına konularak 20°C'deki su ile yarıya kadar doldurulur. Düz bir yüzey üzerinde hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Bir saat sonrasında, ölçü kabı su ile tamamen doldurulur ve hassas olarak tartılır. Bulunan sonuçlar, şu eşitlikler kullanılarak; Birim hacim ağırlık (dh):

$$dh = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (2.1)$$

Doygun kuru yüzey birim hacim ağırlık (dhd):

$$dhd = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (2.2)$$

Görünür birim hacim ağırlık (dhg):

$$dhg = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \quad (2.3)$$

değerleri hesaplanmaktadır. Burada;

W_1 : Numunenin etüvde kurutulmuş ağırlığı, (gr),

W_2 : Numunenin doymun kuru yüzey ağırlığı, (gr),

W_3 : Ölçü kabı + su + numune ağırlığı, (gr),

W_4 : 500ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı, (gr),

Özgül ağırlık, pomza tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanabilmektedir. Özgül ağırlık tayini için TS 3526'da belirtilen numune miktarı alınarak 0.2 mm açıklığı olan eleklerden geçecek şekilde öğütülür ve sabit ağırlığa gelene kadar 105°C sıcaklıkta etüvde kurutulur ve bir desikatör içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Piknometre ile 0.01 gr hassasiyetle tartılıp ağırlığı kaydedilir. Piknometre, oda sıcaklığında su ile doldurularak kapağı kapatılır ve üzerindeki su zerrecikleri kurutma kağıdı ile kurutularak kaptaki kılcal borudaki su seviyesi tespit edilerek 0,01 gr hassasiyetle tartılır.

Kurutulup soğutulmuş olan, öğütülmüş numuneden 250 gr kadar alınarak piknometreye konur ve 0,01 gr hassasiyetle tartılır. İçinde örnek bulunan piknometre, örnek seviyesini geçene kadar su ile doldurulur ve hassas olarak kabarcıkların yok edilmesi için vakumlanır. Piknometre, 0,01 gr hassasiyetle tartılır. Deney bulgularından, pomza örneğine ait özgül ağırlık değeri (do) şu bağıntı ile belirlenir:

$$do = \frac{a_1 - a_2}{(a_1 - a_2) \cdot (a_3 - a_4)} \quad (2.4)$$

Burada;

a_1 : (Piknometre + deney numunesi) ağırlığı, (gr),

a_2 : Piknometre ağırlığı, (gr),

a_3 : (Piknometre + deney numunesi + su) ağırlığı, (gr),

a_4 : Su ile dolu piknometre ağırlığı, (gr).

Pomza tanelerinin kompasitesi, tanelerin strüktür yapıdaki doluluk oranı olarak da ifade edilmektedir. Pomzanın kompasite değeri, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak şu bağıntı ile değeri belirlenmektedir:

$$k = \frac{dh}{do} \times 100 \quad (2.5)$$

Burada;

k: Pomzanın kompasitesi, (%),

dh: Pomzanın birim hacim ağırlığı, (gr/cm³),

do: Pomzanın özgül ağırlığı, (gr/cm³).

Pomza tanelerinin su emme oranı ise genellikle, ön nemlendirme işlemine tabi tutulmuş agrega ömekleri üzerinden belirlenir. Ağırlığı önceden belirlenen pomza taneleri, bir mezur içerisine konarak, 30 dakika süreyle su altında bekletilir. Su emmeye devam eden pomzanın, 30 dakika süre sonundaki su emmesi, hacimsel olarak mezurdan okunur. Bu iki değerden, 30 dakikalık su emme oranı, ağırlıkça % olarak şu eşitlik yardımıyla belirlenir.

$$m_{30} = \frac{G_f + V_o - G_t - V_{30} - V_s}{G_t} \times 100 \quad (2.6)$$

Burada;

m₃₀: 30 dakika suda bekletilen malzemenin ağırlıkça su emme oranı, (%),

G_f: Ön nemlendirme yapılan numunenin ağırlığı, (gr),

G_t: Deney numunesinin kuru ağırlığı, (gr),

V₀: Mezura su konulduktan sonraki hacim, (cm³),

V₃₀: Mezurda 30 dakika sonraki hacim, (cm³),

V_s: Metal plakanın hacmi, (cm³).

Diğer taraftan, pomza taneleri beton agregası olarak düşünüldüğünde, beton karışım hesaplarında kullanılacak olan pomzanın su emme oranının değeri (m), şu eşitlik yardımıyla tanımlanabilmektedir:

$$m = \frac{b_1 - b_2}{b_1} \times 100 \quad (2.7)$$

Burada;

b_1 : Numunenin etüvde kurutulmuş ağırlığı, (gr),

b_2 : Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı, (gr).

Bims agregaların 24 saatlik su emme yüzdeleri ince agregada %20, iri agregada %30 civarındadır. Bu değerler agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişir. Normal depolama şartlarındaki nem yüzdesi genellikle su emme kapasitesinin 2/3'ünü geçmez. Bims agregalarının su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi karışım hesaplarında, betonun yapımında ve denetiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.2. Porozite Doyma Derecesi

Pomza tanelerinin porozitesi için iki ayrı tanımlama yapılabilmektedir.

Görünür porozite ve Gerçek porozite.

Pomza tanelerinin görünür porozite değeri ya hacimce su emme oranından yada hacim kütle ve kütlece su emme oranından hesaplanabilmektedir. Görünür porozite değeri, su emme oranından şu eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$P_0 = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \quad (2.8)$$

Pomzanın görünür porozite değeri, hacim kütle ve hacimce su emme oranı yardımı ile de hesaplanabilmektedir:

$$P_0 = dh \times m \quad (2.9)$$

Burada,

P_0 : Pomzanın görünür porozitesi, (%),

dh : Pomzanın birim hacim ağırlığı, (gr/cm^3),

m : Pomzanın kütlece su emme oranı, (%).

Gerçek porozite değeri ise, pomzanın ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir:

$$P_1 = \left| 1 - \frac{dh}{do} \right| \times 100 \quad (2.10)$$

veya,

$$P_1 = (1 - k) \times 100 \quad (2.11)$$

Burada;

P_1 : Pomzanın gerçek porozitesi, (%),

d_0 : Pomzanın özgül ağırlığı, (gr/cm³),

k : Pomzanın kompasitesi (doluluk oranı), (%).

Birim ve özgül ağırlık, deneyler yardımıyla kolaylıkla bulunabilmektedir. Ancak, malzemenin porozite ve kompozite değerleri, yukarıdaki bağıntılar ile bulunabilmektedir.

Doğal taş malzemelerinde, birim ağırlık ve kompozite, arttıkça, malzemenin basınç dayanım değerinde de bir iyileşme gözlemlendiği, yapılan literatür incelemelerinden anlaşılmıştır. Bunun tersine, malzemede porozite oranı arttıkça, dayanımının zayıfladığı belirlenmiştir. Burada, malzemenin basınç dayanımına ve birim ağırlığına bağlı bir kalite belirleme sayısı tanımlanabilmektedir. Bu kalite faktörü sayısı (f) ifade olarak (2.12) nolu bağıntıda verilmiştir (Gündüz vd, 1998a).

$$f = \frac{\sigma_{\max}}{dh} \quad (2.12)$$

Burada $\sigma_{\max}$ malzemenin maksimum basınç dayanımını simgelemektedir. Bu katsayı belirleme ile malzemenin dayanımı, hafifliği ve porozitesi gibi faktörler göz önünde bulundurularak malzemeler arasında karşılaştırma kriteri olarakda kullanılabilmektedir.

Şekil 2.5’de taş türü malzemeler için, basınç dayanımı ve birim ağırlık arasındaki ilişki, fonksiyonel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Taş türü malzemeler için $\sigma_{\max}$ -dh arasındaki ilişki (Gündüz vd, 1998a)

Diğer önemli bir fiziksel özellik ise malzemenin doyma derecesidir. Bu değer (2.13) nolu bağıntı ile yüzde değer olarak belirlenebilmektedir.

$$D = \frac{m}{P_0} \quad (2.13)$$

Burada;

D: Pomzanın doygunluk derecesi, (%),

m: Pomzanın kütlece su emme oranı, (%),

Po: Pomzanın görünür porozitesi, (%).

Bu değer, malzemenin toplam boşluklarının ne oranda su ile dolduğunu göstermektedir. Bu da, malzemenin donmaya karşı dayanıklılığının, incelenmesi açısından önem taşımaktadır. Doyma derecesi %80'nin üzerinde bulunan malzemelerde, gözeneklerdeki suyun donması durumunda, suyun hacmini %10 oranında genişlettiği düşünüldüğünde, malzemeyi parçalama etkisi yapabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerde doyma derecesinin %80'nin altında olması durumu arzu edilen bir değerdir (Gündüz vd, 1998a)

2.2.3. Gevşek Birim Ağırlık - Sıkışık Birim Ağırlık

Pomza tanelerinin özgül ve birim ağırlıklarının yanısıra, ayrıca gevşek birim ağırlık ve sıkışık birim ağırlık değerleride önemli fiziksel parametrelerdendir. Tanelerin gevşek birim ağırlık ve sıkışık birim ağırlık değerleri TS 3529 ve DIN 4226 standartlarında belirtilen prensipler dahilinde ölçülebilmektedir. Analiz için kullanılacak ölçü kabı boyutları Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Birim ağırlık tayini için deney ölçü kaplarının boyutları (TS 3529, 1980)

En Büyük Tane (mm)	İç Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)
16	155	155	3,5
32	250	280	3,5
125	350	290	3,5

Pomza tanelerinin birim ağırlık değerleri (2.14) ve (2.15) nolu bağıntılar ile bulunabilmektedir.

$$Bg = \frac{G_2 - G_1}{V} \quad (2.14)$$

Burada:

Bg: Pomza tanelerinin gevşek birim ağırlığı, (gr/cm³),

G₁: Ölçü kabının boş ağırlığı, (gr),

G₂: Ölçü kabı + gevşek tane ağırlığı, (gr),

V: Ölçü kabının iç hacmi, (cm³).

$$Bs = \frac{G_3 - G_1}{V} \quad (2.15)$$

Burada:

Bs: Pomza tanelerinin sıkışık birim ağırlığı, (gr/cm³),

G₃: Ölçü kabı + sıkışık tane ağırlığı, (gr).

Pomza (bims) agregalarının TS 3529'a göre bulunacak gevşek ve sıkışık birim ağırlık limitleri Çizelge 2.5'de verilen değerlere uygun olmalıdır.

Çizelge 2.5. Pomza agregalarının birim hacim ağırlığı (TS 3529, 1980)

Bims Agregası Cinsi	Minimum Kuru Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	Maksimum Kuru Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)
İnce Agregası	700	900
İri Agregası	500	700
Karışık Agregası	600	800

Aynı granülometri ve tane şekli için kuru gevşek bims agregası, birim ağırlığı özgül ağırlıkla orantılı ise de farklı tane şekli ve boşluk oranından dolayı değişik birim ağırlık sonuçları alınabilir. Aynı özgül ağırlıkta yuvarlak ve köşeli bims agregalarının birim hacim ağırlıkları 80-100 kg/cm³'a kadar değişebilmektedir.

2.2.4. Dona Dayanıklılık

Bir tanenin dona dayanıklılığı, öngörülen kullanma amacı ile yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşan kayalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı taneleri içerirler. Kırmataş agregaları, TS 699'a göre belirlenen taşın su emme oranının ağırlıkça %0,5'den büyük olması veya belirlenen taşın 1500 kg/cm² olması durumunda, genellikle yeterli dona dayanıklılığa sahip olma zorunluluğu bulunmaktadır.

Bu konuda kesin sonuç veren genel bir deney metodu tanımlamak mümkün olmamıştır. Ancak, birçok ülkede kullanılan ve aşağıda prensip olarak açıklanan metodun uygulanması sonunda, pozitif sonuç veren tanelerin donmaya karşı dayanıklılığı belirlenebilmektedir. Prensip olarak bu deney, taneleri birkaç defa Na₂SO₄ çözeltisi içinde bırakma esasına dayanmaktadır. Bu uygulamada, tanelerin içine giren Na₂SO₄ çözeltisi, buradan çıkarılan ve havada bir süre tutulan tane içinde sodyum sülfat kristallerinin oluşmasına neden olur. Bunların oluşması suyun

donmasında olduğu gibi, bir hacim artması ile birlikte oluşur. Taneler donmaya karşı dayanıklı değılse, bu hacim artması sonunda parçalanır ve böylelikle daha küçük boyutta taneler meydana gelmektedir.

2.2.5. Sertlik

Pomzanın sertliğı, malzemenin aşınmaya karşı gösterdiği dayanım ile doğrudan ilişkili bir parametredir. Bu parametre, taşı oluşturan bileşenlerin bağ yapılarına, kohezyon kuvveti değerine ve sertliğine bağımlıdır. Burada genelde baz olarak ele alınan sertlik sınıflaması Mohs sertlik skalasıdır. Mohs sertlik sınıflaması standart 10 mineralin sertlikleri baz alınarak düzenlenmiş olup bu mineraller veya bunları özdeşi mineraller ile pomza üzerinde yapılacak çizme işlemine göre tayin yapılmaktadır. Mohs sertlik sınıflamasında yer alan 10 mineralin sertlik dereceleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Mohs sertlik sınıflaması

Mineral	Kimyasal Bileşimi	Sertlik
Talk	$Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}$	1
Jips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2
Kalsit	$CaCO_3$	3
Flüorit	CaF_2	4
Apatit	$Ca_5F(PO_4)_3$	5
Feldspat	$KAlSi_3O_8$	6
Kuvars	SiO_2	7
Topaz	$Al_2(F,OH)_2SiO_4$	8
Korendon	Al_2O_3	9
Elmas	C	10

Pomza türleri üzerine yapılan literatür incelemelerinden, pomzanın sertliğini 5-6,5 arasında değışim gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerlere göre pomzanın iyi bir aşındırıcı malzeme yapısı sergilediğı şeklinde değılendirilebilmektedir

2.2.6. Granülometrik Bileşim - Tane Dağılımı

Agregaların tane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirlenir (TS 706 EN 12620, 2003).

Karışık agregada dışındaki tane sınıflarının granülometrik bileşimi ile karışık agregada dahil olmak üzere bütün tane sınıflarının üst ve alt taneler miktarları hacim yüzdesi olarak Şekil 2.6 - Şekil 2.9'da verilen değerlere uygun olmalıdır. Burada granülometri eğrileri biri sürekli ve diğeri kesikli olmak üzere iki gruba ayrılır.

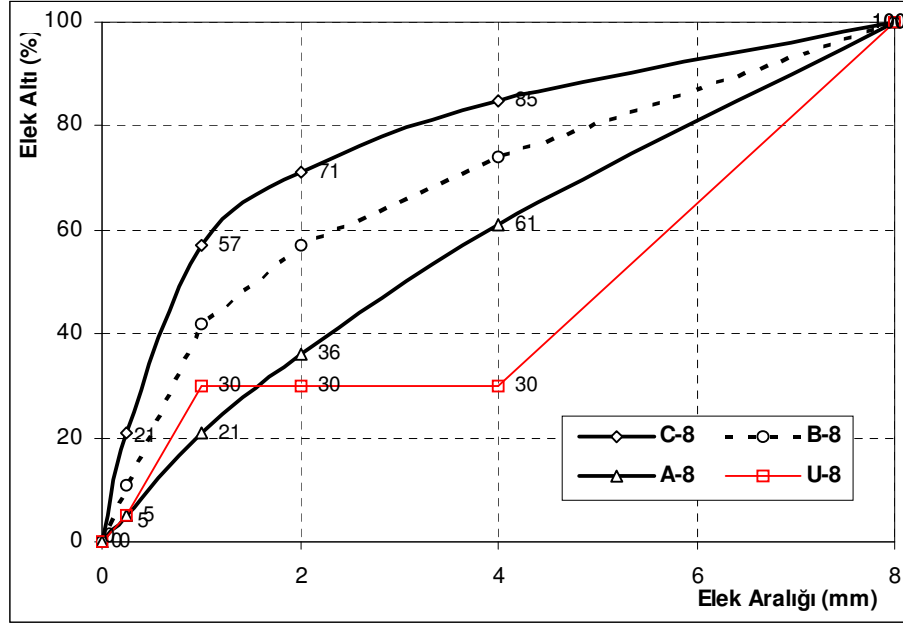
Doğal karışık agregaların dışındaki agregaların granülometrik bileşimi için Şekil 2.6 - Şekil 2.9'da verilen granülometri bölgeleri içinde kalmak şartı ile amaca uygun olan belirli granülometri eğrisi kararlaştırılabilir. Bu durumda TS 3530'a göre açıklıklı elekten geçen kısım en çok %3 ve daha büyük açıklıklı eleklerden geçen kısımlar en çok %5 kadar kararlaştırılan granülometri eğrisinden farklı olabilir.

Sürekli granülometri eğrileri, sıfırdan belirli bir tane büyüklüğüne kadar bütün taneleri içerir ve Şekil 2.6'dan Şekil 2.9'a kadar verilen A ile C eğrileri arasında, 3. ve 4. bölgede bulunurlar. A ile B eğrileri arasındaki 3. bölgeye "uygun bölge" ve B ile C eğrileri arasındaki 4. bölgeye "kullanılabilir bölge" adı verilmektedir. Orta büyüklüklerdeki taneleri içermeyen kesikli granülometri eğrileri, alt sınırı oluşturan U-eğrisi ile Şekil 2.6'da B eğrisi, Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da C eğrisi arasında bulunur.

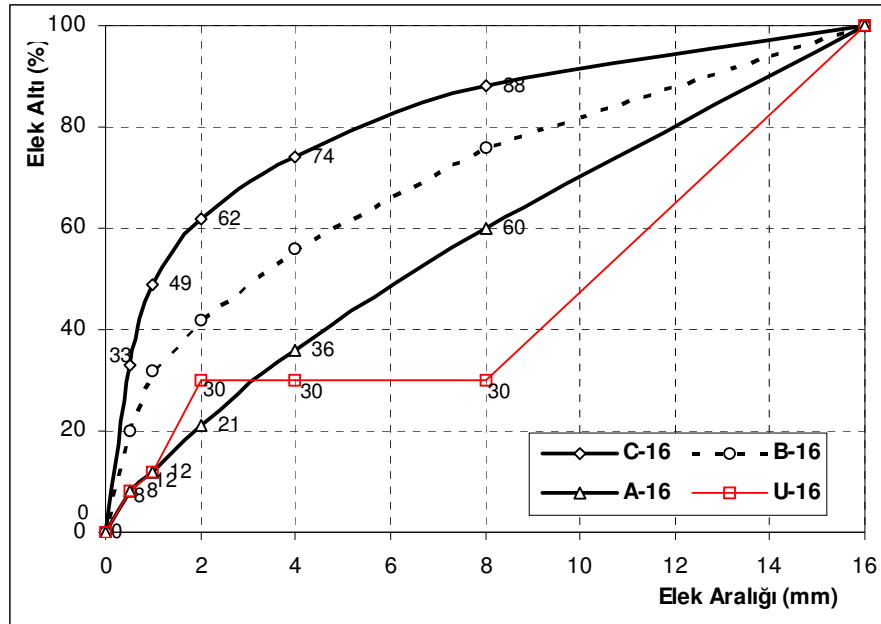
Kesikli granülometrik bileşimi elde etmek için, en az iki tane sınıf karıştırılmalıdır. Bims agregaları için elek analizi sınır değerleri Çizelge 2.7'de verilen granülometri limitlerine uygun olmalıdır (TS 1114 EN 13055-1, 2004).

Agrega tanelerinin şekli olabildiği kadar toparlak (küresel, kübik) olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere, şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm tane büyüklüğü üzerindeki agregada içinde ağırlıkça %50'den fazla olmamalıdır. Değişik yerlerden elde edilen bims agregalar, tane biçimi ve yüzey yapısı bakımından oldukça farklıdır. Bims agregaların tane biçimi ve yüzey yapısı karışım

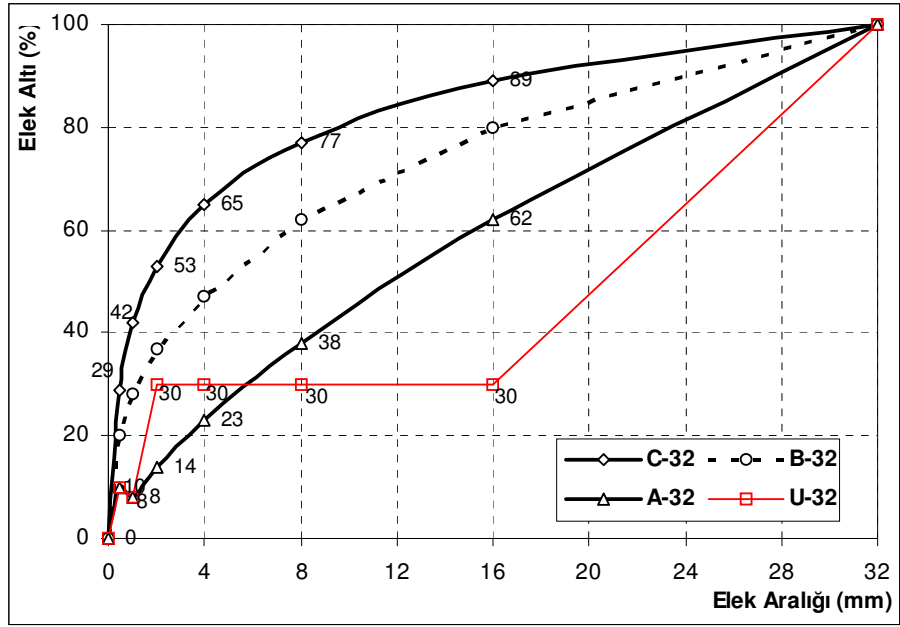
içinde ince ve iri agrega miktarları betonun işlenebilirliğini, ince agrega/iri agrega oranını, su ve çimento miktarını etkiler.



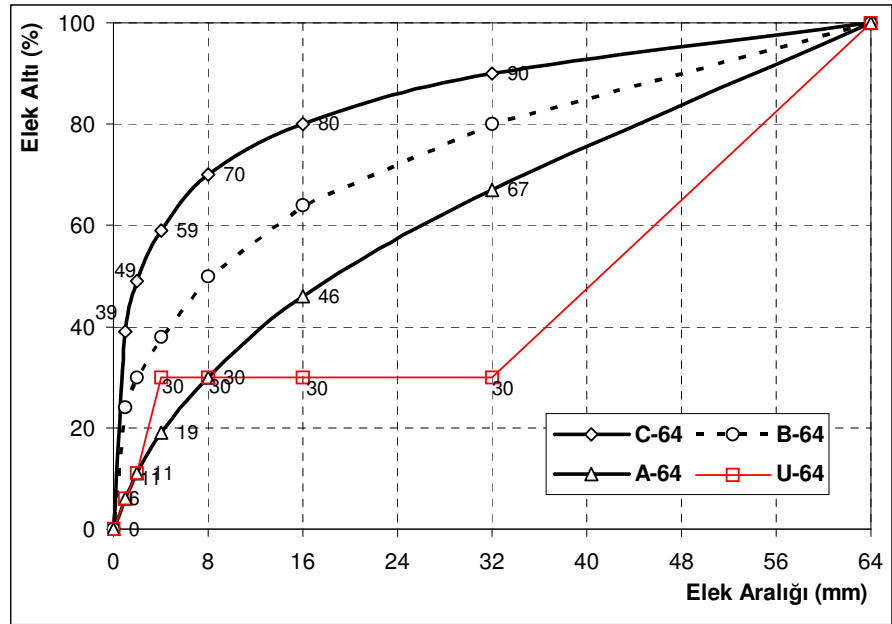
Şekil 2.6. Maksimum 8 mm. boyutlu agregaların granülometri eğrisi



Şekil 2.7. Maksimum 16 mm. boyutlu agregaların granülometri eğrisi



Şekil 2.8. Maksimum 32 mm. boyutlu agregaların granülometri eğrisi



Şekil 2.9. Maksimum 64 mm. boyutlu agregaların granülometri eğrisi

Çizelge 2.7. Pomza agregaların tane büyüklüğü dağılımı (TS 1114 EN 13055-1, 2004)

Tane Sınıfları		Kare gözlü ve kare delikli eleklerden geçen									
		0,125	0,25	0,50	1	2	4	8	16	31,5	63
İnce Agrega	0/2	1	1	1	1	≥90	100	-	-	-	-
	0/4	1	1	1	1	-	≥90	100	-	-	-
	2/4	-	≤5	-	-	≤15	≥90	100	-	-	-
Karışık Agrega	0/8	-	1	-	-	-	-	≥90	100	-	-
	0/16	-	1	-	-	-	-	-	≥90	100	-
	0/32	-	1	-	-	-	-	-	-	≥90	100
İri Agrega	4/8	-	≤5	-	-	-	≤15	≥90	100	-	-
	4/16	-	≤5	-	-	-	≤15	-	≥90	100	-
	8/16	-	≤5	-	-	-	-	≤15	≥90	100	100
	16/32	-	≤5	-	-	-	-	-	≤15	≥90	-

2.3. Termik Etkiler ve Yalıtım

2.3.1. Malzemede Isısal Özellikler

Isıl enerji, cisimlere değişik türde etkiler yapmaktadır. Bu etki sonucu, iç yapılarda ve mekanik özelliklerde oluşan değişimler gözlenmektedir. Bu bakımdan, malzeme yapısı ile ilgili olarak malzemenin özgül ısı, ısı genleşme, ısı iletkenlik değerleri önemli parametreleri oluşturmaktadır. Bu parametreler aşağıda tanımlanarak, ölçüm prensipleri verilmiştir.

Bir cismin ısı iletkenliği, homojen bir malzemenin kararlı hal şartları altında iki yüzey sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğu zaman, birim zamanda, (1 saat birim alanı (1m²) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1m) geçen ısı miktarıdır. Isı iletkenliğinin birimi (kCal/m.h.°C) olarak tanımlanır (Kakaç, 1998).

Bütün cisimler ısıtılınca genişir, soğuyunca büzülür. Buna neden, atomlar arası bağ enerjisi eğrisinin asimetrik oluşu, dolayısıyla sıcaklıkla atomlar arası uzaklığın artmasıdır. Bağ enerjisi eğrisinin asimetriklik derecesi arttıkça, ısı genleşme de büyümektedir.

Eğer, sıcaklık artarken faz dönüşümü oluşursa dönüşüm türüne göre ayrıca hacim ya artar veya azalabilir. Isıl genleşme katsayısı, birim sıcaklık değişiminde birim boyda oluşan artma olarak tanımlanır (Dağsöz, 1976),

$$\frac{\Delta l}{L} = \alpha \Delta T \quad (2.16)$$

ΔT : Sıcaklık farkı, (°C)

ΔL : L boyundaki artış, (m)

α : Isıl lineer genleşme katsayısıdır.

Çeşitli malzemeler için ısı genleşme katsayıları Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Çeşitli malzemelerde ısı genleşme katsayıları (TS 825, 1998)

Malzeme	α (cm/cmC°)10 ⁻⁶
Taş	7-12
Alçı	25
Beton	10-12
Tuğla	5-8
Cam	3-5
Çelik	12
Alüminyum	24
Bakır	16
Çinko	33
Ahşap (life paralel)	4-9
Ahşap (life dik)	30-50
PVC (sert)	70-80
PVC (yumuşak)	125-180
Poliester (cam elyaf)	35-45
Poliester (döküm)	100-150

Genelde iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle, ısı, bir enerji olarak sıcak cisimden soğuk cisme doğru bir geçiş sağlar ve iki malzeme arasındaki ısısal geçirimsizlik, malzemelerin bulunduğu ortamlara göre kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç farklı şekilde görülür.

Kondüksiyon yolu ile malzemede meydana gelen ısı geçirimsizliği olayında, malzemenin ısı geçirimsizliği kalınlığına (d) ve kendi içyapı özelliklerine bağlı ısı iletkenlik katsayısına (λ) bağlıdır. Isı iletkenlik katsayısı, homojen bir malzemenin, denge şartları altında, iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 1 °C olduğu zaman 1 saatte 1 m² alan ve bu alana dik yönde 1 m kalınlığından geçen ısı miktarıdır. Birimi kcal/mhC° dir. Isı iletimi yukarıda sözü edildiği gibi içyapı ile ilişkili olduğundan, birim ağırlığı az olan malzemelerde ısı iletkenlik katsayısında düşük olduğu görülür. Bir malzemenin ısı geçirgenliği (Δ) ise o malzemenin ısı iletkenlik katsayısının (λ), kalınlığına (d), oranı ile bulunur (Dağsöz, 1976, Kakaç, 1998),

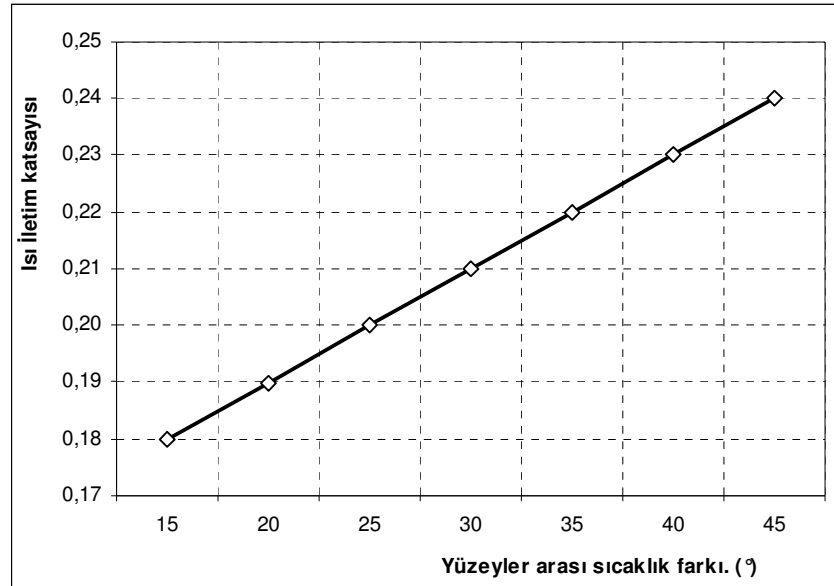
$$\Delta = \frac{\lambda}{d} \quad (\text{kcal/m}^2\text{hC}^\circ) \quad (2.17)$$

Malzemelerin içyapı özelliklerine göre farklı ısı iletkenlik katsayıları Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Türkiye'de farklı yörelerde bulunan pomzalar üzerinde, pomza tanelerinin serbest halde ısı iletim özellikleri üzerine değişik araştırmacılar tarafından incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelere örnek olarak, Erdoğan'ın 1986 yılında pomza oluşumları üzerine yaptığı analiz bulguları Çizelge 2.9 ve Şekil 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Çeşitli Malzemelerde Isı İletkenlik Değerleri (TS 825,1998)

Malzeme	λ (kcal/m ² hC°)
Granit. Bazalt	3,00
Kum, çakıl	1,20
Çimento sıva	0,75
Kireç sıva	0,66
Alçı	0,47
Beton B120	1,30
Hafif beton bloklar	0,35
Tuğla (Dolu)	0,70
Tuğla (delikli)	0,40
Levha Cam (pencere camı)	0,70
Demir, çelik	50,00
Bakır	330,00
Alüminyum	175,00
Bitüm	0,15
Cam ve taş lifleri	0,035
Ahşap talaş levhalar	0,08
Mantar levhalar	0,035
Plastik malzeme köpükleri	0,035
Pomza	0,10-0,60
Diatomit	0,08



Şekil 2.10. Farklı sıcaklıklarda pomzanın ısı iletim katsayısı değerleri ve dağılımı.

2.3.2 Yapı Malzemelerinde Isısal Konfor ve Malzeme Seçimi

İçinde yaşadığımız konutlarda ısı yalıtımı amaçlı konforu sağlamak ve optimum şartlarda sıcaklık dengesini kurmak, yapılarda kullanılan malzemenin seçimi ile doğrudan ilgili bir durumdur. Seçilen yapı malzemelerinin hangi türden bir malzeme olursa olsun, önemle ısısal yalıtım etkileri ve ısı geçirimsizlik karakteristiği analiz edilerek, irdelenmelidir. Yapılarda iç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak yapı kesitini oluşturan (duvarda, tabanda ve tavanda) elemanların iç yüzey sıcaklıklarının belli değerlerde olması gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmaları göstermiştir ki iç ortam sıcaklığının 18-20 °C, yapı elemanı sıcaklığının ise 16-18°C' de olması ile arzu edilen konfor şartları sağlanabilmektedir. Ayrıca yaz ve kış iklim şartlarında her iki sıcaklık derecesinin 4 °C' lik bir farkla kabul edilmesi yeterli görülmektedir.

Bir mekânın ısı etkilerinden korunması, mekânı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliğine bağımlı olmaktadır. Yapı bileşenlerin ısı depolama yeteneği, ısı geçirgenlik direnci ($1/\Delta$) ile belirlenmektedir. Bu direnç, kullanılan malzemelerin cinsine, kalınlığına ve ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Katı malzemelerin ısı iletkenliği; gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklüğü ile dağılım durumuna ve bünyesinde tuttuğu nem miktarına bağımlıdır. Gözenekler içinde bulunan durgun havanın ısı iletkenlik değeri az olmaktadır. Ayrıca, gözenek miktarı arttıkça malzemenin birim hacim ağırlık değeri de azalmaktadır. Bu olgu, malzemenin ısı iletkenlik değerinin düşmesine neden olmaktadır. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri olan bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği düzensiz dağılmış büyük gözenekli bir malzemeye göre daha azdır. Malzemeyi meydana getiren maddelerin ısı iletkenliği, cinsine (anorganik, doğal-organik ve suni-organik) ve yapısına bağımlıdır (Dağsöz, 1976).

Çeşitli tabakalardan yapılmış yapı bileşenlerinde, tabakaların hatalı tasarlanması veya uygun malzeme seçilmemesi, bileşenin ısı yalıtma yeteneğini azaltan yoğuşma olayının meydana gelmesine yol açabilmektedir. Yapı bileşenleri, bünyelerinde meydana gelen yoğuşma olayı, bileşenin ısı geçirgenlik direncini azaltacağı gibi yapısal hasarlarada yol açabilmektedir. Bu tür yoğuşmaları önlemek

için mekan içinde iyi bir havalandırma sağlamak yararlı olacaktır (Gündüz vd, 1998a).

Genel prensip olarak, malzeme seçiminde boşluklu veya aralarında hava boşluğu bulunacak malzemeleri yan yana ve/veya üst üste getirmek ve ısı yalıtım malzemesini genelde soğuk yüzeye yakın olarak yerleştirmek gerekmektedir. Yalıtım malzemesinin ortak olması halinde ise, yoğuşma kontrollerinin yapılarak kalınlığını belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, ısı yalıtım malzemesinin, yalıtım değerini kaybetmemesi için, özellikle sudan ve nemden korunmalıdır.

Yapı kesitlerinde, iç ve dış bölgedeki sıcaklık farkı nedeniyle, ısı bir enerji olarak sıcak taraftan soğuk tarafa doğru geçecektir. Bir yapı kesiti, çeşitli özellikte ve kalınlıktaki malzemelerin yan yana gelmesi ile oluşmaktadır. Bu malzemeler, bileşiminin ısı geçirgenlik değeri (Δ); her bir malzemenin ısı iletkenlik katsayılarının (λ) kalınlıklarına (d) olan oranların toplamına eşit olmaktadır:

$$\Delta = \frac{\lambda_1}{d_1} + \frac{\lambda_2}{d_2} + \dots + \frac{\lambda_v}{d_v} \quad (\text{kcal/m}^2\text{hC}^\circ) \quad (2.18)$$

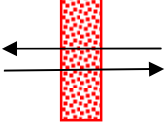
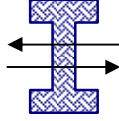
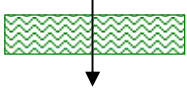
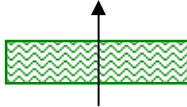
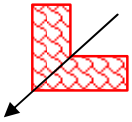
Isı geçirgenlik direnci (D) veya yalıtımı ise geçirgenlik değerinin aritmetik tersidir:

$$D = \frac{1}{\Delta} \quad (\text{m}^2\text{hC}^\circ/\text{kcal}) \quad (2.19)$$

Bir duvar kesitinin hava ile temasta bulunan malzeme yüzeyindeki sıcaklık derecesi ve ısı iletimi yüzeysel ısı iletimi katsayısına (konveksiyon katsayısı) bağlıdır. Bu nedenle, hava ile temas eden malzemelerde konveksiyon katsayısı değerleride ısı geçirme direncine ilave edilmektedir (Çizelge 2.10)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\alpha_{du}} \quad (\text{m}^2\text{hC}^\circ/\text{kcal}) \quad (2.20)$$

Çizelge 2.10. Yapı kesitlerinde konveksiyon katsayısı (Gündüz vd, 1998a)

	Ortam	Konum		α kcal/m ² h°C
α_i	Kapalı Yer (Durgun Hava)	Duvar		7
		Dış Pencere		10
		Döşeme		5
				7
		Köşe		4
α_d	Açık yer (Hareketli Hava)	Her yönde 2m/sn rüzgar hızı		20

İki yüzeyi farklı sıcaklıklara maruz (Δ_t) ve hava etkisine açık bir yapı kesitinde meydana gelecek ısı kaybı (θ)

$$\theta = k * \Delta_t \quad (kcal), \quad \Delta_t = t_1 - t_2 \quad (^\circ C) \quad (2.21)$$

Burada;

k: Toplam ısı geçirme katsayısı,

$t_1 - t_2$ = İç-Dış ortam sıcaklıkları,

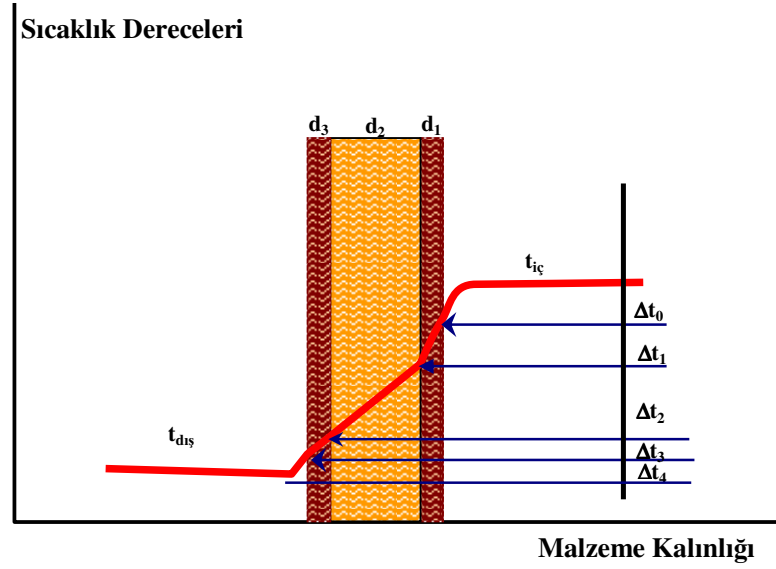
Δt : Ortam sıcaklık farkıdır.

Bir yapı kesitinin ısı geçirimsilik diyagramı Şekil 2.11'de verilmiştir. Yapı kesitindeki her bir malzemenin yüzeysel sıcaklık değeri, malzemenin iki yüzü arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır.

$$\Delta t_0 = Q \cdot \frac{1}{\alpha_i} \quad t_{iA} - \Delta t_0 = t_1 \quad (2.22)$$

$$\Delta t_1 = Q \cdot \frac{d_1}{\lambda_i} \quad t_i - \Delta t_1 = t_2 \quad (2.23)$$

$$\Delta t_n = Q \cdot \frac{1}{\alpha_d} \quad t_n - \Delta t_n = t_{du} \quad (2.24)$$



Şekil 2.11. Bir yapı kesitinin sembolik ısı geçiş diyagramı

Şekil 2.11'de gösterilen bir yapı kesitindeki her bir malzemenin birim alanından birim zamanda geçen ısı miktarı aşağıdaki matematiksel eşitlikler ile belirlenmiştir:

$$q = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot (t_2 - t_1) = \dots\dots\dots = \frac{\lambda_n}{d_n} \cdot (t_n - t_{n-1}) \quad (2.25)$$

$$q = \frac{(t_n - t_0)}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (2.6)$$

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (2.27)$$

Buna sistemin denk ısııl direnci denilmektedir. Diğer taraftan, ısısal konforun; sağlanması için, bir yapı kesitinde iç hava sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki

farkın (θ) $\leq \pm 3$ olması arzu edilmektedir. θ parametresi, yüzeysel ısı geçirimlilik değeri ve sıcaklık farklarına bağımlı olarak;

$$\theta = \frac{k}{\alpha} \cdot (t_{iç} - t_{dış}) \quad \text{veya} \quad \theta = \frac{1}{\left[\frac{1}{\alpha_d} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{1}{\alpha_d} \right]} \cdot \alpha_i \quad (2.28)$$

bağıntıları ile bulunabilmektedir.

Yapı kesitlerinde, konut içinde yaşayan insanların dış ısısal etkenlerden korunması, sağlığa uygun, konfor verici ortamın oluşturulması, yapının onarım giderlerinin azaltılması ve dış cephede kaplama taşı olarak kullanılabilecek malzemenin efektif şartlarda seçiminin yapılması gereklidir. Herhangi bir duvar kesitinde ısısal konfor analizi ile en optimal kesit geometrisi ve kesiti oluşturan yapı elemanlarının seçimi yapılabilmektedir.

Böyle bir incelemede, ortalama sıcaklık açısından iç yüzey sıcaklıklarının konfor düzeyinde gerçekleşip gerçekleşmediği irdelenmektedir. Bu şekildeki bir irdeleme ile yapı kesitinde kullanılabilecek olan, doğal yapı taşlarının " d/λ " oran değişimi hesaplanarak, optimal kaplama kalınlığı belirlenebildiği gibi, ısı iletkenlik katsayısı yardımı ile de en ideal kaplama malzemesinin ne olabileceği hususunda bir fikir edinebilmek mümkün olabilmektedir. Böyle bir çalışmada Bayındırlık Bakanlığı tarafından uygulamaya konan 16 Ocak 1985 tarihli Isı Yalıtım Yönetmeliğinde belirlenen Türkiye ısı bölgelerinin marjinal ısı değerleri, ortam ısı bölgeleri olarak kullanılabilmektedir.

Isı yalıtım yönetmeliğine göre, Türkiye 3 ısı bölgesine ayrılmıştır. Burada baz alınan, bölgelerdeki yıllık en düşük sıcaklık ortalamaları ve nem faktörleridir. Buna göre (Kanca, 1980),

I. Bölge; Manisa, İzmir, Antalya, Adana, Hatay ve Urfa

II. Bölge; Edirne, Çanakkale, İstanbul, Bursa, Balıkesir, Denizli, Isparta, Zonguldak, Samsun, Tokat, Rize ve Gaziantep

III. Bölge; Kastamonu, Bolu, Kütahya, Konya, Malatya, Hakkari, Erzurum, Kars ve Çorum gibi iller Türkiye ortalama ısı bölgelerini oluşturmaktadır. Yönetmelikte, yapı

elemanının çeşitli bölgeler için istenilen en az ısı geçirme katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençlerinin değerleri Çizelge 2. 11'de verilmiştir (Gündüz vd, 1998a).

Çizelge 2.11. Isı bölgeleri k, 1/Δ değerleri

Yapı Elemanı		Bölgeler		
		I	II	III
Dış Duvarlar	k	1,5	1,12	0,90
	1/Δ	0,47	0,70	0,92
Döşeme	Altı	k	1,18	0,88
	Toprak	1/Δ	0,65	0,93
	Altı	k	0,61	0,44
	Açık	1/Δ	1,40	2,00

Çeşitli bölgelerde inşaa edilecek yapılarda gerekli ısı yalıtımını sağlamak için seçilen malzemeler Çizelge 2.11'de verilen değerleri karşılayacak şekilde bir hesaplamanın yapılması gerekmektedir.

2.3.3. Isı Yalıtımının ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti

Konutların ısıtılmasında enerji verimliliği, arsa parsellenmesinden itibaren binanın yapılması ve kullanımı esnasında takip edilecek yöntem ile yakından ilgilidir. Arsanın parsellenmesi aşamasında binaların yönleri, binalar arası mesafeler, bitişik veya ayırık nizam parsellenmesi gibi düzenlemeler enerji verimliliğini etkileyen faktörlerdir.

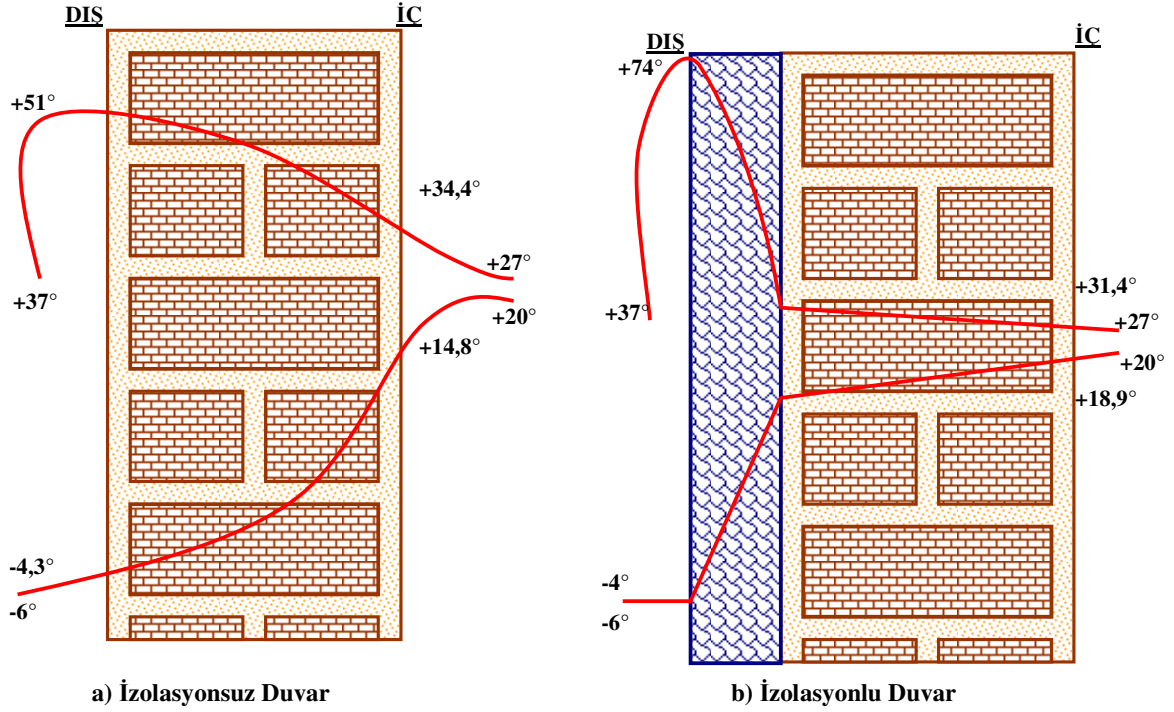
Binanın kullanımı esnasında uygun kazan ve yakıtın seçimi, yanmanın iyi sağlanması ve bacanın temiz tutulması gibi faktörlerde enerji verimliliğine etki etmektedir. Bina dış yüzey alan miktarı, özellikle binanın dış duvarlarındaki girinti ve çıkıntılar (ısı köprüleri) ısı geçiş alanını önemli ölçüde ve olumsuz yönde artırmaktadır. Kapı ve pencere konumlan, yapı malzemeleri, dış duvar, pencere ve çatı konstrüksiyonları, katı yüksekliği, dış pencere/dış duvar alanı oranları, kazan dairesine uygun yer seçimi ve yapımı ile bunların arasında en önemlisi olan yalıtım

malzemesi ve optimum yalıtım kalınlıklarının tespiti gibi birçok faktör binaların ısı kaybını etkilediğinden projelendirme aşamasında göz önüne alınmaları gereklidir.

Özellikle dış duvarlara ve çatılara uygulanacak ısı yalıtımında, yalıtım malzemesinin kalınlığının pratikte genel olarak tahmini belirlendiği bilinmektedir. Gereğinden daha az kalınlıkta veya aksine gereğinden daha büyük kalınlıkta olan ısı yalıtımında, ideal büyüklükten önce veya sonra enerji tasarrufu miktarlarında azalmalar olacağı, dolayısıyla maliyetin artacağı, yani ekonomik olmayacağı, görünen bir gerçektir. Isı yalıtım kalınlığı ısıtma sürecindeki dış ortam hava sıcaklıklarına, ısıtma sürecinde günlük çalışma süresine, yakıt fiyatına ve ömrüne, senelik fiyat artışlarına, enflasyona, uygulanacak duvar ve çatının yapısına v.b gibi özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir (Kanca, 1980).

Yapılardaki kiriş, kolon ve hatıl gibi elemanların ısı iletim katsayıları, örme elemanlarına (tuğla, bimsblok, v.b) nazaran oldukça yüksektir ve bu sebeple ısı kayıplarında çok önemli olan ısı köprüsü özelliğindedir. Bina yapımında bunların minimuma indirilmesi gerekir. Bir duvarın İzolasyonlu olup olmaması ısıtma ve soğutma yüklen açısından önemlidir. Güneş radyasyonuna maruz duvarlarda, dış sıcaklıklar düşük olsa bile yüzey sıcaklıkları oldukça farklı olabilir.

İzolasyon özelliğine sahip bir duvar ile izolasyon özelliği bulunmayan bir duvar örneği üzerinde yapılan sembolik inceleme bulgusu duvar elemanı olarak kullanılacak bir malzemenin yalıtım özelliğinin iyi olmasının ne denli avantajlar sağlayacağı Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. İzolasyonlu ve izolasyonsuz duvarda sıcaklık dağılımı (sembolik gösterim)

2.4. Ses Oluşum Kriterleri ve Yalıtımı

Doğal kayalardan elde edilen yapı malzemelerinde, kullanım yerinde bağımlı olarak, ses etkileri ve yalıtım özellikleri konusu, günümüz inşaat sektöründeki konfor ve kalite anlayışı içerisinde oldukça önemlidir. Yapı malzemesi teknolojisinde, doğal kayaların hammadde olarak değerlendirildiği kaplama veya yapı elemanı türevleri için, gelişmiş bir ölçüm tekniği kullanılarak ses akustiği ve yalıtımı gibi hususlar, yeterince bilinmemektedir. Yapılmış olan araştırmalarda, tamamlanmış bir yapının bir bütün olarak ses yalıtım değerlendirmelerinin yapıldığı ve sınıflamalarının getirildiği görülmektedir. Ancak, bir yapıyı oluşturan temel öğeler yapıda kullanılan malzemeler olduğuna göre, yapının bir bütün olarak ses yalıtım değerlendirmesine burada kullanılan malzemelerin, kullanım öncesi sahip oldukları ses yalıtım ölçütleri doğrudan etki etmektedir. Ayrıca her bir elemanın

birbirinden farklı ses yalıtım ölçütü bulunmakta ve bu da, yapı tasarımı açısından malzeme seçiminde önemli bir kriter olabilmektedir (Uğur, 2001).

Genel olarak kullanılan doğal malzemelerden elde edilmiş yapı elemanlarının ses yalıtım ölçütleri ve ses geçiş karakteristiklikleri literatür değerlendirmesi olarak irdelendiğinde, bu konu ile ilgili olarak çok fazla sayıda kaynağa rastlanılamamaktadır. Bu nedenle, doğal ve gözenekli yapıya sahip kayaçların, ses geçiş karakteristiğinin irdelenmesi ve malzemenin ses yutuculuğu üzerinde etken olan kayaç parametrelerinin değerlendirilmesi hususunda, ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmıştır (Suri, 1966, Özer, 1979).

Yapılan çalışmada ilk önce genel anlamda ses olgusunu içeren seslerin frekansları, oluşumu, yayılışı, yansıması gibi temel literatür bilgileri derlenmiş ve inşaat sektöründe ses akustiği konforunu sağlayacak imkan ve deneyler belirlenmiştir.

Daha sonra yapılan literatür çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında, Doktora tez çalışması konusunu oluşturan asidik ve bazik pomzalı beton ve bimsbloklar üzerine ses yalıtımı üzerine bir dizi deneyler yapılmıştır.

2.4.1. Ses Yalıtımı

İçerisinde yaşanan belirli ölçülerde sınırlandırılmış kapalı mekanlarda akustik yönden konfor sağlamak için, malzeme ve yapı düzeni ile ilgili olarak iki önemli etken vardır. Bunlardan birincisi sesin yansıması veya yankı, diğeri de ses iletimi veya bunun tersi olan ses yalıtımıdır (Gündüz vd, 1998a).

Akustik, sesin meydana gelişi, yayılması, duyulması, duyulma alanındaki etkinliği ve diğer özellikleri ile ilgili bir bilim dalı olup, etkin bir ses yalıtımı ve akustik düzenlemenin sağlanabilmesi için yapıda fiziksel olarak dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının ses absorpsiyon özelliklerinin tanımlanması ve incelenmesi gerekmektedir. Günümüzde, yapı endüstrisinde yapı ve kaplama amaçlı olarak doğal kayaç kullanımı giderek yaygınlaşmakta olup, bu tür kayaç oluşumları yapı endüstrisinde, yapı elemanları üretiminin ana hammaddesini oluşturmaktadır (Uğur, 2001).

Doğal kayaçlar akustik özellikleri açısından ele alındığında, fiziksel ve yapısal özelliklerine bağımlı olarak, farklı akustik ve ses absorpsiyon özellikleri gösterdikleri bilinmektedir. Ancak, konu üzerinde farklı kayaç oluşumları ve kullanım amaçları doğrultusunda detay inceleme ve araştırma bulgularına yeterince rastlanılamamaktadır. Bu bakımdan, yapı endüstrisinde yapı malzemesi olarak kullanılabilen doğal kayaç oluşumlarının, ses absorpsiyon özelliklerinin detay olarak ve hassasiyetle incelenmesi ve tanımsal ölçeklerle irdelemelerinin yapılabileceği yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bu tez çalışması kapsamında, doğal kayaç oluşumlarının genel olarak ses absorpsiyon ve akustik özelliklerinin deneysel normlarla incelemeleri yapılarak, bu malzeme türleri için tanımsal ölçeklerin geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu bölümde kaynak bilgisi olarak, yapılan tez çalışmasında temel bilgi niteliğini taşıyan, ses ve akustik ile ilgili bilgiler aşağıdaki bölümlerde özetle verilmiştir (Özer, 1979).

2.4.2. Ses Karakteristiği ve Oluşum Bilgisi

Teknolojik değişim, ne kadar hızlı olursa olsun, sesin doğal yapısı, ses dalgalarının davranışları ya da fiziksel özellikleri, frekans, genlik, tını gibi öğeler ses teknolojisini biçimlendiren değişmez yapısal özelliklerdir. Ses, geniş kapsamlı olarak incelendiğinde, yalnızca işlevsel özelliğe sahip bir öğe olmadığı, aynı zamanda estetik bir haz oluşturmada kullanılan önemli bir öğe olduğu görülebilir. Tüm ses, cihaz ve donanımlarının kullanım özellikleri, ses ve işitmenin ilkelerini temel almaktadır. Bu nedenle, sesin ne olduğu, nasıl oluştuğu ve değişik ortamlarda nasıl yayıldığı, sesin fiziksel tanımlamasının yapılabilmesi için, belirlenmesi gereken temel unsurlardır (Ergül, 1998).

Sesin iki temel özelliği vardır; hava gibi bir ortam içerisinde yayılan fiziksel bir karışım, ya da beynin akustik korteksinde sinirlerin yardımıyla iletilen sinyallerin oluşturduğu bir psikolojik algılama olduğu düşünülebilmektedir. Ses, fiziksel uyarıcılar yardımıyla kulağa taşınır ve ardından, fizyolojik ve psikolojik süreçler başlar. Aşağıdaki paragraflarda, öncelikle, sesin fiziksel yapısı gereği ortaya çıkan bazı temel özellikleri incelenmiştir.

Ses, bir basınç altında periyodik olarak mekanik titreşimler yapan bir kaynağın oluşturduğu, belirli bir enerji taşıyan basınç dalgalarının, bu enerjiyi ve titreşimleri iletecek hava, su, katı gibi esnek ve maddesel bir ortam içerisinde yayılmasıdır. Bir başka deyişle, insan kulağının algılayabileceği basınç değişimleri olarak da tanımlanabilen ses, üretilebilmesi için titreşim, iletilebilmesi için ise esnek ve ataletli bir ortama ihtiyaç duymaktadır. Gerilme dalgasının enerjisi sesin şiddetini, frekansı ise tonunu belirlemektedir. Bu tanımlamaya göre ses, hem fiziksel, hem de psikofiziksel bir olgu olarak değerlendirilebilmektedir. Örnek olarak, bir hoparlörün oluşturduğu basınç dalgalarının havadaki dağılımı fiziksel, bu dalgaların kulak tarafından algılanması ise psikofiziksel kökenlidir.

Bir cisme vurulması, çekilmesi ve sürüklenmesi gibi benzer nedenlerden dolayı, titreşim kaynağına en yakın hava molekülleri hareket ederek yan yana duran moleküller ile zincirleme bir reaksiyon oluştururlar. Sesin oluşumu, reaksiyona giren bu moleküllerin titreşen gövde ile uyum içerisindeki hareketine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bir nesne ya da cisim, dışarıdan bir hareketle titreştiğinde, birbirine yakın moleküller sıkışarak nesneden uzaklaşmaya başlarlar. Moleküllerin ulaşacağı en uzak nokta, ses dalgasının tepe değerini (pik) oluşturur. Ancak belirli bir esnekliğe sahip olan ortamın ya da havanın göstereceği direnç, molekülleri ters yönde hareket etmeye zorlayarak, molekül hareketinin zayıflamasına ve dolayısıyla da bir basınç azalmasının oluşmasına neden olur. Bu basınç azalması, sıkıştırmaya benzer şekilde sürerek, bir ses dalgasını oluşturur (Ergül, 1998, Özer, 1979)).

Ses oluşumunda, dalga boyu, zamana bağlı olarak ilerleyen periyodik bir dalga'nın 1 çevrim içerisinde kat ettiği mesafe olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, çevrim içerisindeki iki pik noktası arasındaki mesafenin büyüklüğü olarak da ölçümlenebilmektedir. Bir titreşimin iki tepe noktası (yüksek ve alçak basınç) arasında oluşan, tamamlanmış bir titreşim devrinin bir saniyedeki devir sayısı, frekans olarak ifade edilmektedir. Bir ölçeklendirme olarak; bir saniyede 10 titreşim devri tamamlanıyorsa, bu titreşimin frekansı 10 Hz büyüklüğünde olmaktadır. Dalgaboyu ve frekans arasında kurulabilecek ilişkiler eşitlik (2.29)'da tanımlanmıştır:

$$\text{Dalga boyu (m)} = \text{Ses hızı (m/sn)} / \text{Frekans (Hz)} \quad (2.29)$$

Ses enerjisi çok küçüktür ve uygulamada desibel (dB) olarak adlandırılan bir birimle ölçülür. İnsan kulağının işitebileceği en zayıf sesin enerjisi $E_0=10^{-16}$ watt/cm² dır. Bir cismin birim alanına gelen sesin enerjisi E (watt/cm²) ise, o ses dalgasının bağıl şiddeti şu bağıntı ile tanımlanır ve desibel olarak boyutlandırılır:

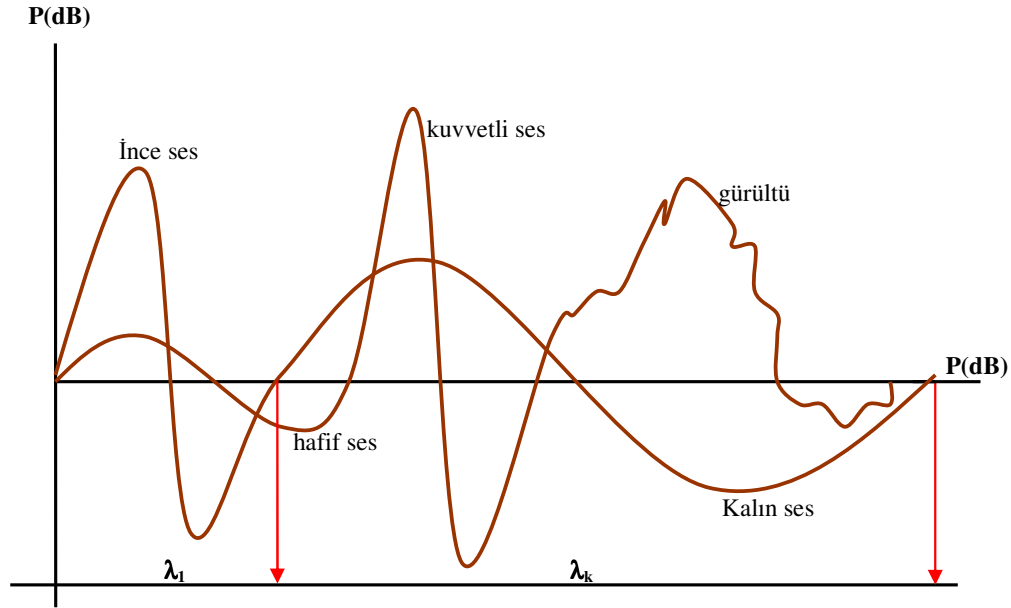
$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \frac{E}{E_0} \quad (2.30)$$

Basıncıta görülen saniyedeki değişim sayısı, sesin frekansını belirlemekte ve Hertz (Hz) birimi ile ölçülmektedir. Sesin şiddetinden başka, frekansıda önemli bir etkindir. İnsan kulağı, saniyede 20'den daha az miktarlardaki değişimleri algılayamaz. Ayrıca insan kulağının bu hassasiyeti, yaşa bağlı olarakda değişmektedir. Şöyle ki; küçük bir çocuk 20000 Hz'e kadar oluşan basınç değişimlerini algılayabilirken (duyabilirken), yaş ilerledikçe bu limit daha düşük değerlere doğru düşmektedir. Diğer bir değişle, insan yaşlandıkça düşük-frekans değerlerine sahip sesleri duyabilir bir duruma gelmektedir değişik ses basınçlarının sembolik olarak dağılımı ve yayılımı Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Sesin havadaki hızı, normal sıcaklık ve basınç koşullarında yaklaşık 345 m/sn olarak kabul edilmektedir. Oda sıcaklığında, ses dalgalarının farklı frekanslardaki yaklaşık dalga boyları Çizelge 2.12'de verilmiştir.

Çizelge 2.12. Ses dalgalarının farklı frekanslardaki dalga boyları (Ergül, 1998)

FREKANS	DALGABOYU
16 Hz	21.25 m (69 ft)
20 Hz	17 m (55 ft)
50 Hz	6.8 m (22 ft)
100 Hz	3.4 m (11 ft)
500 Hz	68 cm (2.2 ft)
1kHz	34 cm (1.1 ft)
2 kHz	17 cm (6.6 inç)
5 kHz	6.8 cm (2.7 inç)
10 kHz	3.4 cm (1.4 inç)
16 kHz	2.1 cm (0.8 inç)



Şekil 2.13. Değişik ses basınçlarının grafik gösterimi (Uğur, 2001).

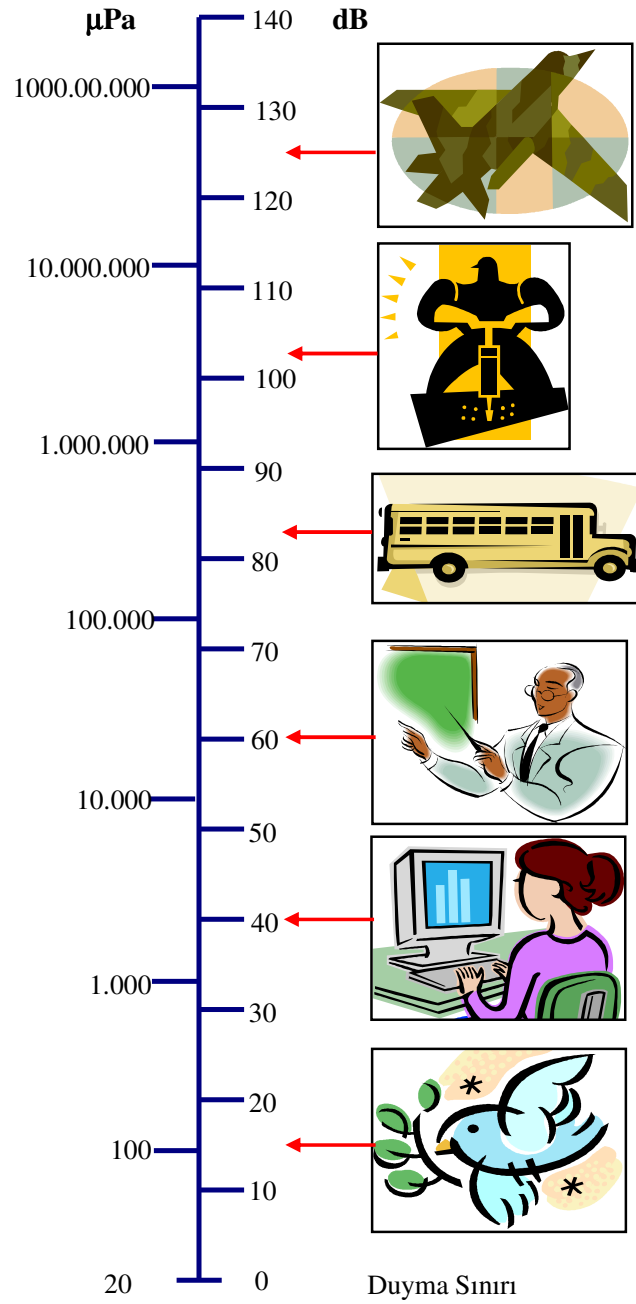
Ses basınç dalgaları, sürekli tekrarlandıklarından dolayı "periyodik dalgalar" olarak adlandırılırlar. Periyodik dalgaların her bir koşulda, sinüs dalgaları şeklinde oluşması beklenmez, önemli olan husus, dalgaların tekrarlanmasıdır. Ses dalgasının zamana göre değişimi, salt sinüs dalgası biçiminde ise, doğada böyle bir ses dalgasının tek bir frekansı vardır. Salt sinüs dalgasının dışındaki ses dalgalarına "kompleks ses dalgaları" adı verilmektedir. Kompleks ses dalgalarının, temel frekans ve temel frekansın bileşenlerinden oluşmuş sinüs dalgaları şeklinde düşünülebilmesi mümkündür. Konuşma ve müzik seslerine ait dalga şekilleri, basit sinüs eğrisi şeklinden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Teorik olarak, kompleks bir periyodik dalga, farklı frekans, genlik ve zaman ilişkisine (faz) sahip sinüs dalgalarının sentezinden oluşmaktadır (Ergül, 1998).

Ses olgusunda diğer önemli iki ayrı faktör ise "genlik ve ses yoğunluğu"dur. Dalga hareketindeki titreşimler, yalnızca hareket eden moleküllerin oranını etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda hareket tarafından belirlenen moleküllerin sayısını da belirler. Bu sayı titreşimin yoğunluğu ile yakından ilişkilidir. Zira yoğunluk arttıkça molekül sayısı da artmakta ve yer değiştiren moleküllerin sayısı

çoğaldıkça ses dalgası da büyümektedir. Bu nedenle hareket eden molekül sayısı, bir ses dalgasının büyüklüğünü belirler ve “genlik” olarak adlandırılır. Genliğin subjektif etkisi ise “ses yoğunluğu” olarak tanımlanır (Alten, 1986).

Belirli bir enerji taşıyan ses, gerilme dalgası halinde yayılmakta ve rastladığı cisimlere basınç dalgası olarak etkimektedir. Gerilme dalgasının enerjisi, sesin şiddetini, frekansı ise tonunu belirlemektedir. Sesin şiddetinden başka, frekansı da önemli bir etkidir. Bir ortam içersinde sesi meydana getiren titreşimlerin saniyedeki değişim sayısı, sesin frekansını belirlemekte ve Hertz (Hz) birimi ile ölçümlenmektedir. 1 Hz., saniyede 1 titreşim anlamına gelmekte ve yüksek frekanslar için genellikle kHz birimi kullanılmaktadır. Frekansı yaklaşık olarak 16 Hz ile 20 kHz arasında kalan titreşimler insanlarda işitme duyulanması doğurmaktadır. Frekansı 16 Hz.'in altındaki titreşimlere infrasonik (ses altı), 20 kHz'in üzerindeki titreşimlere ise ultrasonik (ses üstü) titreşimler adı verilmektedir. İşitme duyulanması için frekans sınırları, her insanın yaşına ve kulak hassasiyetine göre değişmekte olup, insanların frekansları yaklaşık olarak işitebilme alanı Şekil 2.14'da verilmiştir.

Şekil 2.14'de değişen ortamlardaki ses şiddeti, hem mikropaskal hem de dB olarak değerleri sembolize edilmiştir. İşitme alanının özellikle üst sınırı önemli çeşitlilik ve sapmalar gösterebilmekle birlikte, bu sınır genellikle 16.000 Hz civarındadır. Bu frekans alanı, yapısal tesislerin planlama ve değerlendirilmesinde oldukça daraltılmaktadır. Makinelerle gürültü ile mücadelede genellikle 50-10.000 Hz arasındaki alanda, hacim akustiği ile ilgili sorunlar ise 63-8.000 Hz arasında ele alınmaktadır. Yapı elemanlarının ses yalıtımları konusunda ise çoğu kez ancak 100 Hz ile 3150 Hz'in sınırladığı frekans alanı önemlidir (Huntington, 1963).



Şekil 2.14. Değişen atmosfer ortamlarında ses şiddetlerinin grafiksel gösterimi (Huntington, 1963)

2.4.3. Frekans Aralıkları

2.4.3.1. Bas Frekanslar (16 Hz-256 Hz)

Bas frekanslar, alçak ve üst bas frekanslar olarak ikiye ayrılmaktadır. Alçak bas frekanslar, birinci ve ikinci oktavlara karşılık gelmektedir (16 Hz-64 Hz). Bu frekanslar, güç, gürlleme ya da dolgunluğu ifade ederler. Trafik uğultusu, gök gürlemesi ve patlama sesleri gibi en kalın sesleri ya da müzik aletlerinin en düşük notalarını içerirler. Üst bas frekanslar ise, üçüncü ve dördüncü oktavlara karşılık gelmektedirler (64 Hz-256 Hz). Bu frekanslar, müziksel yapıda bir denge kurabilmekle birlikte, bu frekanstaki seslerin algılanabilme niteliği daha yüksektir (Ergül, 1998).

2.4.3.2. Orta Frekanslar (Midrange; 256 Hz-4096 Hz)

Orta frekanslar, orta frekans ve üst orta frekans olmak üzere iki kısma ayrılmaktadırlar. Orta frekanslar, beşinci, altıncı ve yedinci oktavlara karşılık gelmektedirler (256 Hz-2048 Hz). İşitilebilir frekans alanı içerisinde çok yoğun karşılaşılan sesleri içerirler. Orta frekanslar, çoğu ses kaynağının temel frekansını (fundamental), harmoniklerini ve üst seslerini ve üst seslerini kapsarlar. Bu frekanstaki sesler, genellikle kulak tırmalayıcı olarak algılanırlar ve oldukça rahatsız edici frekans bileşenlerini içerirler.

Üst orta frekanslar ise sekizinci oktava karşılık gelmektedir (2048 Hz-4096 Hz). Ortalama olarak çoğu insanın konuşma frekanslarını içeren bu oktav, yaklaşık 3 kHz ve yukarıdaki frekanslarla, konuşmaların anlaşılabilirliğini arttırmaktadır.

Ancak bu frekanslar gereğinden fazla kullanıldığında, kulakta belirli oranda rahatsızlık yaratabilmektedir. Sekizinci oktavın üst kısmı, zengin ve doyurucu ses perdelerini içerdiğinden, işitilen sese bir berraklık ve anlaşılabilirlik katmaktadır.

Dokuzuncu oktavın en alt kısmına kadar 6000 Hz civarında olan bu alan, seslerin berrak bir şekilde algılanabilme sınırını oluşturmaktadır (Ergül, 1998).

2.4.4.3. Tiz Frekanslar (4096 Hz-16384 H)

Dokuz ve onuncu oktavı içeren bu frekanslar, ses frekans spektrumunun toplam çıkış gücünün %2' sini oluşturmaktadırlar. Özellikle dokuzuncu oktavın üst kısmı, sese yaşamsal ve en üst düzeyde parlaklık ve canlılık katarlar. 5 kHz' de ses yoğunluğunun artması, orta frekansların da desteğiyle, tüm ses yoğunluğunun arttığı izlenimini verirken, azalması ise, şeffaflığın yitirilmesi anlamına gelmektedir (Ergül, 1998).

2.4.4. Sesin Yayılma Hızı

Sesin yayılma hızı, yayıldığı ortamın özellikleri ile ilgilidir. Yapı akustiğinde ses ile ilgili en önemli ortam, havadır. Çünkü kulağa gelen ses, hava ile iletilmektedir. Sesin çeşitli ortamlardaki yayılma hızı eşitlik (2.31)'de verilmiştir.

$$C = \sqrt{\frac{E_m}{\rho_m}} \quad (2.31)$$

Burada,

C: Sesin yayılma hızı, (m/s),

E_m : Ortamın esneklik katsayısı, (N/m²)

ρ_m : Ortamın özgül ağırlığı, kg/m³, tür.

Hava yoğunluğunun sıcaklıkla değişmesi sebebiyle, sesin yayıldığı ortam olarak havanın diğer ortamlara göre özel bir önemi vardır. Çeşitli ortamlarda sesin yayılma hız değerleri Çizelge 2.13'de verilmiştir.

Çizelge 2.13. Sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızları (Özer, 1979)

ORTAM	SESİN YAYILMA HIZI (C) m/s
Hava	330-350
Su	1453
Çelik	5000
Kâğıt	3000
Ahşap	1000-4000
Mantar	500
Kauçuk	50

2.4.5. Sesin Oluşumu

Başka bir tür enerjinin, ses enerjisine dönüştürülerek sesin doğması, doğal veya suni olarak, mekanik veya fiziksel olaylar sonucu ses titreşimlerinin meydana getirilişi ile gerçekleşir. Bir ses kaynağının yarattığı akustik basınç, genellikle yayın yapan yüzeyin büyüklüğü ve hızı ile doğru orantılıdır. Bu bakımdan yüksek frekanslı ince seslerin işitilebilmesi için, çok küçük genlikli titreşimlerin yeterli olmasına karşın, kalın seslerin duyulabilmesi için büyük genlikli titreşimler ve oldukça büyük yüzeyler gereklidir (Everest, 1994).

Sesin oluşumu, başlıca iki grupta toplanabilmektedir: Hava doğuşlu sesler ve Yapı doğuşlu sesler. Bu ses tanımlamaları, aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

2.4.5.1. Hava Doğuşlu Ses

Kaynaktan yayılan ses enerjisinin bir kısmı veya tümünün doğrudan doğruya hava partiküllerini titreştirmesi ile oluşan ses tipidir. Bir yapı elemanının havada oluşan ses enerjisine geçiş direncinin tespiti, elemanın her iki tarafındaki ses şiddetinin ölçülmesi ve farkının alınması suretiyle belirlenmektedir. Bu fark, elemanın ses geçiş direnci olup, dB (desibel) olarak ifade edilir. Rijit yapı elemanı üzerine, hava doğuşlu ses enerjisinin çok az bir kısmı bile olsa, direk olarak geldiğinde hava doğuşlu ses, duvarın bir diyaframın hareketine benzer şekilde titreşmesine ve sesin bu şekilde birbirine bağlantılı olan yapı elemanları vasıtasıyla iletimine neden olmaktadır. Bu şekilde oluşan yapı doğuşlu ses, belli mesafedeki bir

başka duvarında benzer şekilde titreşmesine ve oluşan sesin sesten korunması düşünülen alan içerisine yayılımına neden olmaktadır.

Havadaki ses, sınırlayıcı yapı elemanlarından şu yollarla geçebilmektedir:

- Yapı elemanlarındaki açıklık ve çatlaklardan,
- Yapı elemanlarının gözeneklerinden.

2.4.5.2. Yapı Doğuşlu Ses (Darbe Sesleri)

Darbe sesi, bir cismin düşmesi, sürüklenmesi veya darbesi sonucunda yapı elemanının kendisi tarafından doğrudan iletilir. Fransız standartlarına göre darbe sesi, döşemeye yapılan standart darbelerin, bu döşemenin altındaki hacimde tespit edilen hava sesi basınç seviyesidir. Hava sesi gibi, darbe seside desibel olarak ifade edilmektedir. Bu şekilde tespit edilen ses basınç seviyeside ne kadar küçük olursa, sistemin darbe sesine karşı olan izolasyon seviyesi de o kadar yüksek olmaktadır. Tüm elemanların ses iletkenler olarak rijit bir şekilde birbiri ile bağlantılı olmasından dolayı, darbe sesine karşı yüksek bir izolasyon seviyesi, tek kat bir döşeme ile sağlanamamaktadır. Bu sorunun çözümü ancak, yüzer şap uygulaması ile mümkündür. Bu uygulamanın avantajı, darbeyi karşılayan döşeme ile taşıyıcı sistemin irtibatlı olmayıp, elastik bir katmanla ayrılmış olmasından ileri gelmektedir (Özer, 1979).

2.4.6. Sesin Yayılması

Yapı akustiği incelemesinde, sesin, ortamın geometrik özelliklerine göre yayılması oldukça büyük önem taşımaktadır. Ses, ortamın geometrik özelliklerine göre, bir boyutlu ortamlarda düzlem dalgalar, iki boyutlu ortamlarda düzleme yakın karmaşık dalgalar, üç boyutlu ortamlarda küresel dalgalar halinde yayılır.

Yapılarda uzun koridorlar, havalandırma kanalları, asansör boşlukları ve tesisat boruları gibi, boyutlarından birisi diğerinden en az 10 misli olan hacim ve yapı elemanları, bir boyutlu ortam kabul edilir. Bu gibi ortamlarda ses, ya ortam içerisinde doğar veya herhangi bir şekilde dışarıdan bu ortam içerisine girer. Her iki

durumda da, ortamın geometrik özelliğinden dolayı, küresel ses dalgaları düzlem dalgalara dönüşür. Küresel dalgalarla yayılan ses gücü, mesafenin karesi ile orantılı olarak azalmasına karşın, düzlem dalgalar halinde yayılan ses gücünün mesafe ile azalması çok azdır ve hatta yutulmalar dikkate alınmazsa ses gücü seviyesi sabit kalmaktadır. Buna örnek olarak, bazı ortamlarda konuşmak için kullanılan uzun borular ve tünellerde bir uçtan, diğer uçtaki sesin kolaylıkla duyulması verilebilir.

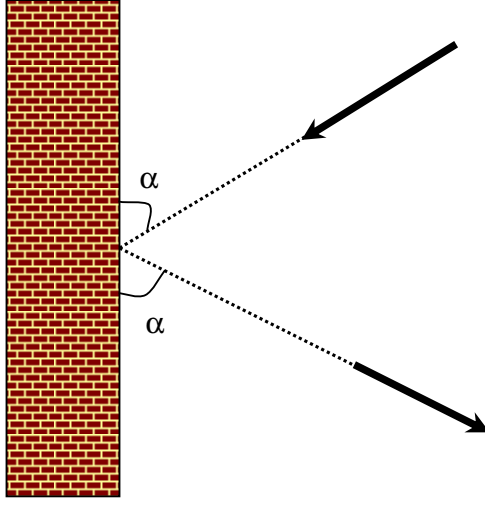
Yapılarda iki boyutlu ortam olarak duvar ve döşeme gibi yapı elemanları sayılabilmektedir. Yapılarda hacim olarak iki boyutlu ortamlara pek fazla rastlanmamaktadır. Duvar ve döşeme gibi iki boyutlu yapı elemanlarında da ses enerjisi geometrik nedenlerle fazla dağılmadan, uzak mesafelere az bir kayıpla gidebilmektedir.

Ses, üç boyutlu ortam olarak, sınırsız ortam açık havada ve sınırlı ortam kapalı hacimlerde küresel ve düzgün dalgalar halinde yayılır. Ses enerjisinin belirli bir doğrultuda ve yönde yayılış şekli bakımından bu tür ortamlara serbest alan adı verilir. Sınırlı ortamlarda ise, ses enerjisi pek çok sayıda yansımaya uğrayacağından, yayılma doğrultusuz ve karmaşıktır. Bu tür ortamlara da yayınık alan adı verilir. Serbest ses alanında ses basınç seviyesi, kaynağa olan uzaklıkla büyük oranda ilişkili olmakla birlikte, yayınık alanda bu ilişki daha düşük seviyedir (Özer, 1979).

2.4.7. Sesin Yansıması

Bir ortamda yayılan ses, karşısına herhangi bir madde çıktığı zaman bu maddeye çarpar, çarpan ses enerjisinin bir kısmı maddeyi geçerken bir kısmı madde tarafından yutulur ve geri kalanı da bilinen yansıma kurallarına göre yansır. Ses enerjisinin geçme, yutulma ve yansıma oranları, maddenin cinsi, boyutları, geometrik şekli ve yüzeyinin durumu ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle sesin yansıması, düzgün ve dağınık yansıma olarak ikiye ayrılabilir.

Düzdüğü Yansıma; yansıtıcı yüzeyin girinti ve çıkıntıları, yüzeye gelen ses dalgalarının dalga boyundan küçükse, yansıma düzdüğüdür. Yani, ışığa benzer şekilde düz ve pürüzsüz bir yüzey üzerine gelen ses dalgası, geliş açısı ile eşit açı yaparak yüzeyden yansımaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Pürüzsüz ve katı bir yüzey üzerinden ses dalgasının yansıması (Ergül, 1998)

Dağınık Yansıma; yansıtıcı yüzeyin düzgünlüklerinin boyutları, yüzeye gelen sesin dalga boyuna eşit veya büyükse yansıma dağınık olmaktadır. Dışbükey bir yüzey, ses ışınlarını dağıtır. Bu tür yüzeyler, bazen stüdyo akustiğinde kullanılan ve "silindirik dağıtıcı" olarak adlandırılan yüzeylere iyi bir örnek teşkil etmektedir. İçbükey yüzeyler ise, sesi odaklayarak, bu şekilde oditoryumlarda ciddi akustik sorunlara neden olabilmektedir.

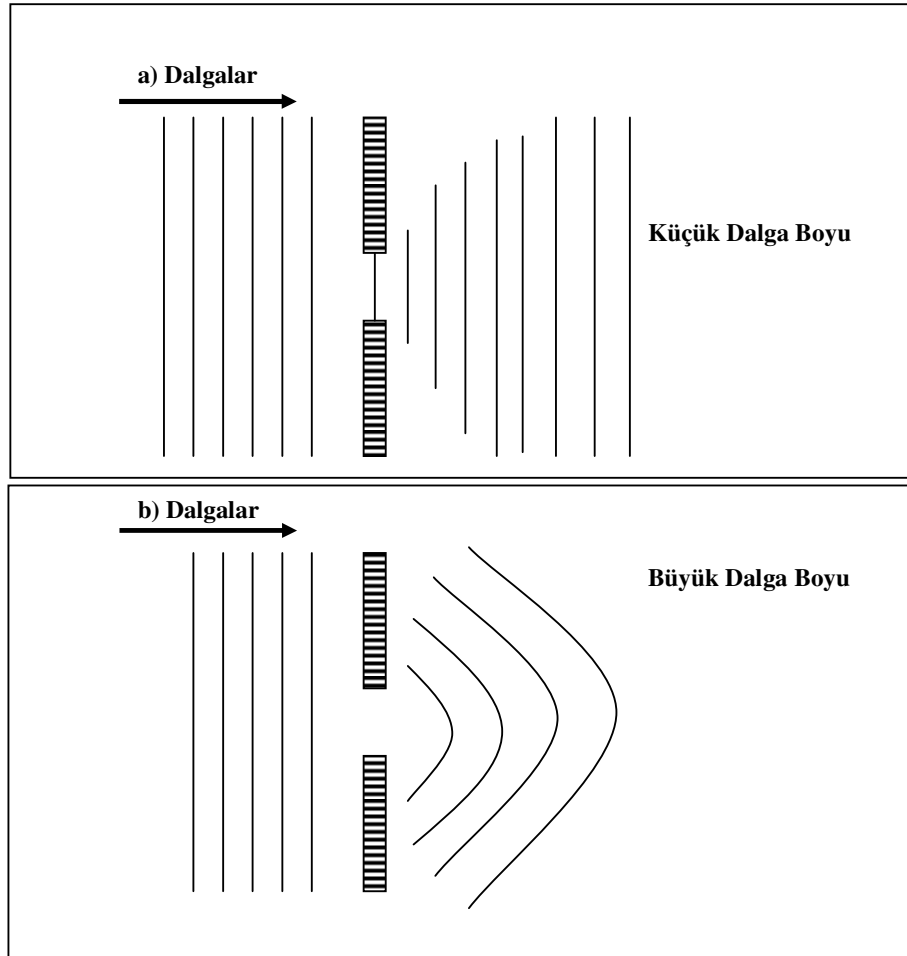
Genel olarak, yansımanın meydana gelebilmesi için, yüzey materyalinin ses dalgalarını emici özellikte olmaması ve yüzeyin boyutlarının, gelen sesin dalga boyundan büyük olması yeterlidir. Pratikte, 1 kHz'deki yansıma % 100 gerçekleşmez. Ses dalgaları, genellikle 1 kHz' den yüksek frekanslarda tam olarak yansıyabilmektedir.

Ses yansımasının insanda duyulanması bazı durumlarda yankı, bazende ses uzaması şeklinde kendini gösterir. İnsanın işitsel refleksi, 1/15 saniyelik bir süreyi kapsar. Bu nedenle, süresi 1/100 saniye olan bir sesi insan kulağı 1/15 saniye olarak algılar. Yankılanma süresi, bir başka deyişle, doğduğu kaynaktan insan kulağına gelişi ve bir cisme çarptıktan sonra tekrar insan kulağına dönüş süresi, saniyenin 1/15'inden büyük olduğundan, farklı şiddette ikinci defa duyulanmaya başlar. Bu süre 1/15 saniye veya daha az ise ses uzaması, 1/10 saniyeden fazla ise yankı adım

alır. Yankının hacim akustiğinde mutlaka önlenmesi gerekirken, ses uzaması ise hacim akustiğinin yararlanması zorunlu olan çok değerli bir unsurdur (Özer, 1979).

2.4.8. Sesin Kırınması

Sesin dalgaboyu engelin boyutlarından küçük olduğunda, yansımanın meydana geldiği yukarıdaki bölümde belirtilmişti. Benzer şekilde ses dalgaboyu, engelin boyutlarından büyük ise kırınma meydana gelir. Şekil 2.16'da, kırınmayı oluşturan koşullar gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Ses dalgalarının kırınması; a) büyük aralık, küçük dalga boyu, b) küçük aralık, büyük dalga boyu (Ergül, 1998)

Sesin kırınması, ses dalgalarının bir engel dolayısıyla yön değiştirmeleri olayıdır. Işıktaki olduğu gibi seste de kırınmanın şartı, bir aralıktan geçme veya bir yüzeyden, yansımada ışınım dalgasının rastladığı aralık, kenar, köşe veya çeşitli engellerin boyutlarının, gelen ışının dalga boyundan küçük olmasıdır. Kırınmanın şekli, engelin boyutları ile dalga boyuna bağlıdır. Küçük bir delikteki ses kırınması olayında delik, küresel bir şekilde yayılan ses dalgalarının merkezi olarak yeni bir ses kaynağı durumuna geçer. Buna göre, bir ışınım kaynağının çevresine yaydığı ışınım dalgaları, yayıldıkları ortam içinde vardıkları her bir noktayı, titreşim süresi ışınım kaynağının titreşim süresiyle aynı olan birer titreşim kaynağı durumuna gelmektedir. Bu ikinci titreşim kaynakları, bulundukları yere göre ilk kaynakla bir faz farkı göstermektedirler.

Kırınma olayı, büyük oranda dalga boyuna bağlıdır. Örneğin, açık duran kapılardan dalga boyu 3-5 cm olan sesler kırınmadan geçerler, yani doğrultularını değiştirmezler. Buna karşılık, dalga boyu 5-10 m olan sesler kırınarak yön değiştirme eğilimine girerler. Bu bakımdan evlerde, banyo veya mutfaktan oturma odasına gelen seslerden alçak frekanslı kalın sesler daha çok duyulmaktadır.

Konuşan bir kimseden çıkan kalın sesler her tarafa yayılırken, ince sesler ise daha çok konuşma doğrultusunda yoğunlaşır. Bu nedenle konuşmacının arkasında kalan kişiler, kelimeleri tam anlamıyla algılayamazlar (Özer, 1979).

2.4.9. Ses Yutulması - Emilmesi

Yapı akustiğinde ses emilmesi ve yutulması, akustik olaylar ve alınacak tedbirler bakımından oldukça önemli bir parametredir. Akustikte her mekanın ve hacmin kendisine göre bir yankısallığı vardır. Bu yankısallık özelliği, o mekanı sınırlandıran yapı elemanlarının ses emme özelliklerine, mekanın düzenine, mekanda bulunan eşya ve kişilere ve mekanın büyüklüğüne doğrudan doğruya bağlıdır.

Bir yüzeye gelen ses enerjisinin yansımayan kısmı yutulmuş sayılır. Yüzeyin yutma, çarpanı α ile simgelendiğinde, gelen sesin %60'ının yansıtılması söz konusuysa, o yüzeyin yutma çarpanı $\alpha=0.40$ 'tır. Açık pencerede ise seste bir yansımaya olmayıp, gelen ses tamamen dış ortama akacağından bu tür açık kısımlar için yutma

arpanı $\alpha=1.00$ 'dir. Gözeneklilik oranı yüksek olan malzemelerde, frekansı yüksek olan ince sesler için bu yutma çarpanı $\alpha=0.90$ civarındadır. Bunun nedeni, bu tür yüzeylere çarpan sesin, gözenekler arasındaki hava moleküllerini titreştirerek, ses enerjisinin büyük bir kısmını ısı enerjisine dönüştürmesidir. Gözeneklerin küçük ve sık dağılımlı olması, titreşim hareketini olumlu yönde etkileyeceğinden, yutulma oranı daha fazla olmaktadır. Ses dalgası malzeme bünyesinde ne kadar derinliğe nüfuz ederse, yutulan enerjide o kadar fazla olmaktadır. Çeşitli malzemelerin ses emme (yutuculuk) değerleri izelge 2.14 'de sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.14. Çeşitli malzemelerin ses yutuculuk değerleri (Gündüz vd, 1998a)

Malzeme	α (500 Hz)
Beton, sıva, cam	0.02
Ahşap	0.10
Kumaş, halı	0.30
Cam lifi,şilte	0.70
Cam	0.03
Sıva	0.02
Perde	0.23
Sahne boşluğu	0.50
Açık pencere, boşluk	1.00

İnsan kulağının duyabildiği minimum basınç değişim miktarı olan 20 mikropaskal düzeyi, 0 desibel (0 dB) olarak tanımlanır. Basınç değişim miktarındaki her 10 kat artış, desibel değerinde 20 birim yükselme anlamına gelir. Örneğin, 80 dB şiddetindeki sesi 60 dB'e düşüren ses izolasyon malzemesi, sesin onda birini geçirirken, 80 dB'den 40 dB'e düşüren bir başka malzeme, aynı sesin yüzde birini geçirir. Bir başka değişle, sesin yüzde 99' unu soğurur. Ses soğurma değerleri, ses şiddetlerine bağımlı olarak izelge 2.15'de örneklendirilmiştir.

Çizelge 2.15. Ses şiddetindeki düşüşe bağımlı olarak malzemelerin ses soğurma yüzdeleri (Uğur 2001).

Akustik ortam öncesi ses şiddeti (dB)	Akustik ortam sonrası ses şiddeti (dB)	Ses şiddeti düşüşü (dB)	Ses soğurma Oranı (%)
40	36	4	30
	34	6	40
	32	8	55
60	56	4	25
	54	6	35
	52	8	45
80	74	6	35
	72	8	45
	70	10	55
100	74	6	40
	72	8	50
	70	10	60

2.4.10. Ses Geçirilmesi

Ses, bir iç ya da dış mekandan, bir iç ya da dış mekana dört ayrı yoldan geçer. Bunlar, açıklıklardan geçme, iletim ile geçme, cidar titreşimi ile geçme ve dolaylı geçme olarak sayılabilmektedir. Bu geçiş türlerinden en önemlisi, cidar titreşimi ile gerçekleşen geçiş türüdür. Döşeme, duvar, cam ya da herhangi bir cidarın bir yanından oluşan ses titreşimleri, hava basıncında küçük titreşimlere neden olur ve bu değişimler çok küçük titreşimlerle cidarın bütününe titreştirir.

Böylece titreşen cidar, bir hoparlör membranı gibi diğer yandaki havayı titreştirerek ses geçişinin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu geçiş biçimindeki azalma, çok büyük oranda cidarın ağırlığına (kütlesine), yani akustik basınçta meydana gelen değişimlere kütlesi ile karşı koymasına bağlıdır. Buna Berger'in Kütle yasası denilmektedir (Knudsen ve Harris, 1988). Bu yasaya göre, bölmenin m^2 ağırlığının artması ile ses geçiş kaybında logaritmik olarak değişimler gözlenmekte, yani ses yalıtımında çok büyük artışlar sağlamamaktadır. Bundan dolayı önemli ses yalıtımları istendiğinde, çift cidar uygulamasına gidilmelidir. Örneğin, cidarın m^2 ağırlığının iki katına çıkarılması ile, ses yalıtımında ancak 4 dB 'lik bir artış sağlanabilmektedir. Buna karşılık, birbirinden yeterince uzaklıkta bulunan ve herbiri

100 kg/m² ağırlığında olan iki cidar, seste 2x41=82 dB'lik bir azalma sağlayabilecektir. Fakat bu sonuç, iki cidar arasındaki hava katmanının kalınlığı ile ilişkili olan bir parametredir. Özellikle alçak frekanslar için, daha büyük kütleler ve daha geniş hava katmanlarının gerekliliği kaçınılmazdır.

2.5. Ses Yalıtımı ve Gürültü Denetimi

İnsanların yaşadığı belirli ölçülerde sınırlandırılmış kapalı mekanlarda, akustik açıdan belirli bir konfor düzeyine ulaşabilmek için, yapılarda kullanılan malzeme ve bu yapıların düzeni ile ilgili olarak iki önemli etken vardır. Bunlardan birincisi, sesin yansımaları veya yankı, diğeri ise ses iletimi veya bunun tersi ses yalıtımıdır. Akustik, sesin meydana gelişi, yayılması, duyulması, duyulma alanındaki etkinliği ve diğer özellikleri ile ilgili bir bilim dalı olduğuna göre, etkin bir ses yalıtımı ve akustik konforun sağlanabilmesi için, kullanımı gerekli olan doğal yapı malzemelerinin ses absorpsiyon özellikleri tespit edilmeli ve değişik frekans bölgelerinde ses yalıtımlarının artırılması amacıyla, optimum yankılanma süresini de (reverberation time) sağlayacak şekilde, ses şiddeti seviyesinin azaltılmasına yönelik malzeme yapı ve bileşenlerinin belirlenerek, sesin doğal yapı elemanları ile iletiminde etkili olan faktörler üzerinde detay incelemeler yapılmalıdır.

Ses yalıtımı, duvarlar, tavan, zemin ve açıklıklar boyunca iletilen sesin kontrol edilebilmesi anlamına gelmektedir. Ses, hava doğuşlu veya yapı doğuşlu olarak oluşan vibrasyonun etkisiyle yapı içerisinde iletilir.

Hava doğuşlu ses, yapıların duvar ve döşemeleri boyunca iletilmektedir. Hava doğuşlu ses iletiminin kontrol edilebilmesi için şu yöntemler uygulanmalıdır:

- Vibrasyon etkisiyle oluşan ses iletim yüzdesini azaltan yapı elemanları seçilmelidir.
- Doğrudan hava geçiş yörüngelerinin kapatılması gereklidir.
- Yapı içerisinde bulunan serbest hava hacminde ses absorbe eden malzemeler kullanılması gereklidir.

Genellikle, hacimler arasında uygun bir ses yalıtımının sağlanabilmesi için bu üç yöntemin kombinasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu durumda temel amaç, iletilen gürültü seviyesinin, alıcı odasında bulunan arka plan gürültüsünden daha düşük bir seviyeye düşürülmesidir. Duvar ve döşemeler boyunca iletilen sesin şiddeti, alıcı odasındaki arka plan gürültüsünden daha düşük bir seviyedeysse, arka plan gürültüsünün maskeleye etkisinden dolayı duyulamayacak seviyededir (Knudsen ve Harris, 1988).

2.5.1. Doğrudan Hava Yoluyla İletim

Hava doğuşlu ses, hava geçişlerinin bulunduğu tüm kısımlardan iletilmektedir. Hava doğuşlu sese karşı uygun bir yalıtımın sağlanabilmesi için, doğrudan hava geçişlerinin bulunduğu tüm kısımların kapatılması gereklidir. Beton duvarların akustik açıdan niteliğini arttırabilmek için, öncelikle hava köprüleri kapatılarak hava geçirmez bir duruma getirilmelidir. Bölme elemanlarının kötü işçilikten kaynaklanan kenar açıklıkları ve kılcal çatlaklar bile, duvarın akustik niteliğine büyük ölçüde zarar veren unsurlardır.

Duvarın yapısında bulunan oldukça fazla sayıdaki harç eklemlerinden ve buna bağlı olarak gelişen muhtemel akustik zayıflamalardan dolayı, tüm tuğla duvarların yüzeyleri, istenen akustik niteliğin sağlanabilmesi ve bu alanlar boyunca oluşabilecek mevcut iletim yörüngesinin elimine edilebilmesi için sıva ile kapatılması gereklidir. Yüzey üzerine uygulanan polyetilen film tabakası, buhar diffüzyonunu kesmekle birlikte, yüzeyin akustik iyileşmesini sağlamakta yetersiz kalmaktadır (Moore, 1978).

2.5.2. Vibrasyonun Düşürülmesi

Belirli bir kütlesi olan ve yüzeyleri birbirinden etkin olarak ayrılmış süreksiz yapılarda, duvarların vibrasyon hareketlerini azaltmak suretiyle, hava doğuşlu sesin iletimi belirli ölçülerde azaltılabilmektedir. Beton duvar gibi masif yapılar, hafif malzemeler kullanılarak elde edilen hafif duvarlara nazaran daha düşük bir

vibrasyona sahiptir. Bununla birlikte, yapı elemanının kütlesinin iki katına çıkarılması, genellikle ses iletiminde 5 dB'lik bir azalma sağlamaktadır. Bu nedenle, ses yalıtım etkinliğinin ekonomik limiti, kütlenin artırılması ile elde edilebilmektedir.

Elastik olarak etkin bir şekilde birbirinden ayrılmış süreksiz yapılarda duvarın kaynak tarafındaki yüzeyine çarpan ses, kuvvetli bir vibrasyon sağlayamamaktadır. Duvar sistemleri için süreksizlik, yüzeylerin birbirine elastik olarak bağlanması suretiyle, tavan ve taban döşemeleri için süreksizlik ise, yüzer taban sisteminin kullanımı ile sağlanabilmektedir.

2.5.2.1. Aralarında Rijit Bağlantı Olan Çift Duvarlar

Bu tip elemanlarda konstrüksiyon amacıyla plaklar arasında çeşitli tipte mekanik, bağlantılar vardır. Bu nedenle plaklar birbirlerinden tamamen yalıtılmamış durumdadırlar. Kaynak tarafında bulunan plak, havadaki ses ile titreşime geçerek ses enerjisini, gerek iki plak arasındaki boşluğa ve gerekse mekanik bağlantılar yoluyla ikinci plağa geçirmektedir. İkinci plak, hacime yaydığı ses enerjisini, bu iki yoldan aldığından, elemanın sesi iletmesi, karmaşık bir durum arz etmektedir. Bu tip elemanlarda, ses yalıtımı, her bir plağın yalıtım değerinin yanısıra, aradaki mekanik bağlantının tipine ve adedine bağlı olduğundan bir genelleme yapılamamaktadır. Pratik yapı konstrüksiyonu uygulamalarında özellikle iki levha arasında bırakılan herhangi bir türdeki bağlantı elemanları, bölme elemanlarının tüm yüzeyine yayılmış durumda ise, bu titreşimlerin bir levhadan diğerine iletme etkinliği daha da artmaktadır. Bunun yanında, yalıtım değerini düşüren boşluk rezonansı da önemli faktörlerden birisidir. Bu nedenle, boşluk içerisinde ses emici bir malzeme kullanılması veya boşluğun iç yüzeylerinin ses emici türde olması belirli oranda bir çözüm niteliği taşımaktadır.

Bu nedenlerle, yalıtım kavramı dahilinde, yeni tür boşluk tasarımlarının yalıtım üzerindeki etkileri oldukça karmaşık olmakla birlikte, üzerinde hassasiyetle durulması gereken bir olgudur. Tasarımcı gerçekçi test şekilleri oluşturarak, frekansa bağımlı bir şekilde, dolu konstrüksiyona oranla boşluğun sağladığı iyileştirmeyi

ortaya koymalıdır. Bununla birlikte, düşük frekanslarda elde edilen yalıtımda, yeterli bir kütlenin ve uygun boşluk genişliğinin oldukça büyük bir önemi vardır. Ayrıca, boşluk içerisindeki absorbant malzemenin rezonans giderici bir etkisi vardır ve mümkünse boşluğun köprü vazifesi görmesi engellenmelidir.

2.5.2.2. Aralarında Rijit Bağlantı Bulunmayan Çift Duvarlar

Bu tip elemanlarda plaklar arasında hiçbir rijit bağlantı olmayıp, bunlar birbirinden tamamen yalıtılmıştır. Kaynak tarafında bulunan plak, kaynaktan gelen ses dalgaları ile titreşime geçerek, aradaki hava boşluğuna ses enerjisi yayar. İkinci plak ise aradaki boşlukta oluşan ses dalgalarının etkisi ile titreşime geçer.

Titreşim ve darbe tesirli seslere karşı alınması gereken önlemler, günlük yaşamımızın geniş bir parçası olup, gürültü konumunun temel öğelerinden birini oluşturmaktadır. Bunlarla ilgili önlemler, özellikle evlerde titreşimi azaltacak şekilde monte edilmiş banyo küvetleri, boru tesisatının darbe sesine karşı yalıtılması, sanayide ise titreşimli makinelerin ve teçhizatlarının ses yalıtımlı elastik döşemelere oturtulmasına kadar çok geniş bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Titreşim yalıtımı ile darbe tesirli ses yalıtımı aynı amaca yönelik olmalarına rağmen, sadece spektral amaç doğrultusunda, birbirinden farklılık göstermektedirler. Titreşim yalıtımları, 50 Hz'den küçük olan alçak frekans bölgesinde makinenin meydana getirdiği mekanik titreşimin kendisini ve çevreye iletilmesini azaltacak önlemleri kapsar. Darbe tesirli ses yalıtımı ise, akustik önemi büyük olan frekans bölgelerindeki (16-16.000 Hz arası) seslerin insanlara olan etkisini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu yalıtım, yapı elemanlarının kendisinin içinde ve komşu elemanlar yardımıyla sesin iletilmesini önlemek ve en sonunda dinamik olarak uyarılan malzemelerdeki ses ışınlamını önceden belirlenmiş sınırlarda tutmak için gereklidir.

Titreşim yalıtımı ile darbe tesirli ses yalıtımını pratik olarak kontrol altına almak için birinci aşamada titreşim kaynağı durumundaki makine, boru tesisatı gibi cihazların elastik elemanlarla veya yumuşak ara katmanlarla taşıyıcı konstrüksiyona

tespit edilmesi gerekmektedir. Elastik tespit ile uyarının çevreye olan yayılımını azaltmak yoluyla elde edilen iyileşme oldukça dikkat çekici seviyededir.

2.5.3. Sesin Hacim İçerisinde Absorbe Edilmesi

Levha duvarların, esnek yalıtım elemanları ile etkin bir şekilde ayrılması durumunda, arada bulunan hava hacminin sağladığı absorpsiyon, malzemeye 10 dB'lik bir yalıtım performansı kazandırmaktadır.

Yapı akustiğinde ses emilmesi ve yutulması (sönümlenme), yapılacak akustik düzenlemeler ve alınacak tedbirler bakımından son derece önemli bir etkiye sahiptir. Akustikte her mekanın ve hacmin, belirli oranda bir yankısallığa sahip olduğu düşünüldüğünde, bu yankısallık özelliğinin, o mekanı sınırlandıran yapı elemanlarının ses emme özelliklerine, mekanın düzenine, büyüklüğüne ve mekanda bulunan eşya ve kişiler ile doğrudan ilişkili olmaktadır.

Bir yüzeye gelen ses enerjisinin yansımayan kısmı yutulmuş sayılır. Yüzeyin yutma çarpanı α ile simgelendiğinde, gelen sesin %60'ının yansıtılması söz konusuysa, o yüzeyin yutma çarpanı $\alpha=0.40$ 'tır. Örneğin açık duran pencereden geçen seste bir yansıma olmayıp, gelen ses tamamen dış ortama akacağından, bu tür açık kısımlar için yutma çarpanı $\alpha=1.0$ 'dir. Elyafli ve gözenekli malzemelerde, frekansı yüksek olan ince sesler için bu yutma çarpanı $\alpha=0.90$ civarındadır. Bunun nedeni, bu tür malzemelerle kaplı yüzeylere çarpan sesin, gözeneklerde bulunan hava moleküllerini ve ince lifleri titreştirerek, büyük oranda sönümlenmesi ve taşıdığı enerjinin büyük bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesidir. Liflerin sık ve ince olması, gözeneklerin ise yuvarlak formda ve düzgün dağılımı, titreşim ve buna bağlı olarak sönümlenme olgusunu olumlu yönde etkileyeceğinden, yutulma oranı daha fazla olacaktır. Ayrıca ses dalgası, malzeme bünyesinde ne kadar derinliğe nüfuz ederse, yutulan enerjinin büyüklüğü de o oranda artmaktadır.

Yapı malzemelerinin ses absorpsiyon özelliklerinin bilinmesi, konferans ve konser salonlarının akustik bakımdan düzenlenmesi ve fabrika, ofis, konut gibi yerlerde havadan yayılan sesin kontrolü bakımından önemlidir. Bir yapı malzemesinin ses absorpsiyon özelliği ile, ses yalıtım özelliği birbirinden oldukça

farklı kavramlardır. Örneğin, havada yayılan bir sesin, duvarın bir yüzeyindeki enerjisi, duvardan geçerken arzu edilen seviyeye indirilmişse, bu duvarın amaca uygun bir ses yalıtım özelliği var demektir. Diğer taraftan, ses absorpsiyonu özelliği, ses enerjisinin çarptığı duvar yüzeylerinin gösterdiği yansıtma kabiliyetine bağlıdır. Bu açıklamaya göre, ses absorpsiyonu yüksek olan bir malzeme, aynı zamanda ses yalıtım malzemesi olmayabilir. Örneğin açık bir pencere %100 ses absorpsiyonu sağladığı halde ses yalıtımı yoktur yani sesi %100 nakleder.

Bir yapı elemanının ses yalıtım derecesi ve standart ses basıncı seviyeleri farkı, tamamıyla frekansa bağlı olarak değişken değerlerdir. Yapı akustiğinde ilgilenilmesi gereken 100 Hz ile 3150 Hz arası frekans alanı özellikle toplu ikamet edilen bölgelerde yaygın olarak rastlanan rahatsız edici gürültülerde en büyük öneme sahip frekans alanıdır. 100 Hz 'in altında kalan frekans dilimi, genellikle ihmal edilebilir seviyededir. Çünkü, bu dilim dahilinde kulak duyarlılığı önemli derecede azaldığı gibi, alçak frekanslarda ses yalıtım derecesinin tespiti için uygulanan ölçüm yöntemlerinin kesinlik ve doğruluk derecesi azalmaktadır (Özer, 1979).

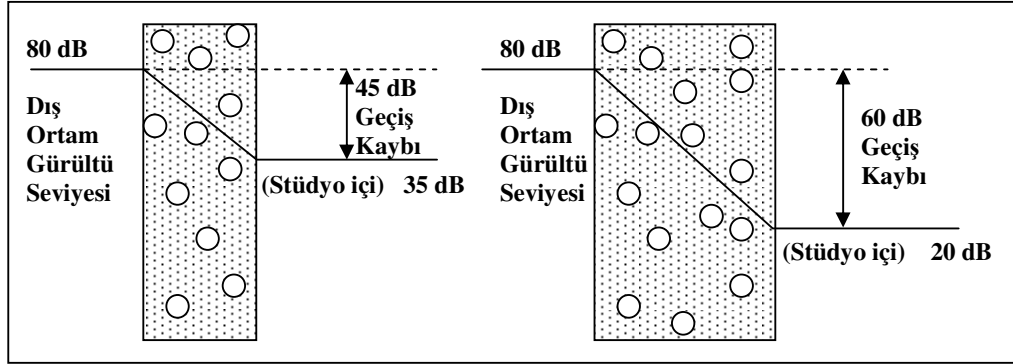
Genel olarak, uygun ses yalıtımının ve buna bağlı olarak akustik ortam şartlarının sağlanması için gerekli olan yöntem ve uygulamalar dizini, temelde yapı elemanının fiziksel özellikleri ve sesin akustik özellikleri ile doğrudan ilişkili olan bir parametredir. Günümüzde gürültü sorunu, toplum yaşantısı ve teknolojiye meydana gelen son gelişmeler ve aşırı şehirleşme nedeniyle her geçen gün önemini arttırmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak, binalarda gürültü kontrolü önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır.

Bir mekan içerisinde oluşan gürültünün azaltılmasına yönelik, 4 temel yaklaşım mevcuttur:

- Odanın sessiz bir alanda inşa edilmesi,
- Oda içerisinde bulunan ses şiddeti seviyesinin (ses enerjisini) azaltılması,
- Dışarıda bulunan ses kaynağından çıkan sesin azaltılması,
- Gürültü kaynağı ve oda arasında yalıtım sağlayan bir bariyerin tesis edilmesi.

İnsanların yaşadığı kapalı mekanların cadde gürültüsünden uzak tutulması her zaman zor olmuştur. Bu tür yerleşim yerlerinin, gürültülü caddeler ve diğer ses kaynakları ile olan mesafesinin 2 katına çıkarılması, hava yoluyla iletilen ses seviyesinin azaltılmasında yaklaşık 6 dB'lik bir kazanç sağlayacaktır. Bunun yanında, çalı ve ağaçların cadde gürültüsüne karşı 4 dB'lik bir azalma sağlayan kalkanlar şeklinde düşünülmesi mümkündür. Ayrıca bir oda içerisinde bulunan ses seviyesinin, ses absorbe eden malzemeler kullanılarak belirli bir seviyeye indirilebilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin bir stüdyo içerisinde ses seviye ölçer ile kaydedilen 45 dB'lik ses seviyesi, duvarların yüksek oranda ses absorbe eden malzemelerle kaplanması durumunda, 40 dB'e kadar azalım sağlayabilmektedir (Moore, 1978).

Buna karşın oda içerisindeki ses şiddeti seviyesinin bu yöntemle önemli derecede azaltılması büyük olasılıkla ortamdaki yankıma süresinin çok kısa oluşu gibi bir problemi de beraberinde getirmektedir. Bu tür durumlarda, yankıma süresinin kontrolü birinci planda dikkate alınması gereken bir unsurdur. Çünkü yankıma süresinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için, kullanılan absorbant malzemelerin oda içerisindeki ses şiddeti seviyesinin azaltılmasında kayda değer bir azalma sağlayamamasından dolayı, bu amaç doğrultusunda başka bir yöntemin geçerliliği araştırılmalıdır. Şayet dışarıda bulunan ses kaynağı erişilebilir nitelikte ise, bu ses seviyesinin, kaynağında düşürülmesi en mantıksal ve düşük maliyetli yaklaşım olabilecektir. Caddelerden gelen trafik gürültüsü ile, uçakların sebep olduğu gürültünün kontrolümüz dışında gelişmesine karşın, bir havalandırma fanının neden olduğu gürültü, katlanabilir çerçeve monte edilmesiyle veya basit bir elastik katman kullanılarak metal hava kanalından ayrılması suretiyle, 20 dB kadar düşürülebilmektedir. Şekil 2.17'de, bir duvarın sahip olması gereken ses geçiş kaybı büyüklüğü ve duvar boyunca iletilen sesin yüzeye gelen ses şiddeti seviyesine oranla nasıl bir değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 2.17. Dış ortam gürültü seviyesiyle, içeride istenen ses seviyesi arasındaki fark, duvarın sahip olması gereken ses geçiş kaybı değerini belirler (Everest, 1994)

Şekilde, 80 dB büyüklüğündeki dış ortam gürültü seviyesinin, 45 dB'lik ses geçiş kaybına sahip olan bir duvar tarafından 35 dB'ye düşürülmesi gösterilmiştir. Ses geçiş kaybı 60 dB olan bir başka duvar ise, aynı ses şiddeti seviyesini, iletim yörüngesinde bir değişiklik olmadığı varsayıldığında, 20 dB'lik bir büyüklüğe düşürmektedir.

Bu durumda, kesitte bulunan duvar, sesi zayıflatılmış veya bir başka deyişle, iç ortamı dış ortam gürültüsünden yalıtılmış olmaktadır. Sese karşı duyarlı bölgelerde, duvar, zemin ve tavan döşemelerinin dış ortam gürültüsüne karşı istenilen ses iletim kaybı değerlerine sahip olması ve bu seslerin oda içerisinde önemszenmeyecek seviyelere düşürebilmeleri gerekmektedir (Everest, 1994).

Bölme elemanlarının ses yalıtımlarını belirleyen kütle kanunu gereği, yalıtım değerleri alçak frekanslarda düşük olmakta, hafif bölme elemanlarında ise, kütlelerinin düşük olmasından dolayı düşük olan ses yalıtımları alçak frekanslarda tam anlamıyla sorun yaratmaktadır. Bunun yanı sıra, yapı sektöründe gerek parasal ve gerekse tasarım nedenleriyle hafif bölme elemanlarının kullanılmasına doğru olan eğilim artmaktadır.

Sonuç olarak, yapı tekniği ve bina tasarımında kısaca "Gürültü Kontrolü" olarak tanımlanan yeni bir kavram doğmuş olup, gürültü kontrolü, tanıtımsal bir ölçekle Çizelge 2.16'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.16. Gürültü kontrolü (Suri, 1966)

Gürültü Kaynağında Kontrol	Çevrede Kontrol	Kullanıcıda Kontrol
Yapısal Tasarım	Kent Planlaması	Kullanıcı Eğitimi
Montaj(Yapı ile ilişkisi)	Yerleşim Birimi Planlaması	Etkilenme Süresi Kontrolü
İşletme ve Çalıştırma	Yapı Gruplarının Tasarımı	Maskeleye
Bakım Onarım	Yapının Projelendirilmesi	Kişisel Korunma
Aktif Kontrol Sistemleri	Alıcı ve Kaynak İç Tasarımı	
	Yapı Elemanı Tasarımı	
	Bileşen ve Malzeme Seçimi	
	Donatım Tasarım ve Montajı	

Gürültü kavramını oluşturan ana konulardan birisi de, yapı elemanlarının sahip olduğu yalıtım değeri üzerinde etkili olan fiziksel ve akustik özellikleridir. Elemanların ses geçiş kayıplarını etkileyen etmenler Çizelge 2.17'de verilmiştir.

Ses geçiş kayıplarının hesaplanması için, günümüzde SEA (Statistical Energy Analysis), BE (Boundary Element Method) ve FE (Finite Element Method) gibi kuramsal yöntemler de uygulanmaktadır. Ayrıca elemanın kenarlarında, ilişkili olduğu diğer yapı elemanları ile bağlantı biçimlerine uygun olarak seslerin yayılması anlamına gelen dolaylı iletimi (flanking transmission) de hesaba katan ve yapı içindeki elemanın gerçek performansını hesaplayan yöntemler de bulunmaktadır.

Ses geçirimsizliği, alanda ve özel olarak tasarlanmış akustik laboratuvarlarda ölçülerek analiz edilebilmektedir. Bu konuda, ISO (Uluslararası Standart Organizasyonu) 140'da öngörülen ve ses basınç düzeylerine dayalı ölçüm yöntemleri ve IEC (Uluslararası Elektronik Komitesi) 651-225'te öngörülen ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Son yıllarda geliştirilen ses şiddeti ölçüm teknikleri, alıcı odasında ses basınç ölçümleri yerine, elemanın arkasında kalan yüzeyi tarayarak, yüzeyin her noktasından iletilen ses şiddetinin ölçülmesi ve daha sonra kaynak odası düzeyleri yardımıyla ses geçiş kayıplarını hesaplanabilmesini olanaklı kılmaktadır.

Çizelge 2.17. Yapı elemanlarının fiziksel ve akustik özellikleri (Gündüz vd, 1998a)

ELEMANIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	AKUSTİK ÖZELLİKLERİ
HAVA DOĞUŞLU SES İLETİMİ	GELEN SESİN ÖZELLİKLERİ Elemana gelen sesin şiddeti ve basıncı Sesin elemana geliş (çarpış) açısı Frekansı-dalga boyu
TEK TARAFLI ELEMANLAR	ELEMANIN AKUSTİK DAVRANIŞI
Elemanın Yoğunluğu Elemanın Boyutları (kalınlık, en ve boy) ve alanı Eleman kenarlarının tespit biçimi (diğer yapı elemanları ile birleşim durumu) Elemanın üzerinde çatlak, yarık, delikler ve boyutları Elemanın yapıldığı malzemenin mekanik özellikleri: Eğilme sertliği-Poisson oranı-Kesme modülü-Young modülü-Empedansı-Akış mukavemeti Porozite vd. Eleman üzerindeki bileşenler varsa alanları ve bileşenleri ayrı ayrı yukarıda belirtilen özellikleri	Elemanın kritik frekansı Elemanın rezonans modları Toplam kayıp faktörü:İç kayıp faktörü ve bağlantı ve bağlantı faktörü Yayılma katsayısı Uzunluğuna ve enine dalga yayılma hızları Elemanın ses geçiş kaybı karakteristiği Alıcı odasının akustik özellikleri
ÇOK TABAKALI ELEMANLAR	
Her tabaka için yukarıda belirtilen özellikler Boşluk genişliği Boşlukta bulunan ses yutucu malzeme türü Tabakaların bağlantı tipi (esnek, rijit, noktasal, çizgisel) ve ses köprüsü sayısı Eleman üzerindeki bileşenler varsa her bileşen için yukarıda belirtilen özellikler	Her tabaka için yukarıdaki özelliklere ek olarak; Boşluk rezonans modları Boşlukta yutucu malzeme varsa ses yutuculuğu Elemanın toplam ses kaybı karakteristiği
DARBE İLETİMİ	
Yüzey yoğunluğu Eleman boyutları ve yüzey alanı Malzemenin empedansı Eleman birleşim noktalarında (köşelerde) bağlantı sayısı ve her yüzey için yukarıda belirtilen özellikler Eğilme serliği İletim yolunda kesit değişimleri İletim yolunda esnek malzeme özellikleri	Yukarıda belirtilen tüm özellikler

Yapı elemanlarının Çizelge 2.17'de belirtilen özelliklerine bağlı olarak, ses geçiş kaybı eğrileri de belirli oranda farklılaşmaktadır (Gündüz vd, 1998a).

2.6. Yalıtım Ölçümleri

Çeşitli yapı ve gürültü koşullarında bir elemanın sahip olması istenen ses geçirimsizlik değerleri, yalıtım ölçütü olarak tanımlanabilmektedir. Ekonomik yönden, ne büyüklükte bir yalıtımın gerektiği doğru olarak saptanmalıdır. Yalıtımı tasarlarırken, insanların yapıların içinde günlük yaşamlarını sağlıklı ve konforlu, olarak sürdürmeleri ve çalışma yaşamında iş performansları yönünden olumsuz bir etkilenmeye maruz kalmamaları için bir takım kriterlerin (ölçütlerin) ortaya konulmuş olması gerekmektedir. Sayısal olarak ortaya konulması gerekli ölçütler iki grupta toplanabilmektedir:

- Dış çevrede ve yapı içinde kullanılan hacimlerde kabul edilebilecek en yüksek gürültü düzeyleri,
- Çeşitli fiziksel, çevre ve yapı koşullarında belirli yapı elemanları için doğrudan öngörölmüş yalıtım değerleri,

Yapı akustiğı tedbirlerinde ilk etapta amaçlanan, insanların yaşadığı kapalı mekanlarda, gürültü olarak tanımlanan düzensiz yapılı, farklı frekans bileşenlerine sahip ve zamana göre değişken bir yapı gösteren seslerin kontrolü ve insan sağlığı açısından en optimal seviyeye indirilmesidir. Gürültü kaynaklarının ses çıkışı tanıtım değerlerinin düşürölmesi, örneğın gürültüye sebep olan makine ve tesislerin bu açıdan olumlu bir teknoloji ve konstrüksiyon esas alınarak planlanması olayına sesten korunmanın aktif tedbirleri denir. Bunlar, gürültü ile mücadelede ekonomik açıdan en elverişli ve en ucuz yoldur. Bir makineden alınan sesten korunma aktif tedbirleri, gürültü varışının arzu edilen değerlerine ulaşmasını sağlayamadan belirli bir değere erişmişlerse, ekonomik veya teknik sebeplerden dolayı, sesin iletilme yolu üzerinde sesten pasif olarak korunma tedbirleri düşünölmelidir (Özer, 1979).

Şehircilikte akustik sorunların ele alınışında en önemli ilke, bir yanda gürültü kaynaklarının, diğer yanda ise sessizlik ihtiyaç ve talebindeki yapıların bir araya toplanması ve gürültü kaynakları ile sessiz bölgelerin mahalli ayırımıdır. Sessiz bölgelerin kapsamına, ikamet edilen mesken alanları ve bunları ilgilendiren tesis ve kurumlar, özellikle dinlenme ve tedavi bölgeleri, hastane ve benzeri kuruluşların

Çevreleri girmektedir. Buna karşılık gürültülü bölgeler, sanayi bölgeleri, tren istasyonları, otobüs garları, liman tesisleri ve havaalanları gibi gürültülü trafik merkezleridir. Bu türden aşırı gürültülü bölgelerin sessiz bölgelerden ayrı tutulması gerekmektedir. Gürültülü ve sessiz bölgelerin ayrılmasında, iki bölge arasını bir sınırla belirlemek yeterli ve mümkün olmamaktadır. Mesken bölgesinin sınıra yakın veya bitişik olan noktaları gürültü ile doğrudan karşı karşıya kalırlar. Bu ara kısımda hem daha düşük gürültü yoğunluğuna sahip, hem de fazlaca gürültüden korunma talebi olmayan tarafsız bölgeler yerleştirilmelidir. Bu tür bölgeler olarak az gürültü yayınlayan sanayii kuruluşları, bürolar, işhanları, garajlar, park yerleri, spor alanları ve salonları sayılabilmektedir.

Araştırmalar, trafiğin genellikle en rahatsız edici gürültü kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Ana trafik yollarında gürültü kaynağını mümkün olduğunca kontrol altında tutmak, örneğin düzgün cadde satırları kullanmak, elik konstrüksiyonlu köprüler yerine, betonarme köprüler kullanmak, mümkün olan yerlerde trafik akımına mesken yapılarından yeterince uzağa aktarmak, bu mümkün olmadığı zaman ise, trafik şeridini derin bir yatak içinden geçirmek veya tek ya da çift yandan koruyucu duvar veya tmseklele siperlemek bir çözüm yolu teşkil edebilmektedir.

3. BETON ve BİMSBLOK

Bu bölümde, betonu ve bimsbloğu oluşturan malzemelerin neler olduğu ve bu malzemelerin özellikleri hakkında bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Beton Meydana Getiren Malzemeler

Beton; su, çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinde kullanılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Katkı maddeleri betona ekstra özellikler kazandırmak istendiği zaman konulan ek kimyasal malzemelerdir (Neville, 1995, Atış vd, 2000, Şimşek, 2004).

3.1.1. Su

Çimento ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Su, beton yapımında üç değişik amaca hizmet etmek için kullanılmaktadır. Çimento ve agrega ile birlikte beton karılmasında, “karışım suyu olarak”, yerleştirilen taze betonun yüzeyine uygulanan “bakım ya da kür suyu” olarak ve betonda kullanılacak agregaların temizlenmesi adına, “yıkama suyu” olarak adlandırılır. Bunlardan en önemlisi karışım suyudur.

Karışım suyu, betonu oluşturan malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyu iki önemli ödevi yerine getirmektedir: Birincisi, çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak, malzemelerin birbiriyle daha kolay karıştırılabilmesini sağlar. Ayrıca yerleştirilip sıkıştırılabilmesini kısacası “işlenebilme” yi sağlar. Toz halindeki çimento taneleri ile birleşerek hidrasyon adı verilen kimyasal reaksiyonların başlamasını sağlar (Atış vd, 2000).

Literatürlerde, karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak geçer, (Neville 1995). Beton yapımında karışım suyu olarak kullanılacak suyun, temiz olması, içerisinde taze ve sertleşmiş beton özelliklerine zararlı etki yapabilecek miktarda kil, şilt, organik madde, asit, klorür, sülfat, yağ ve endüstri atıkları gibi yabancı madde bulundurmamalıdır (Erdoğan, 1995).

3.1.2. Bağlayıcı Maddeler

Betonu oluşturan ana malzemeleri birlikte tutmaya yarayan hammaddelere bağlayıcı maddeler denmektedir. Üretim açısından kolay oluşu, yüksek bağlayıcılık özellik göstermesi sebepleriyle genellikle bağlayıcı malzeme olarak Çimento denilen killi ve kalkerli hammaddelerin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle oluşan yapı malzemeleri kullanılmaktadır (Şimşek, 2004).

3.1.2.1. Çimento

Çimento, su ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Çimento ve su temas ettiği durumlarda, çimento hamuru denilen yumuşak, plastik bir karışım ortaya çıkar. Çimento ve su birleştiği andan itibaren ekzotermik, yani ısıveren türden reaksiyonlar başlamaktadır. Bu reaksiyonların devam etmesi koşulu da, plastik durumdaki çimento hamuru giderek sertleşir. Dayanımı artan bir yapıya kavuşur. Çimento hamurunun başlangıçta gösterdiği plastik özellik nedeniyle, taze beton da plastiklik özellik göstermektedir. Bu özellik sayesinde, taze betonu karıştırmak, kalıplara taşıyıp yerleştirmek ve sıkıştırmak kısaca işlenebilirliği kolaylıkla mümkün olabilmektedir. Çimento hamurunun zamanla sertleşme özelliğinden dolayıdır ki, betonda da zamanla sertleşme ve dayanım kazanma oluşur, istenilen şekilde sert bir "suni taş" elde edilmektedir (Erdoğan,1995).

3.1.2.1.(1) Çimentonun Üretilmesi

Çimento, killi ve kalkerli hammaddelerin, yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle oluşan klinkerin, az miktarda (%3-%6 oranında) alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen bağlayıcı özelliğe sahip malzemedir. Pişirme işlemi, döner fırın adı verilen, içi boş ve kendi eksenini etrafında dönebilen, yatay yerleştirilmiş silindir bir fırın ile yapılmaktadır. İçi ateş tuğlası ile kaplı bu çelik fırın, bir ucu diğer ucundan biraz daha yüksekte kalacak şekilde, yaklaşık %3-%6 eğimde yerleştirilir. Çapı 2-6 m arasında değişen döner fırının en/boy oranı 15-30 civarında olup, sıcaklık

fırının alt ucundan püskürtülen yakıtla sağlanır. Bu yakıt fueloil olabildiği gibi, son yıllarda ekonomik nedenlerle kömürden de yararlanılmaktadır.

İnce bir şekilde öğütülerek uygun oranlarda bir araya getirilen killi ve kalkerli hammaddeler, döner fırınlarda yaklaşık 1350-1450°C'de pişirilirler. Fırın içerisinde pişirilen hammaddeler, sıcaklığın etkisiyle, kimyasal olaylar sonucunda klinker adı verilen bir ürünün oluşmasını sağlarlar. Klinker, gözenekli ve pürüzlü bir yüzeye sahip olup, sert ve yuvarlak şekildedir. Yaklaşık çapı 1-25 mm civarında ve yeşilimsi gri (veya koyu gri) renktedir. Döner fırından çıkarılan klinker soğutulduktan sonra, toz gibi ince bir şekilde öğütülür. Klinkerin bu öğütülmesi esnasında küçük bir miktar alçı taşıda ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) eklenerek öğütme işlemini beraber yapılır. Elde edilen ürüne Portland çimentosu adı verilir.

3.1.2.1.(2) Çimentonun Oksitleri, Ana Bileşenleri ve Reaksiyonlar

Portland çimentosunun oksitleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çimento kimyasına göre su, (H_2O), sadece H harfiyle gösterilmektedir. Bu durumda kalsiyum hidroksit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sadece CH ve alçıtaşı $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ise CSH_2 olarak ifade edilmektedir.

Çimento içerisinde çok küçük miktarlarda yer alan magnezyum oksit (MgO) ve alkalilerin ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) çimentoya hiçbir faydası yoktur. Bunlar çimento içerisinde fazla miktarlarda yer aldıklarında zararlı olabilecek hacim artışları gösterebilirler. Bunların zararlı olabileceği halde çimento içerisinde yer almasının nedeni, ekonomik olarak bunlardan kurtulmanın mümkün olmayışıdır (Erdoğan, 1995).

Çizelge 3.1'de gösterilen oksitler, döner fırın içerisinde reaksiyona girdiklerinde çimentonun ana bileşenlerini meydana getirirler. Bu bileşenler aynı zamanda klinkerin de ana bileşenleridir. Oluşan ana bileşenler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları (Erdoğan, 1995)

Oksit	Sembol	Çimento Kimyasına göre sembolü	Miktar (%)
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO ₂	S	17-25
Alümin	Al ₂ O ₃	A	3-8
Demir Oksit	Fe ₂ O ₃	F	0,5-6
Kükürt Trioksit	SO ₃	S	1-3
Magnezyum Oksit	MgO	M	0,1-4
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0,2-1,3

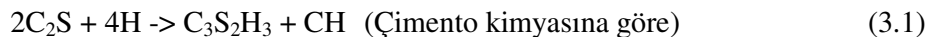
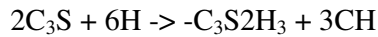
Çizelge 3.2. Çimentonun ana bileşenleri

Bileşenin Adı	Formülü	Kısaltılmış Adı	Miktar (%)
Trikalsiyum silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	25-60
Dikalsiyum silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	15-40
Trikalsiyum alüminat	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	2-15
Tetrakalsiyum alüminoferrit	4CaO.AL ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	5-15

3.1.2.1.(3) Çimentonun Hidratasyonu

En genel manada hidratasyon, çimento ile su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlardır. Çimentonun sertleşmesi (Prizi), bu reaksiyonlar sonucunda meydana gelir. Çimento ve suyun birleşmesiyle, ana bileşenlerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonlar pratik olarak şu şekilde ifade edilebilir. Kalsiyum silikatlar (C₃S -C₂S) ve su (H) reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C₃S-2H₃, kısaca C-S-H) denilen bir ürün ile kalsiyum hidroksiti meydana getirir. İşte çimentoya bağlayıcılık kazandıranda oluşan bu C-S-H jelidir. Meydana gelen C-S-H 'ın parçacıktan arasındaki çekim kuvveti bağlayıcılık özelliği yaratmaktadır. C-S-H 'ın büyüklüğü moleküler mertebededir ve çimento tanesinin 1/1 000 'i büyüklüğündedir (Erdoğan, 1995).

Kalsiyum silikatların reaksiyon formülü şu şekildedir.



Çimento C_3A ve suyun birleşmesi ise çok hızlı bir şekilde cereyan eder. Bu çimentoda “ani sertleşme” yaratarak taze betonun kullanımını ve betonun bağlayıcılık kazanabilmesini engeller. İşte bu yüzden üretim esnasında çimentoya bir miktar alçı taşı katılmaktadır. Böylece C_3A , su ve alçı, ayrı bir reaksiyona girer ve bu reaksiyonlar sürerken, kalsiyum silikatların reaksiyonu ve C-S-H 'in oluşması da sıhhatli bir şekilde devam eder. C_3A bileşeni ilk saatlerde ve ilk gün içerisinde çimentonun bağlayıcılık değerine küçük bir miktar katkıda bulunmakla birlikte çimento için en tehlikeli bileşen olabilmektedir.

Su ve alçı, C_4AF ile de reaksiyona girer. Fakat, C_4AF 'nin su ve alçıyla birleşmesi ile elde edilen özellikler, C_3A 'nın sonuçlarına benzer ancak oranı çok küçük olduğundan sonuç üzerindeki rolü büyük değildir.

Özetle, C_3A ve C_4AF bileşenleri, uygun miktarda alçı ile kullanıldıklarında çimentonun bağlayıcılık özelliğini bir miktar etkilerler. Ancak, esas bağlayıcılık özelliği C_3S ve C_2S bileşenleri tarafından sağlanmaktadır (Erdoğan, 1995). Çimentonun su ile birleşmesi neticesinde bileşenlerin kazandığı özellikler ise, Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri

	Bileşenlerin Özellikleri			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Reaksiyon Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok	Orta
Kısa Dönemde Bağlayıcılık	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Nihai Bağlayıcılık Değeri	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

3.1.2.1.(4) Hidratasyon Isısı

Hidratasyon ısısı, çimentonun belirli bir sıcaklık koşulunda hidratasyon başından hidratasyon sonuna kadar çıkardığı ısı miktarıdır (Erdoğan, 1995). Çimento ile suyun bir araya gelmesiyle başlayan hidratasyon, dışarı ısı veren, yani ekzotermik türdendir. Hidratasyon sürdükçe ısıнын açığa çıkması da devam eder ve çıkan bu ısı sonucu betonun sıcaklığı artar. Artan sıcaklık, özellikle kütle betonlarının

dökülmesinde büyük problem teşkil eder. Hidratasyon ısının açığa çıkma hızı, çimento bileşenleri ile su arasında yer alan kimyasal reaksiyonların hızına bağlıdır. Çimentonun su ile karıştırılmasını takip eden ilk 5 dakika içinde hidratasyon ısının açığa çıkma hızı çok yüksektir. Sonra, 1-2 saatlik durgun bir dönem yaşanır ve priz (katılaşmanın) başlaması ile ısının açığa çıkma hızı tekrar artar. Priz donemi sonunda (en çok 10 saat) hidratasyon ısı çok yüksektir. Daha sonraları ise hidratasyon ısı, gittikçe azalan bir seyirde açığa çıkmaya devam eder. Hidratasyon ısının açığa çıkma hızını etkileyen diğer önemli faktörler ise; çimento içerisindeki ana bileşenlerin yüzdeleri çimentonun inceliği ve hidratasyonun yer aldığı sıcaklık koşullarıdır.

3.1.2.1.(5) Çimentonun İnceliği

Çimento inceliği, çimento tanelerinin ortalama boyutunu ifade etmektedir. İnceliğin yüksek olması çimento tanelerinin daha küçük boyutlara sahip olacak şekilde öğütüldüğünü ifade eder. Çimento tanelerinin çapı 1-200 μm arasında değişiklik gösterir. Büyük çoğunluk 20-30 μm arasındadır.

Çimento inceliği cm^2/g olarak ifade edilir. Blaine aleti kullanılarak ve hava geçirgenliği prensibine uyarak, 1 g çimento numunesindeki tanelerin toplam yüzeyi cm^2 cinsinden belirlenir. Blaine aleti ile Özgül yüzey tayini, diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiği için incelik tayininde en çok kullanılan yöntem olmaktadır.

Çimentolarda istenen en düşük incelik çimentoların cinsine göre değişiklik göstermektedir. Türkiye'de üretilen değişik tipteki çimentolarda aranan en düşük incelik özgül yüzey olarak, 2800-4000 cm^2/g portland çimentolarında aranan en düşük incelik ise 2800 cm^2/g 'dır. ABD'nin ASTM C 618, Standartlarına göre üretilen portland çimentolarında da aranan en düşük incelik 2800 cm^2/g 'dır.

Çimento tanelerinin aşırı ince veya iri olmasının çimento özelliklerine bazı etkileri vardır. Taneler aşırı derecede ince ise, öğütme işlemi sırasında veya depolama esnasında, çimento çevreden bir miktar nem alarak hidratasyona başlayabilir ve bu vakitsiz hidratasyon sebebiyle bağlayıcılık değerinde kayıp olur.

Taneler gereğinden fazla iri ise, hidratasyon hiç bir zaman mükemmel olamaz ve kimyasal olaylar sağlıklı gelişemez. Bu durum, çimentonun bağlayıcılık değerini de olumsuz yönde etkiler.

3.1.2.1.(6) Çimento Türleri

Çimentolar kullanılacakları ortama, dayanımlarına, içlerinde bulunan minerallere ya da rengine göre bir çok sınıflara ayrılmaktadır. TS EN 197-1 standardı çıktıktan sonra özel amaçlı üç çimento standardı dışındaki bütün eski standartlar yürürlükten kaldırılmıştır. Bu üç standart TS 21 Beyaz Portland Çimentosu, TS 22 Harç Çimentosu ve TS 10157 Sülfatlara Dayanıklı Çimento standartlarıdır. Yürürlükten kaldırılan genel amaçlı çimentoların eşdeğerleri yeni standartta kapsamaktadır. Yeni TS EN 197-1 standardı, ülkemizde şu anda beton üretiminde kullanılan çimento tiplerinden daha fazla çimento tipinin kullanılabileceğini sağlamaktadır. Türkiye'de üretilen ve TSE tarafından kabul görmüş çimento türleri Çizelge 3.4'de verilmiştir (www.kalitekontrol.org, Özkul vd, 1999).

Portland Çimentosu, klinkerinin, bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Traslı Çimento, portland çimentosu klinkerinin bir kısmının, doğal puzolan (tras) fi ile değiştirilip, alçı taşıyla beraber öğütülmesi ile elde edilir. Türk Standartlarına göre klinker ve tras karışımının ağırlıkça %20-%40'lık kısmı trasan, %80-%60'lık kısmı klinkerden oluşmaktadır.

Uçucu Küllü Çimento, portland çimentosu klinkerinin bir kısmının, termik santrallerden elde edilen uçucu kül ile değiştirilip, alçı taşıyla birlikte öğütülmesi sonucu üretilir. TS 640 Uçucu Küllü Çimento Standardına göre klinker ve uçucu kül karışımının ağırlıkça %10-%30'lık kısmı uçucu külden, %90-%70'lik kısmı klinkerden oluşmaktadır.

Katkılı Çimento, ağırlıkça en çok %19 puzolanik madde ve en az %81 portland çimentosu klinkerinden oluşan karışımın, bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Çizelge 3.4. Çimento Türleri (www.kalitekontrol.org)

İptal Edilen Türk Standardı	İptal Edilen TSE'ne Göre İşaretleme	Çimento	TS EN 197-1 İşaretlemesi	Klinker İçeriği, %
TS 19	PÇ	Portland Çimento	CEM I	% 95-100 Klinker
TS 12139	PCÇ	Portland-Cürüflu Çimento	CEM II/A-S	% 80-94 Klinker + % 6-20 Cüruf
			CEM II/B-S	% 65-79 Klinker + % 21-35 Cüruf
TS 12141	PSFÇ	Portland-Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	% 90-94 Klinker + % 6-10 S.Dumanı
TS 10156 TS 26	KÇ, TÇ	Portland-Puzolanlı Çimento (Katkılı Çimento, Traslı Çimento)	CEM II/A-P	% 80-94 Klinker + % 6-20 D.Puzolan
			CEM II/B-P	% 65-79 Klinker + % 21-35 D.Puzolan
			CEM II/A-Q	% 80-94 Klinker + % 6-20 DK.Puzolan
			CEM II/B-Q	% 65-79 Klinker + % 21-35 DK.Puzolan
TS 640	UKÇ	Portland-Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V	% 80-94 Klinker + % 6-20 SU.Kül
			CEM II/B-V	% 65-79 Klinker + % 21-35 SU.Kül
			CEM II/A-W	% 80-94 Klinker + % 6-20 KU.Kül
			CEM II/B-W	% 65-79 Klinker + % 21-35 KU.Kül
TS 10156	KÇ	Portland-Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	% 80-94 Klinker + % 6-20 P.Şist
			CEM II/B-T	% 65-79 Klinker + % 21-35 P.Şist
TS 12140	PLÇ	Portland-Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	% 80-94 Klinker + % 6-20 L.Kalker
			CEM II/B-L	% 65-79 Klinker + % 21-35 L.Kalker
			CEM II/A-LL	% 80-94 Klinker + % 6-20 LL.Kalker
			CEM II/B-LL	% 65-79 Klinker + % 21-35 LL.Kalker
TS 12143	PKÇ	Portland-Kompoze Çimento	CEM II/A-M	% 80-94 Klinker + % 6-20 Katkılar
			CEM II/B-M	% 65-79 Klinker + % 21-35 Katkılar

Yüksek Fırın Cüruf Çimentoları, granüle yüksek fırın cürufu ile portland çimentosu klinkeri karışımının küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmeleri sonucunda elde edilirler. Türk Standartlarına göre, klinker ve cüruf karışımının ağırlıkça %80-%20'lik kısmı yüksek fırın cürufundan, %20-%80'lik kısmı klinkerden meydana gelmektedir.

Harç Çimentosu, ağırlıkça en az %40 kısım portland çimentosu klinkeri ile en çok %60 kısım puzolanik madde (doğal puzolan-tras veya uçucu kül) karışımının küçük bir miktar alçı taşı ile beraber öğütülmesi sonucu elde edilir.

Beyaz Portland Çimentosu, gerçekte bir portland çimentosudur. Fe_2O_3 'ün çok az miktarda olmasından dolayı rengi beyaz olan bu çimento özellikle mimari ve estetik işlerde kullanılır.

Sülfata Dayanıklı Çimento, C_3A miktarı en çok %5 olan portland çimentosu klinkerinin, bir miktar alçıtaşı ile öğütülerek elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Erken Dayanımı Yüksek Çimento, standart portland çimentosunda olduğu gibi, killi ve kalkerli hammaddelerin pişirilmesi ile elde edilen klinkerin, küçük bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir. Bu çimentonun portland çimentolarına göre daha erken dayanım kazanması, inceliğinin daha fazla olması ve o nedenle hidratasyonun daha erken başlamasından kaynaklanmaktadır.

3.1.3. Agregalar

Agrega, çimento ve su ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir (Erdoğan, 1995). Agregaları “beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzeme” olarak tarif etmektedir.

3.1.3.1. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar için genel olarak yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

a) *Elde ediliş şekline göre;*

- Doğal (kum, çakıl, kırmataş)
- Yapay
 - Yan ürün olarak (yüksek fırın cürufu, uçucu kül agregası)
 - Isıl işleme tabi tutulmuş (genleştirilmiş perlit, pişmiş kil)

b) *Tane büyüklüğüne göre;*

- İri
- İnce
- Taş unu (filler)

c) *Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre;*

- Hafif ağırlıklı (özüml ağırlığı 2,4 gr/cm³'den daha küçük agregalar)
- Normal ağırlıklı (özüml ağırlığı 2,4-2,8 gr/cm³ arasında olan agregalar)
- Ağır (özüml ağırlığı 2,8 gr/cm³'den daha büyük agregalar)

Doğal agregalar, nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi doğadaki agrega yataklarından alınarak, doğadaki yapısında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmadan kullanılan, kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır. Yapı ağırlığının azaltılması amacıyla, hafif beton yapımında kullanılan pomza taşı ve bims gibi hafif agregalar ile, yüksek dayanım isteyen yapılar için üretilen betonlarda kullanılan hematit, barit, magnetit gibi ağır agregalar da doğal agregalar sınıfına girmektedir.

Yapay agregalar ise, beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeden üretilen veya bir malzemeye ısıt işlem uygulanıp beton yapımı için uygun duruma getirilen agregalardır. Yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeden üretilen agregalar, yüksek fırın cürufu agregası ile uçucu kül agregası, bir malzemeyi ısıt işleme tabi tutarak elde edilen agregalar ise genleştirilmiş perlit ile genleştirilmiş kil agregasıdır.

Öte yandan, 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregası iri agregası, bu elekten geçebilen agregası ise ince agregası olarak tarif edilmektedir. 0,25 mm göz açıklıklı ve delikli elekten geçen ince malzemeyede taşınu (filler) adı verilir (TS 706 EN 12620, 2003). Agregalar, mineralojik, jeolojik oluşum, tane şekli ve yüzey dokusu gibi özelliklerine göre de sınıflandırılmakta olup, sınıflandırmalara ait detaylı bilgi, ilgili kaynakta verilmektedir (Postacıoğlu, 1986).

3.1.3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Betonu oluşturan malzemelerin ağırlıkça %60 ve %80'inin agregası tarafından oluşturulduğu bilinmektedir (Popovics, 1992 ve Neville, 1995). Dolayısıyla agreganın nemi, birim ağırlığı, özgül ağırlığı, kompasitesi, tane boyutu ve dağılımı, incelik modülü, tane şekli, mekanik özellikleri, yabancı ve organik madde içeriği gibi fiziksel özellikleri, beton özelliklerini önemli ölçüde etkilemekte ve bu nedenle bilinmesi gerekmektedir (Erdoğan, 1995, Şimşek, 2004).

3.1.3.2.(1) Agregada Su İçeriği

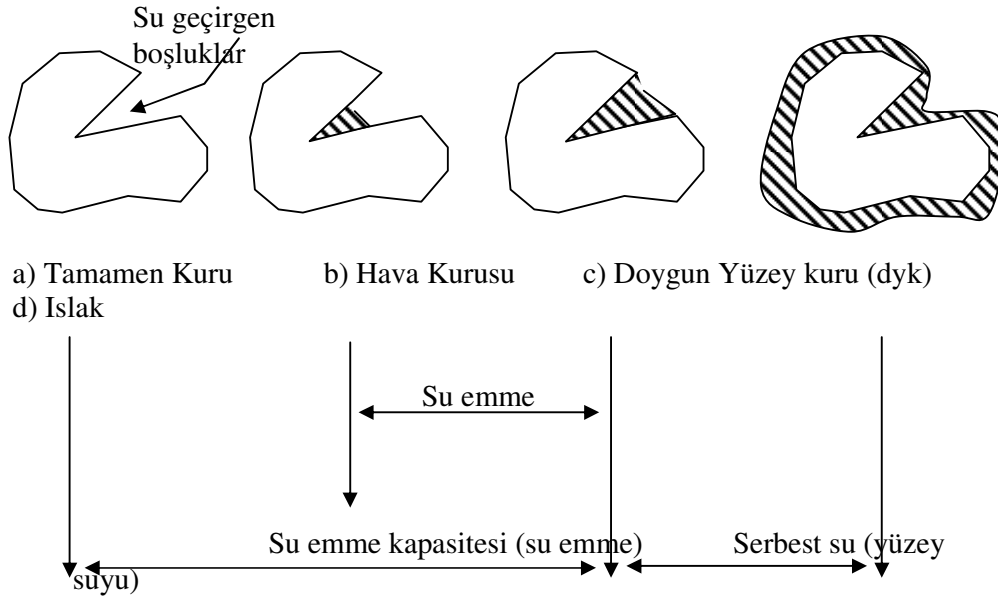
Agregası taneleri içerisinde iki tip boşluk bulunabilir. Bunlardan birisi, tane yüzeyinde ince çatlaklar şeklinde oluşmuş veya tane içerisinde olup da yüzeydeki boşluklarla bağlantılı olan su geçirgen boşluklardır. Bu tür boşlukların içerisine su girip çıkabilir. Diğerisi ise, agregası yapısından gelen, agregası taneleri içerisinde oluşmuş olan “su geçirmez boşluklar” dır. Bunlara su giremez.

Agregası tanelerinin, karşı karşıya kaldıkları ıslanma ve kuruma durumlarına göre, “su geçirgen boşlukların içerisinde hiç su bulunmayacağı gibi, bu boşlukların içerisi kısmen veya tamamen su dolu da olabilir. Hatta, taneler suya doymuş olup, tanelerin yüzeyi bir miktar su filmi ile kaplı da olabilir.

Agregası tanelerinden oluşan agregası yığını, içerdiği su miktarına göre Şekil 3.1’de gösterilen dört değişik durumundan birisine sahiptir. Agregası tanelerinin içerdikleri su oluşumu,

- agreganın içerisinde hiç su olmadığı tamamen kuru durum,

- agreganın su geçirgen boşluklarının içerisinde bir miktar suyun olduğu hava kurusu durum,
- su geçirgen boşluklarda tamamen su bulunduğu fakat agregata tane yüzeyinin kuru olduğu doymuş - yüzey kuru durum,
- su geçirgen boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve aynı zamanda tanelerin yüzeyinde bir miktar su filminin bulunduğu ıslak durum (Erdoğan 1995, Neville ve Brooks, 1993).



Şekil 3.1. Agregata tanelerinin içerdikleri su durumu

3.1.3.2.(2) Birim Hacim Ağırlık

Birim ağırlık, belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığıdır (Şekil 3.2). Bu belirli hacim (V), tanelerin işgal ettiği gerçek hacim (V_a) ile taneler arası boşlukların toplam hacmi (V_b)'nin toplamıdır. Bu duruma göre şu formül yazılabilir:

$$V = V_a + V_b \quad (3.2)$$

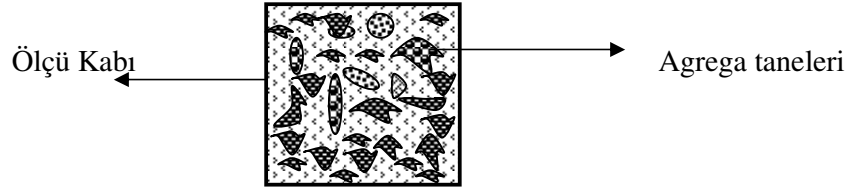
Bu tanımlara göre birim ağırlık, aşağıdaki formül yardımıyla elde edilir.

$$\Delta = \frac{P_a}{V} \quad (3.3)$$

Δ : Agreganın birim hacim ağırlığı

P_a : Agreganın ağırlığı

V : Ölçü kabının hacmi



Şekil 3.2. Birim ağırlığın belirlenmesi

Agregalarda birim ağırlık, gevşek veya sıkışık deney yöntemleri ile belirlenir. Gevşek birim ağırlığın belirlenmesinde; agreg, ölçü kabına üstten serbest şekilde boşaltılarak doldurulur. Bu sırada agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir.

3.1.3.2.(3) Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, agreganın işgal ettiği gerçek birim hacmine isabet eden ağırlıktır (Postacıoğlu,1986). Numunenin hacmi, tek tek agreg tanelerinin hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Bir başka deyişle, özgül ağırlığın hesabında, taneler arasındaki boşluk dikkate alınmaz. Şekil 3.3'de bir agregaya ait özgül ağırlığın nasıl belirlendiği gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Özgül ağırlığın belirlenmesi

Şekil A' da, agregada deney numunesi (W_1) ile ağzı cam kapakla kapatılmış içi su dolu ölçü kabı (W_2) tartılmaktadır. Şekil B' de ise, agregada numunesi, ölçü kabı içine konulduktan sonra bir kez daha tartı yapılmaktadır (W_3). Cam kaba konulan agreganın gerçek hacmi kadar su miktarında azalma olduğu açıktır. Su miktarındaki azalma, $(W_1 + W_2) - (W_3)$ kadardır. Bütün tartılar gram cinsinden yapıldığından bu büyüklük, cm^3 cinsinden (w_1) ağırlığındaki agreganın gerçek (mutlak) hacmini verir. Agreganın özgül ağırlığı (δ), en genel olarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\delta = \frac{w_1}{(w_1 + w_2 - w_3)} \quad (3.4)$$

3.1.3.2.(4) Su Emme

Doğal yapı malzemelerinin su emme oranının tayini için bulunduğu sahanın değişik yerlerinden alınan temsili numuneler önce güzelce yıkayıp etüve yerleştirilerek 105°C de kurutulur ve ayrı ayrı 0,01 gr hassasiyetinde tartılır. Tartılan numuneler bir kaba konularak numunelerin 1/4 ü su içinde kalacak şekilde su ilavesi yapılır. İki saat ara ile numunelerin 1/4 ünü kaplayacak oranda su ilave edilir. Bu numuneler, tamamen üzerlerini örtecek miktarda su ilave yapıldıktan sonra iki gün su içinde bekletilirler.

Doygun hale gelen numuneler su içersindeki Archimeth terazisi ile tartılarak, 0.01 gr hassasiyetle ölçüm değerleri yapılır. Bu tartım işleminden sonra deney numunesi üzerindeki su damlaları ıslak bir bezle alınır ve bekletilmeksizin havada 0.01 gr hassasiyetle tartılır.

Bulunan sonuçlar aşağıdaki eşitlikte yerine konularak her bir numune için ayrı ayrı birim hacim ağırlığı belirlenir.

Kayacın su emme oranı, ağırlıkça ve hacimce su emme oram olarak aşağıdaki formüllerle ayrı ayrı hesaplanabilir:

$$Sk = ((Gdh - Gk).Gk).100 \quad (3.5)$$

$$Sh = \frac{Gdh - Gk}{Gdh - Gds} \cdot 100 \quad (3.6)$$

Burada,

Sk : Kayacın ağırlıkça su emme oranı, %,

Sh : Kayacın hacimce su emme oranı %

Gk : Değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş deney numunesi ağırlığı, gr,

Gdh : Doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı, gr ,

Gds : Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı, gr .

3.1.3.2.(5) Görünür Porozite, Doluluk Oranı ve Gerçek Porozite

Yapı malzemelerinin porozite değeri ya hacimce su emme oranından yada kütle ve kütlece su emme oranından hesaplanabilmektedir. Kayacın görünür porozite değeri hacimce su emme oranından şu eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$Pg = \frac{Gd - Gk}{Gd - Gds} \cdot 100 \quad (3.7)$$

Görünür porozite değeri, hacim kütle ve hacimce su emme oranı yardımı ile de hesaplanabilmektedir:

$$Pg = dh \cdot Sk \quad (3.8)$$

Doluluk oranı, Malzemenin ortalama hacim ağırlığı ve özgül ağırlığından şu eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$k = \frac{dh}{do} \cdot 100 \quad (3.9)$$

Gerçek porozite, Malzemenin ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığından aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$P = \left| 1 - \frac{dh}{do} \right| \cdot 100$$

veya

$$P = (1 - k) \cdot 100 \quad (3.10)$$

3.1.3.3. Tane Boyutu ve Dağılımı

Bir agregaya yığını içerisindeki tanelerin, büyüklüklerine göre gösterdikleri dağılım oranına gradasyon (granülometri) denilmektedir. Agregaya yığınının gradasyonunun saptanmasında, agregaya taneleri, büyüklüklerine göre, belirli gruplara ayrılır. Her boy grubundaki tanelerin toplam ağırlıkları bulunarak, bunların tüm agregaya içerisinde ne oranda yer aldığı saptanır.

Gradasyon veya granülometri olarak isimlendirilen, agregaya tanelerinin büyüklüklerine göre dağılım oranı, elek analizi adı verilen bir yöntemle bulunabilmektedir. TS 130 (1978) göz önüne alındığında, elek analizi deneyinde, 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm kare göz açıklıklı elekler kullanılır (Şekil 3.4).

Elek analizi yönteminde elekler, en büyük göz açıklıklı olan en üstte, daha küçük olan bir altta ve en küçük olan da en altta olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru dizilir. En küçük elekten geçebilecek agregayı da yerlere dökülmeden bir arada tutabilmek amacıyla, en küçük göz açıklıklı elekten altına da delikleri olmayan bir kap (tava) yerleştirilir.



Şekil 3.4. Kare göz açıklıklı elekler (0.25 mm ile 31.5 mm arası)

Değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) agrega numunesi, en büyük elek üzerine yerleştirilir ve sağa-sola, yukarı-aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agrega hassas olarak tartılarak her elek üzerinde ağırlıkça, yüzde ne kadar agrega kaldığı (veya her elekten yüzde ne kadar agrega geçtiği) hesaplanır. Böylece, değişik boy sınıflarındaki agrega miktarı, agreganın tane dağılımı belirlenir (TS130, 1978, TS 706 EN 12620, 2003).

Daha kolay görülebilmesi için yüzde olarak ifade edilen elek analizi sonuçları, genellikle yarı logaritmik bir grafik üzerinde eğri şeklinde gösterilir. Böyle bir grafikte, elek boyutları yatay eksen üzerinde, agrega yüzdeleri de düşey eksen üzerinde gösterilir.

Agrega gradasyonunun beton karışımında yer alacak malzeme oranları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Ayrıca agrega gradasyonu, taze betonun işlenebilirliğini de etkilediğinden, istenilen bir kıvama sahip beton elde edebilmek için kullanılacak karma suyu miktarını da değiştirmektedir. Buna bağlı olarak su-çimento oranı etkilenmekte, su-çimento oranı ve malzeme oranları etkilenen bir betonun da hemen hemen bütün özellikleri etkilenmektedir. Kısacası gradasyon, taze betonun işlenebilme ve sertleşmiş betonun dayanım, durabilite, birim ağırlık, büzülme gibi önemli özelliklerini etkilemektedir. TS 706 EN 12620, 2003, Beton Agregaları isimli standartta, tane dağılım oranlarının hangi sınırlar içinde olması gerektiği verilmektedir. En büyük tane boyutuna göre belirlenen agrega dağılım oranlarının yer alabileceği alt ve üst sınırlar gradasyon eğrileri ile gösterilmiştir. Kullanılacak agreganın tane dağılımı, A ve B eğrileri içerisinde ise, agreganın gradasyonu “çok iyi”, B ve C eğrileri arasında ise de “kullanılabilir” olarak tanımlanır (Özkul vd, 1999).

3.1.3.4. Agregaların Mekanik Özellikleri

Agregaların Mekanik özelliklerinin tespiti için dayanımlarının ve aşınma dirençlerinin bilinmesi gerekmektedir. Yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için mekanik dayanımı belirli değerlere ulaşan agregalara gereksinim vardır. Bu nedenle agregaların tane dayanımlarını da belirlemek gerekir.

Agrega tane dayanımı, alındığı kayacın incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, TS 706 EN 12620 'ye göre agreganın basınç dayanımının 1000 kgf/cm^2 den az olması durumunda veya agreganın aşınma dayanıklılığında kuşku duyulduğunda, agregaların aşınma dirençlerinin deneylerle saptanması gerekmektedir.

Agregaların aşınmaya karşı mukavemeti, TS 3694 (1981) Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu isimli Standartta verilen yöntemle tespit edilmektedir. Bu yöntem, en yaygın ismiyle “Los Angeles Aşınma Deneyi” olarak bilinmektedir.

3.2. Beton

Beton, su, çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Bir beton karışımı hazırlandığında aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır; (Şimşek, 2004, Erdoğan, 1995, TS 406, 1988),

- Karışım, kolayca karıştırılıp taşınabilmeli,
- Homojen olmalı,
- Yeterince akıcı olmalı,
- Aşırı enerji harcamadan kolayca sıkıştırılabilmeli,
- Yüzeyi kolay bitirilebilir yani perdelenebilir olmalı.

Bütün bunlar işlenebilirlik terimi ile ifade edilir. İşlenebilirlik, taze betonun en önemli özelliklerinden birisidir. Bunun yanı sıra hidratasyon derecesi ve ısısı, priz zamanı, beton içerisindeki suyun yüzeye çıkması (terleme) göz önüne alınması gereken diğer önemli özelliklerdendir (Atış vd, 2000).

3.2.1. Beton Çeşitleri

Betonlar genelde ağırlıklarına, yapım tekniklerine ve dayanımlarına göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Betonlar ağırlıklarına göre; ağır beton, normal ağırlıklı

beton hafif ağırlıklı beton yapım tekniklerine göre; vakumlanmış beton agregası önceden yerleştirilmiş beton, lifli beton, püskürtme beton, silindirle sıkıştırılabilen beton, dayanımlarına göre ise; normal ve yüksek dayanımlı betonlar olarak sınıflara ayrılmaktadır (Şimşek, 2004, TS 406, 1988).

3.2.1.1. Ağırlıklarına Göre Beton Sınıflandırılması

Ağır Beton: Radyografi tesislerinde, atom pil ve reaktörlerinde meydana gelen öldürücü ışıklardan korunmak ve radyasyon geçişini önlemek için üretilen, birim ağırlığı $2,5 \text{ g/cm}^3$ den büyük olan betonlardır.

Normal Ağırlıklı Beton: Dünya en yaygın kullanılan beton çeşidi olup, birim ağırlığı $2,4$ ile $2,6 \text{ g/cm}^3$ arasında değişen betonlardır.

Hafif Ağırlıklı Beton: Hafif beton yapımında kullanılan, birim ağırlığı 2.4 g/cm^3 den küçük betonlardır.

3.2.1.2. Yapım Tekniklerine Göre Beton Sınıflandırılması

Vakumlanmış Beton: Vakum betonu, yerleştirme işleminden hemen sonra beton yüzeyine konulan vakum panelleri ve uygun bir vakum pompası vasıtasıyla karışım suyunun bir kısmının betondan uzaklaştırılmasıyla elde edilir. Vakum betonlarında amaç, suyun bir kısmının alınmasıyla azalan su-çimento oram ile yüksek dayanımlar sağlamaktır (Şimşek, 2004).

Agregası Önceden Yerleştirilmiş Beton: Kalıplara önceden yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış uygun gradasyonlu ve temiz, iri agregataneleri arasındaki boşluklara çimento+ince agregat+su karışımının pompalanmasıyla elde edilen betondur (Özkul vd, 1999).

Lifli Beton: Beton pompaları tarafından pompalanabilen bir beton türüdür. Miksere ilave edilen çelik liflerin beton içine eşit bir şekilde dağıtılmasıyla elde edilir. Lifli beton uygulamaları esas itibarıyla, betonda çatlakların ilerlemesini ve yayılmasını önlemek, sünekliği ve tokluğu artırmak maksadıyla yapılır (Özkul vd, 1999).

Püskürtme Beton: Püskürtülerek yerleştirilen ve aynı zamanda püskürtme etkisiyle sıkışan betondur (Güner ve Sümer, 2000).

Silindirle Sıkıştırılabilen Beton: Normal betona göre su içeriği çok az ve işlenebilirliği yok denecek (sıfır çökme) düzeyde olan ve taze haldeyken normal betondan daha çok, zemin dolgu malzemesi gibi, katılaştığında ise normal beton gibi davranan betondur (Akçaözoğlu, 2001).

Hafif Beton: Agregası olarak kullanılan hafif yapı malzemeleri sayesinde birim ağırlığı 2 g/cm^3 den az olan beton türüne denmektedir.

3.2.1.3. Dayanımlara Göre Beton Sınıflandırması

Dayanım, betonun taşıyabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanır. Beton, diğer birçok gevrek yapı malzemesi gibi basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun çok düşük olan çekme dayanımı hesaplarda genelde dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği, basınç dayanımıdır. Betonun standart basınç dayanımı, suda saklanmış 28 günlük, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin, eksenel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, silindirin kırılma yükü alana bölünerek belirlenir (Şimşek, 2004).

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine zaman zaman küp numuneler de kullanılmıştır. Küp ve silindir dayanımları arasındaki ilişkiyi saptayabilmek için çok sayıda deney yapılmıştır. Bu araştırmalar sonunda, silindir dayanımının küp dayanımına oranının ortalama 0,80-0,85 olduğu bulunmuşsa da, birçok numunede bu oranın 0,7'ye kadar düştüğü veya 1,1'e kadar yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumda, küp dayanımı 0,80 veya 0,85 gibi bir katsayı ile çarpılarak silindir dayanımına çevrilebilirse de bunun hiçbir zaman kesin olmadığı unutulmamalıdır (Ersoy, 1985). Çizelge 3.5'de TS-500 (2000)'de öngörülen beton sınıfları için karakteristik silindir basınç dayanımları, eşdeğer küp dayanımları, çekme dayanımları ve elastisite modülleri verilmiştir.

Çizelge 3.5'de sunulan verilerin değerlendirmesinde BS 25 (C25)'e kadar olan betonlar normal dayanımlı, diğerleri de yüksek dayanımlı olarak adlandırılır.

Çizelge 3.5. Beton sınıfları ve dayanımları (TS 500, 2000)

Beton Sınıfları	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Çekme Dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)
BS 14 (C14)	14	16	1,3	26150
BS 16 (C16)	16	20	1,4	27000
BS 20 (C20)	20	25	1,6	28500
BS 25 (C25)	25	30	1,8	30250
BS 30 (C30)	30	35	1,9	31800
BS 35 (C35)	35	40	2,1	33200
BS 40 (C40)	40	45	2,2	34550
BS 45 (C45)	45	50	2,3	35800
BS 50 (C50)	50	55	2,5	36950
BS 55 (C55)	55	67	2,6	38000
BS 60 (C60)	60	75	2,8	39000
BS 70 (C70)	70	85	3,0	39900
BS 80 (C80)	80	95	3,2	40750
BS 90 (C90)	90	105	3,3	41550
BS 100(C100)	100	115	3,4	42250

3.2.2. Taze Beton Özellikleri

Agrega ve çimento karışımına su katıldıktan sonraki ilk birkaç saatte beton, sıvıya benzer akıcılık özellikleri taşır ve kolayca şekil verilebilir. Bu aşamadaki karışıma taze beton denir. Beton zaman içerisinde çimentonun hidrasyonu sonucunda akıcılığını kaybederek katılaşır ve dayanım kazanır. Taze beton özellikleri, betonun daha sonraki özelliklerine etki edeceğinden, dikkat edilmesi gereken bazı kavramları da beraberinde getirir. Bunlardan en önemlisi işlenebilirliktir. İşlenebilirlik, homojen olarak karıştırılan taze betonun ayrışmaya uğramadan taşınması, dökülmesi, yerleştirilerek sıkıştırılması ve perdahlanması olarak tanımlanır (Neville ve Brooks, 1993). Teorik olarak işlenebilirliği, taze betonun bileşimini oluşturan partiküller (elemanlar) arasındaki iç sürtünmenin yenilip, betonun tamamen sıkıştırılabilmesi için gerekli enerji miktarı olarak tanımlamışlardır. Taze betonun işlenebilirliğini etkileyen faktörler ise; karışımdaki su miktarı, hava miktarı, karışım oranları, agregâ özellikleri, agregâ tane dağılımı, çimento özellikleri, katkıları, zaman ve sıcaklık sayılabilir.

3.2.2.1. İşlenebilirlik Deneyleri

3.2.2.1.(1) Slump deneyi

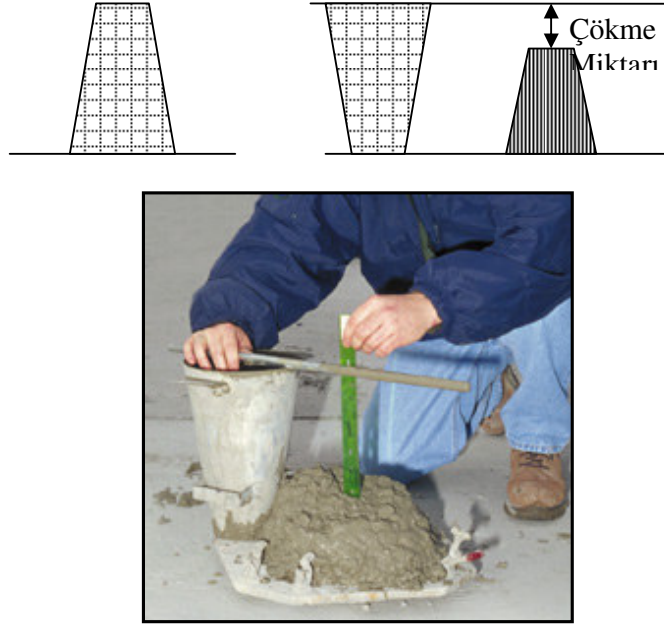
Bu deneyde yüksekliği 30 cm, alt taban çapı 20 cm ve üst çapı 10 cm olan kesik koni şeklinde çökme hunisi kullanılır (Şekil 3.5). Deneye başlamadan evvel çökme hunisinin içerisi ıslak bezle silinir ve huni düz, nemli ve su emmez bir yüzey üzerine yerleştirilir. İşlenebilirliği ölçülecek taze beton, huniye üç tabaka halinde ve her tabaka huninin yaklaşık üçte birini dolduracak şekilde dökülür. Dökülen her tabaka 25 defa yuvarlak uçlu demir çubukla rasgele şişlenir. Şişleme bittikten sonra kalıbın üstü mala veya şişleme çubuğu ile tesviye edilmeli ve huninin etrafına dökülen beton temizlenmelidir. Bu işlem bittikten sonra huni saplarından tutularak yavaşça ve titizlikle yukarı doğru çekilir. Taze beton yığının yanına konulan çökme hunisinin üzerine yatay olarak yerleştirilen şişleme çubuğunun alt seviyesi ile çöken taze betonun üst yüzünün ortalama yüksekliği betonun çökme değeridir (TS EN 12350-2, 2002). Slump değeri sınıflandırmasına göre olması gereken çökme sınırları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Slump çökme sınırları (www.kalitekontrol.org)

Sınıf	Slump (Çökme) (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥220

Çökme değeri işlenebilmenin tanımlanmasındaki tek değer olmadığından, değişik agregalara özellikle farklı ince agrega içeriğine sahip ve iri agreganın yuvarlak veya köşeli oluşuna göre aynı çökme değeri farklı işlenebilmeleri gösterebilmektedir. Çökme deneyi betonun sıkıştırılma kolaylığı hakkında bir fikir veremez ve betonun vibrasyon, bitirme işlemi, pompalama ve tremi borusunda hareket gibi dinamik koşullar altında davranışını yansıtamaz. Çökme deneyi, şantiye

koşullarında, agrega rutubetlerinde meydana gelebilecek olası artışların gözlemlenmesi amacı ile, beton karışımının üniformluğundaki değişkenliklerin takibinde oldukça kullanışlı olmasına ve çok yaygın olarak kullanılmasına rağmen yeterli değildir (www.kalitekontrol.org).



Şekil 3.5. Slump (çökme) konisi

3.2.2.1.(2) Sıkıştırma Faktörü Deneyi

Bu deneyde, üzerinde iki tane altı açılabilir koni ile en altta da silindir bulunan düzenek kullanılır. Taze beton en üstteki kovaya el küreği ile tamamen doldurulur. Ancak sıkıştırmak için bir çaba sarf edilmez. Koninin üst yüzeyi mala ile sıyrılarak düzeltilir. Koninin altına bağlı olan menteşeli kapak serbest bırakılarak, betonun bir alttaki koniye kendi ağırlığı ile düşmesi sağlanır. Beton alt koniye dolduktan hemen sonra, alt koninin de kapağı açılarak betonun, ağırlığı önceden bilinen (W_0) silindir kalıba dolması sağlanır. Mala ile üzeri düzeltilen silindirin dış yüzü temizlenir ve tartılır (W_1). Bu ağırlık kısmen sıkıştırılmış betonun kalıpla

birlikte ağırlığıdır. Daha sonra boşaltılıp içi temizlenen aynı silindir kalıp, yaklaşık 5 cm'lik tabakalar halinde aynı beton deney numunesi ile doldurulur. Her tabaka şişleme çubuğu veya vibratör yardımı ile iyice sıkıştırılır ve üzeri düzeltilerek tartılır (W_2). Bu ağırlık tam sıkışmış betonun kalıpla birlikte ağırlığıdır (TS 12350-4, 2002). Sıkıştırma faktörü (k), aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$k = \frac{W_1 - W_0}{W_2 - W_0} \quad (3.11)$$

W_1 : Kısmen sıkıştırılmış beton ve silindir kap ağırlığı kg,

W_2 : Tam sıkıştırılmış beton ve silindir kap ağırlığı kg,

W_3 : Silindir kabın boş ağırlığı kg,

3.2.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş betonun özellikleri genel başlıklar olarak dayanım, dayanıklılık ve rötre olarak gruplandırılabilir.

3.2.3.1. Dayanım

Betonun dayanımı, taşıyabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanır. Daha öncede belirtildiği gibi, diğer bir çok özelliğin göstergesi olabilmesi nedeniyle ve özellikle basınç dayanımı deneyinin pratik olması bakımından dayanım, beton sektöründe gerek kalite kontrol, gerekse kullanılacak betonun tanımlanması açısından en çok kullanılan özellik olmaktadır.

Çoğunlukla, aksi belirtilmediği müddetçe betonun dayanımından söz edildiğinde bu dayanım basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı yanı sıra, çekme ve eğilme dayanımlarını da belirlemek gerekebilir.

3.2.3.1.(1) Beton Dayanımlarının Hesap Edilmesi

Basınç Dayanımı: Beton basınç dayanımının hesap edilmesinde, ebatları 15 cm veya 20 cm olan küp numuneler ya da çapı 5-15 cm, yüksekliği de çapının iki katı olan silindir numuneler kullanılır. Basınç dayanımı ise numunelerin pres altındaki kırılma yüklerinin kesit alanına bölünmesi ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

P: Kırılma yükü (kg)

A: Numunenin kesit alanı (cm²)

Silindir numuneler, basınç deneyi yapılmadan önce, kalıplardan kaynaklanan üst yüzeylerindeki pürüzlülük nedeniyle kükürtle zımparalanır. Böylece pres tablasının numune yüzeyi ile tam olarak teması sağlanır. Betonun basınç dayanımı belirlenirken, doğru ve güvenilir sonuç alabilmek için, numune alma, hazırlama, bakım ve deney yöntemleri mutlaka standartlara uygun olarak yapılmalıdır.

Çekme Dayanımı: Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının yaklaşık olarak %10'u civarındadır ve direkt olarak çekme dayanımının belirlenmesi oldukça güçtür. Bu nedenle, Brazilian çekme dayanımı adı verilen daha pratik bir dolaylı çekme testi uygulanır.

Bir beton numunenin brazilian çekme dayanımı aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur. Silindir numune kullanılmış ise;

$$\sigma = \frac{2P}{\pi dl} \quad (3.13)$$

Küp numune kullanılmış ise;

$$\sigma = \frac{2P}{\pi^2} \quad (3.14)$$

P: Uygulanan kırılma yükü

d: Numune çapı

l: Numune boyu

l: Küp numune boyutu

Eğilme Dayanımı: Betonun eğilme dayanımı kiriş numuneler üzerinde (a) üçte bir noktalardan yüklenmiş basit kiriş yöntemi veya (b) orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi veya (b) orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile belirlenir. Bunlardan birincisi daha gerçekçi sonuç verir.

Bir beton numunenin eğilme dayanımı, aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (3.15)$$

P: Kırılma yükü

l: Mesnetler arası mesafe

b: Kırılma kesitinin genişliği

h: Kırılma kesitinin yüksekliği

a: Kırılma hattı ile yakınındaki mesnet arasındaki ortalama mesafe

3.2.3.1.(2) Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

3.2.3.1.(2).a) Deney Yöntemi İle İlgili Faktörler

Deneylerden elde edilen sonuçlar, birçok faktörün etkisiyle aynı bir beton karışımı için bile birbirinden farklı olabilir.

Numune boyutu ve geometrisi: Genel olarak, numune boyutları küçüldükçe dayanım artar. Silindir numunelerde boy-çap (l/d) oranı arttıkça dayanım azalır. Ayrıca, bütün diğer koşullar sabit tutulduğunda, standart silindir numuneden elde edilen dayanım standart küp numuneden elde edilen dayanımın yaklaşık %85'i kadardır (Özku vd, 1999).

Yükleme hızı; Genelde yüklem hızı arttıkça dayanım artar. Bu etki yüklem hızıyla dayanım arasında lineer bir artış olarak görülmektedir.

Numunenin nem durumu; Kuru numuneler, ıslak numunelere göre daha yüksek dayanım gösterir. Bu nedenle, kür havuzundan çıkarılan numunelerin dayanımlarını bulmadan önce, kurumalarının beklenmesi gerekmektedir. Nemli bir numune kuru numuneye oranla % 25'e varan bir dayanım eksikliği gösterir.

Deney ortamının sıcaklığı; Deney yapıldığı ortamın sıcaklığı yükseldikçe dayanımda düşer (Özkul vd, 1999).

3.2.3.1.(2).b) Deney Yönteminden Bağımsız Olan Faktörler

Betonun dayanımı bileşenlerinin nitelikleri ve miktarlarıyla, karıştırma, yerleştirme ve sıkıştırma koşullarıyla doğrudan ilişkilidir.

Betonun yaşı; Uygun sıcaklık ve nem ortamı sağlandığı sürece, betonun dayanımı yaşla birlikte artar. Dayanım artış hızı, erken yaşlarda daha yüksektir. Pratikte, betonun 28 günlük dayanımı büyük önem taşır. Bunun nedeni, betonun zaman içinde ulaşabileceği en yüksek dayanımın yaklaşık % 70'ini, ilk 28 gün içinde elde etmesidir. Daha ileri yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır.

Sıkıştırma düzeyi; Beton dayanımını etkileyen diğer bir faktör ise sıkıştırma düzeyidir. Beton, içindeki boşluk miktarı en alt düzeyde olacak şekilde sıkıştırılır. İyi sıkıştırılmış, boşlukları ve gözenekleri en az miktarda olan betonların dayanımları, iyi sıkıştırılmamış olanlarınkine göre daha yüksek olur.

Su-Çimento oranı; uygun bir şekilde sıkıştırılmış bir betonun içerdiği boşluk miktarı su-çimento oranıyla doğrudan ilişkilidir. Su ve çimentodan oluşan çimento hamurunda, suyun çimentoya oranı ne kadar düşük olursa hamur o kadar koyu kıvamlı olur ve böyle bir hamura sahip betonun mukavemeti, dayanıklılığı ve hacim sabitliği o derece iyi değerler alır (Özdemir, 1991)

Hidratasyon için gerekli su miktarı, çimento miktarının % 25-30'u kadar olmasına karşın, işlenebilirlik açısından daha fazla su kullanmak gereklidir. Ancak, hidratasyonun gerektiğinden fazla su kullanmak, zaman içerisinde betonda, kılcal boşluklar meydana getirir. Bu kılcal boşluklar, hidratasyona katılmayan fazla suyun

buharlaşarak betondan ayrılması neticesinde oluşur. Bořluk miktarı artan bir betonun da dayanımı haliyle dūřuk değerler alacağından, su-imento oranı beton için son derece dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur.

Katkı Maddeleri: Beton basınç mukavemetine etki eden bir diğer unsur kullanılan katkı maddeleridir. Katkı maddeleri betonun yapısal özelliklerini olumlu yönde etkiler. Uzun yıllar Amerika ve Avrupa'da, belirli bir süredir de Türkiye'de birçok beton üretiminde çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Türkiye genelinde karşılaşılan en önemli sorun akışkan ve istenen mukavemet değerlerine ulaşabilen beton olmuştur. Akışkanlığın sağlanması karışım suyunun artırılması veya akışkanlaştırıcı beton kimyasalların kullanılmasıyla mümkün olur. Karışım suyunun artırılması su-imento oranını artıracaağından istenilen mukavemete ulaşmak güçleşmektedir. Bu noktada akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin beton içerisindeki etkileri ve fonksiyonları önem kazanmaktadır. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımıyla, katkının kimyasal yapısından ötürü betonun çökme değerinde bir artış meydana gelmekte bu da işlenebilirliği artırmaktadır. Bu şekilde ilave su kullanmaksızın sağlanan işlenebilirlik sayesinde su-imento oranı dūřrlp mukavemet arttırılmaktadır.

Kr ile İlgili Faktörler; Beton karışım suyu hidratasyon süresince kayba uğrar. Eğer su kaybı önlenmez ise betonun mukavemeti azalır. Ayrıca betonda ani kuruma sonucu meydana gelen bzlmelerden ötürü plastik rötre çatlakları oluşur. Özellikle hidratasyon ısısının önemli artış gösterdiği ilk günlerde beton çok naziktir ve özenle korunması gereklidir. Betonun bu süre içinde kurumaması, donmaması ve sarsıntıya uğramaması gerekir. Bunun için, beton devamlı olarak nemli tutulmalıdır. Bu işlem ilk 3 gün için kesinlikle yapılmalı, 7 ile 14 güne kadar uzatılması ise tavsiye edilmektedir.

Karışım suyunun kaybı, sıcaklık etkisi ile buharlaşmadan, yahut agreganın, kalıpların veya zeminin su emmesinden kaynaklanmaktadır. Buharlaşma, betonun korunması veya kr tatbikiyle, su emme ise agregaların veya zeminin önceden ıslatılması ve su emmeyen kalıpların kullanılması ile nlenebilir.

Kullanılan imento: Çimentonun kimyasal kompozisyonu ve inceliği, beton dayanımına etki eden önemli faktörlerden birisidir. Bilindiği gibi, çimentoda erken

dayanımı sağlayan ana bileşen C_3S , geç dayanımı sağlayan ana bileşen ise C_2S 'dir. Bu etki betonada yansır. Dolayısıyla, yüksek miktarda C_3S içeren çimentoların kullanıldığı betonlarda, erken dayanım daha yüksektir.

Çimento inceliğinin artması özgül alanın artmasını sağlamaktadır. Bu durumda, su ile temas edebilecek yüzeyin fazlalaşmasını sağlayacaktır. Hidratasyon buna bağlı olarak bağlayıcı maddenin mukavemet kazanması da hızlandıracaktır. Böylece, betonun 3, 7, 28 ve 90 günlük mukavemetlerinde artışlar görünür.

Çimento dozajı da beton dayanımıyla ilişkilidir. Belirli sınırlar içerisinde artan dozaj, basınç mukavemetini de artırmaktadır. Ancak bu artış belirli bir yere kadardır. Buradan sonra beton mukavemeti yavaşlar veya durur. Betondaki imento dozajını etkileyen faktörlerin başında agrega granülometrisi gelir. Agrega karışımındaki ince madde miktarı arttıa dozaj yükselirken, agreganın en büyük tane boyutu arttıa dozaj düşmektedir.

Kullanılan Agrega; Agreganın dayanıma etkisi daha çok şekli veya yüzey pürüzlülüğü ile ortaya çıkar. Üretilen betonda, agregalar ile imento hamuru arasında iyi bir aderansın olması betonun mekanik mukavemetinin yüksek değer almasına yardım eder. Burada aderansa olumlu etki yapan agrega yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılar, imento hamurunun agrega yüzeyinden kolayca ayrılmasını güçleştirerek beton mukavemetini artırır. Betonda kullanılmaya en elverişli agregalar kre veya küp şeklinde olanlardır. Öte yandan, yassı ve uzun taneler, beton mukavemetinin düşmesine sebep olurlar.

Beton mukavemeti üzerinde etkili diğer bir hususta, agrega granlometrisidir. Kaliteli beton agregası, gradasyonu en iyi olandır. Agrega tanelerinin tamamen iri veya tamamen ince olması arzu edilmez. Betonda, inceden iri boyuta doğru yavaş ve uygun bir değerşim olması istenir. Bu da uygun bir gradasyon oranının seçilmesiyle elde edilir.

3.2.3.2. Dayanıklılık

Beton hizmet göreceği koşullara göre tasarlanmalıdır. İyi bir kalite kontrol sistemi içinde hazırlanıp yerleştirilen ve bakımı yapılan beton, uzun yıllar hiçbir

onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak, çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı bir beton, bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısıyla, betonun dayanıklılığı mekanik yükler dışındaki kimyasal ve fiziksel etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir. Betonun dış etkilere (çevre koşullarına) karşı gösterdiği direnç, betonun durabilitesi olarak adlandırılır.

Betonun Geçirirmliliği; Beton dayanıklılığında tek başına en etkili parametre su-çimento oranıdır. Su-çimento oranı artıkça, çimento hamurunun gözenekliliği ve dolayısıyla betonun geçirgenliği artar. Geçirgenliği yüksek olan betonlara zararlı sıvı ve gazların nüfuz etmesi çok daha kolaydır. Ayrıca, su-çimento oram yüksek olan betonun dayanımı düşük olacağından, çeşitli kimyasal ve fiziksel etkiler sonucu, içerisinde meydana gelebilecek içsel gerilmelere de yeterli direnç gösteremeyecek ve çatlayacaktır.

Çiçeklenme; Çiçeklenme suyun beton içinde hareketiyle yüzeye getirip biriktirdiği çeşitli tuzlar nedeniyle ortaya çıkan çoğunlukla beyaz renkteki leke ve akıntılardır. Çiçeklenme daha çok estetik bakımdan önem taşır. Suyun, beton içindeki hareketi sonucunda taşıdığı kalsiyum, potasyum ve sodyum sülfatlar ile karbonatların yüzeye çıkmasıyla, bunların daha önce betonda işgal ettikleri yerler boşluk olarak kalır. Bu da betonun dayanıklılığını azaltır. Bir başka deyişle, çiçeklenmenin fazla olması betonun daha gözenekli bir hal almasına ve dış etkilere karşı daha hassas olmasına yol açar (Özkul vd, 1999, Şimşek, 2004).

Sülfat Etkisi; Gerek doğal sularda gerekse atık sularda çeşitli sülfatlar az veya çok miktarlarda bulunurlar. Özellikle yer altı sularında sülfat iyonlarının miktarı çok fazla olabilir. Bazı zeminlerde de zararlı olabilecek miktarlarda sülfat iyonu bulunur. Bu sülfat iyonları beton içerisine nüfuz ederek zararlı hacim artışlarına sebep olur. Bu hacim artışları iki şekilde olabilir; Birincisi, sülfat iyonlarının çimentonun ana bileşeni olan C_3A ile reaksiyona girip sülfato-alüminat tuzlarını meydana getirmesi, ikincisi ise yine sülfat iyonlarının çimentonun hidratasyonu sonucunda meydana gelen kalsiyum hidroksit (CH) ile reaksiyona girip alçıyı oluşturmalarıdır. Sülfat etkisinin azaltılması için iki tür önlem alınabilir. Önlemlerden birincisi, C_3A miktarı

en çok %5 olan sülfata dayanıklı çimento kullanmak, ikincisi ise, hidrasyon sonucu oluşan kalsiyum hidroksit (CH) çeşitli mineral katkıları (puzolan) içeren çimentolar kullanılarak azaltılmasıdır.

Karbonatlaşma Etkisi; Çimentonun hidrasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile havadaki karbondioksit reaksiyona girerek kalsiyum karbonat meydana getirir. Bu olaya karbonatlaşma adı verilir. Karbonatlaşmanın betona önemli bir olumsuz etkisi yoktur. Ancak, betonun pH değerini düşürerek daha asidik bir ortam yaratır ve bu yüzden beton içerisindeki donatının korozyonuna neden olur. Karbonatlaşmayı azaltmak için betonun geçirimsiz olması gerekir. Bu amaçla su-çimento oranını azaltmak, yerleştirme ve sıkışmayı iyi sağlamak ve betonun bakım süresini uzatmak mümkündür. Ayrıca pas payını artırarak karbonatlaşmanın donatıya daha geç ulaşması da düşünülebilir.

Deniz Suyu Etkisi; Deniz suyunun zararlı etkisi betonun bizzat kendisinden çok donatılarda meydana gelen paslanma nedeniyle kendini gösterir. Paslanma neticesinde oluşan hacim artışı, betonda iç gerilmeler sonucunda çatlamalara neden olur. Bu zararlı etkiyi azaltmak için beton geçirimsizliğini azaltmak ve pas payı kalınlığını artırmak gereklidir.

Beton, bu etkilerden başka, donma-çözülme ve alkali-agrega reaksiyonları sonucu meydana gelebilecek zararlı hacim değişikliklerine de maruz kalmaktadır.

3.2.3.3. Rötire

Hacim sabitliği, betonda genel olarak aranan özelliklerdendir. Betonda meydana gelen hacim değişikliği, betonun servis ömrü boyunca yapısal yönden önemli bir deformasyon meydana getirmemelidir (Akçaözoğlu, 2001). Betondaki suyun buharlaşma yoluyla kaybı beton hacminde azalmaya yol açar. Bu büzülme (rötire) beton henüz taze halde iken "plastik rötire", beton sertleşmiş halde iken ise "kuruma rötresi" olarak adlandırılır. Her iki durumda da betonda çatlaklar meydana gelir.

Her iki rötire için de önlem alınması mümkündür. Buharlaşmayı arttıracak her faktör rötreyi de artıracığından, taze betonu rüzgara karşı korumak ve sıcaklığı

düşürmek plastik rötreyi önlemek için alınacak tedbirlerdendir. Kuruma rötresinin etkisini azaltmak içinse betona belirli aralıklarla derz yapılmalıdır. Böylece, betonun rasgele değil de önlem alınmış yerlerden daha az zararla çatlaması sağlanmış olur.

3.2.3.4. Sonik Hız Deneyi

Bu deneyde;

- Elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren bir verici,
- Mekanik sinyalleri elektrik sinyaline dönüştüren bir alıcı,
- Verici ve alıcı arasındaki bağlantıyı sağlayan bir çevirici ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 3.6).

Bu deneyde çapı 31 mm ve daha büyük karotlar kullanılmaktadır. Beton numunelerinin gönderici ile temasta olacak alt ve üst yüzeylerinin son derce düz ve birbirine paralel şekilde hazırlanmış olması gerekir. Deneyler kuru örnekler üzerinde yapılacak ise bu amaçla desikatör kullanılmalı, doymuş koşullarda yapılacak deneyler için ise, örnekler deney anına kadar su içinde tutulmalıdır. Deney tabi tutulacak örnek sayısı her kayaç türü için en az üç adet olmalıdır. Alt ve üst yüzeyleri hassas şekilde düzeltilmiş örneklerin, boyları ve çapları birbirine dik iki ayrı yönde kumpasla 0,1 mm hassasiyette duyarlılıkta ölçüldükten sonra bunların ortalaması alınarak çap ve boy belirlenir.

Önce alıcı–verici uçlar arasına gres sürülmüş standart kalibrasyon silindiri yerleştirilerek dalganın (impuls) geçme süresine (t_0) bağlı olarak sismik hız ölçüm aletinin kalibrasyonu yapılır. Sonrasında, deney numuneleri alıcı-verici uçları arasına yerleştirilerek, P (sıkışma) dalgalarının örneğin bir ucundan diğer ucuna geçmesi için gerekli net süre (t_p) belirlenerek kaydedilir. Deney her örnek için tekrarlanır. Yayılma hızı,

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (3.16)$$

Burada;

V_p : P dalgasının yayılma hızı (m/s),

L : Silindirik deney örneğinin boyu (sinyalin katettiği mesafe, mm)

T_p : $(t_p - t_0)$; P dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs)

t_p : P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μs)

t_0 : Ölçülen sıfır (başlangıç) zamanı (μs)



Şekil 3.6. Sonik hız deney aleti

3.3. Beton Katkı Maddeleri

Çimentoların sahip oldukları özellikleri iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacıyla, beton üretilirken karışıma az miktarda ilave edilen maddelere katkı maddeleri denir (Postacıoğlu, 1986). Katkılar, çimento, agrega ve suyun dışında, betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen şekilde değiştirmek üzere, karıştırma işleminden hemen önce veya karıştırma işlemi, sırasında betona katılırlar. Bu maddelerin beton içerisinde kullanılmasıyla, çimentoların mukavemet artışını hızlandırmak, beton üretiminde daha az su kullanarak mukavemeti artırmak, soğuk havalarda beton dökmeye olanak sağlamak ve dış etkilere karşı daha dayanıklı beton üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilebilir. Katkı maddelerinin kullanılmasıyla betonun maliyetinde bir artış meydana

geliyorsa da bu artışı, elde edilen olumlu sonuçlar fazlasıyla karşılamaktadır. Bu bakımdan, beton üretiminde bazı sonuçların çözülmesinde katkı maddelerine başvurulması ekonomik bir yol olarak kabul edilmektedir.

3.3.1. Beton Katkı Maddelerinin Kullanılması

Katkı maddeleri, taze betonun işlenebilirliğinde ve katılaşmış betonun performansında bir çok faydalı etkileri vardır. Bu faydası beklenen etkileri elde etmek ve beklenmeyen sürprizlerle karşılaşmamak için katkı malzemesi kullanılmasında bilinmesi gereken hususlara ve alınması gereken önlemlere dikkat etmek gereklidir (Atış, 2000, Şimşek, 2004). Bunlar,

- Katkı maddesi, iyi hazırlanmayan bir beton karışımı için veya üretilen kalitesiz bir beton için çare değildir.
- Üretici firmanın vereceği ve ürüne ait teknik detayların bulunduğu kurallara uyulmalıdır.
- Bir çok katkı maddesi betonun birden fazla fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bir katkı maddesi betonun herhangi bir mühendislik parametresini iyileştirirken, diğer bir mühendislik parametresinin bozulmasına neden olabilir. Bu yüzden katkı maddesi kullanılırken dikkatle davranarak yapısal özelliklerde nasıl bir etki bıraktığı iyice incelenmelidir.
- Teknik özelliklerinin yanı sıra katkı maddesi kullanımının ekonomik taraflarını da iyi değerlendirmek gerekir.

3.3.2. Beton Katkı Maddelerinin Sınıflandırması

Beton karışımına ilave etmek için bir çok katkı maddesi bulunmaktadır. Bir çok firma kendi ürününü elde üretmekte ve beton katkısı olarak endüstriye sunmaktadır. Bu katkı maddelerinin yapısal özellikleri iyi bilinmeyince kullanım esnasında bir sürü karışıklığa meyil vermektedir. Bunları tek tek bilmek mümkün olmayacağı için uygun bir şekilde gruplandırıp sınıflandırmak gereklidir. Beton katkı maddeleri 4 ana grupta toplanmaktadır (Erdoğan, 1997, Başyigit, 1993).

3.3.2.1. Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri

Bir beton suya doymun ya da doymuna yakın ise donma neticesinde iç gerilmelere maruz kalır. Donma esnasında buz hacmi % 9 oranında artacağından, bu hacim artışı donmamış olan suların betonun iç kısımlarına kaçmasına neden olur. Beton içinde oluşan iç gerilmeler betonda çatlamalara ve yüzeysel kısımlarda ayrışmaya, bunun sonucunda da bozulmaya sebebiyet verir. Çatlamalar ve bozulmalar donma çözülme sayısı arttıkça fazlalaşır. Bir beton, her ne kadar iyi bir karışım olarak hesaplansa da donma çözülme olayı mutlaka betona zarar verir. Yol kaplamasında, barajlarda ve temellerde kullanılan beton donma çözülme problemi ile çok sık karşılaşmaktadır.

Donma ve çözülmeden dolayı doymun ya da doymuna yakın beton üzerinde oluşan zararları elimine etmek ve iç gerilmeleri azaltmak amacıyla önlem almak gerekir. Bu ise taze beton içerisine birbirinden bağımsız hava kabarcıklarının katılması ile mümkündür. Hava kabarcıkları bu içsel gerilmelere karşı bir tür yastık vazifesi görür. Su hava kabarcıklarına doğru hareket ederek bunların bir kısmını doldurur ve genleşme sırasında tamamı dolu olmadığından içsel gerilmeler azalır. Hava kabarcıkları, genelde küresel bir yapıya sahip olup boyutları çok küçüktür. Ortalama çapları 0,08-0,1 mm arasındadır.

Hava kabarcıkları taze beton karışımına hava katkısı ile ilave edilmektedir. Bu madde taze beton karışımı yapılırken karışıma ilave edilir. Hava katkısı ilavesi ile üretilen betonlara "hava katkılı beton" denir. Katkı ilavesi ile betona katılan kabarcıklar, beton yapımı sırasında sıkışarak kazara beton içinde kalan hava boşluklarından farklıdır. Ölçüm olarak bunları birbirinden ayırmak mümkün değildir. Ama işlevleri çok farklıdır. Hava katkısı ile betona ilave edilen hava kabarcıkları boyut olarak çok küçük ve şekil olarak düzenlidir. Betona bilinçli olarak verilirler. Kazara beton içinde kalan hava kabarcıklarının ise boyutları diğerine göre çok büyük olup, şekil olarak düzensiz bir dağılım gösterirler. Hava katkılı betonun üretilmesindeki asıl amaç; betonun donma ve çözülme karşısındaki direncini artırarak uzun ömürlü olmasını sağlamaktır.

3.3.2.2. Kimyasal Katkı Maddeleri

Kimyasal katkılar, priz süresini ayarlayan ve karışım suyunu azaltan katkılardan oluşur (Şimşek, 2004). Bunlar;

- Tip A: Karışım suyunu azaltıcı katkılar,
- Tip H: Priz süresini hızlandırıcı katkılar,
- Tip G: Priz süresini geciktirici katkılar ,
- Tip AH: Karışım suyunu azaltıcı ve priz süresini hızlandırıcı katkılar,
- Tip AG: Karışım suyunu azaltıcı ve priz süresini geciktirici katkılar,
- Tip YA: Karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcı katkılar,
- Tip YAG: Karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcı ve priz süresini geciktirici katkılar.

3.4. Hafif Beton Üretiminde Pomza Kullanımı

1990'lı yıllarda, özellikle ısı izolasyonu ve öz ağırlığı bakımından normal betona nazaran oldukça büyük avantaja sahip olan hafif beton, gittikçe artan bir eğilimle kullanım alanı bulmaya başlamıştır. İnşaat sektörünün önemli problemlerinden biri olan bina ağırlıklarının azaltılabilmesi için günümüze kadar çok çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerde hafifliğin temel unsur olmasının yanında, malzemenin doğal bir malzeme olması, yük taşıyabilmesi, yüksek sıcaklıklara karşı dayanabilmesi, gürültü kirliliği açısından ses izolasyonu sağlaması, ısısal konforun sağlaması açısından ısı izolasyonu sağlaması gibi özelliklerden dolayı tercih edilmiş ve yoğun araştırmalarda bulunulmuştur (Yaşar ve Erdoğan, 2005). Bu özelliklere cevap verebilen ve inşaat sektörünün temel elemanı haline gelen tuğla yerine, inşaat sektörünün gelişmesi ve modern tekniklerin ortaya çıkması ile günümüzde yüksek dayanım, büyük boyutlu hafif bileşenlerin kullanılması zorunlu kılınmıştır. Modern teknikler, bina elemanlarının yüksek mekanizasyon ve otomasyonla iklim şartlarına bağlı kalmaksızın, inşaat bölgesinde ek işlemlere gerek duyulmayacak şekilde yüksek verimlilikle üretilmesini gerektirmektedir. Bu nedenlere bağlı olarak, günümüz inşaat sektöründe hafif malzemelerin

kullanılmasında giderek bir artış görülmektedir. Hafif malzemelerin ucuz olmaları, teknoloji ithali ve büyük yatırımlar gerektirmemeleri, başta ısı yalıtımından sağlayacağı enerji tasarrufu olmak üzere işçilik, demir ve kereste tasarrufu v.b. bu konularda önemli avantajlar getirmektedir.

Yapıda hafif malzeme kullanmak ihtiyacı tarihte çok eski zamanlardan beri istenmiş olup, Romalılar zamanında Pomza taşı gibi doğal hafif taşlar inşaat sektöründe sıkça kullanılmıştır. Ancak, hafif malzemenin beton imalinde kullanılması geçen asrın ortalarına dayanmaktadır. Bu tarihlerde Almanya’da “bims betonu”, diğer bir deyişle Pomza taşı agregası kullanarak hafif beton imal edilmeye başlanmıştır. Ayrıca, ABD, İsveç, Danimarka ve ve diğer bazı Avrupa ülkelerinde türlü patentler altında hafif betonlar imal edilmişse de, hafif betonların çoğunlukla yapı endüstrisinde kullanılmaya başlanması ve gelişimi II. Dünya savaşı sonrasına dayanmaktadır (Özkan ve Tuncer, 2001, Gündüz, 2001).

Pomza agregalı hafif betonlar, bugünkü modern yapı endüstrisinde, istenen az ağırlık yanında ısı direnci, ses absorpsiyonu ve yangına karşı direnci gibi en iyi özelliklere sahiptirler. Yapılan araştırmalarda normal beton yerine Pomza agregalı hafif beton kullanılmasının başlıca sebepleri arasında, hafiflikleri nedeniyle kesitlerin küçülmesi ve dolayısıyla donatı ve malzeme ekonomisi sağlaması yer almaktadır. Ayrıca kullanılabilir mekanların artması, ısı ve ses yalıtımı için ikinci bir malzeme kullanımına ihtiyaç göstermemesi, donma çözülme ve ateşe dayanıklılığın yüksek olması ve depreme dayanıklı olmaları gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler (Gündüz vd, 1998b).

Üretim yöntemi, agregası çeşidi, karışım oranları gibi etkenlere bağlı olarak Pomza agregalı hafif betonların birim ağırlıkları, dolayısıyla dayanım ve yalıtım özellikleri değişebilmektedir. Uygulama amacına göre değişik özelliklere sahip hafif betonlarla dolu ve taşıyıcı olmayan yalıtım elemanları üretilmektedir. İlk uygulamalarda Pomza agregalı hafif betonun ekonomik yararları olarak birim hacim ağırlıkları ve ısı yalıtım katsayılarının küçüklüğü teşkil etmektedir. Ayrıca, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanımlarında başarılı sonuçlar elde edilince, bugün yalıtım görevine taşıyıcı eleman olarak kullanılma imkanları araştırılmaktadır.

Hafif yapı elemanının boyutuna göre TS 3234'te pomza taşı en büyük tane boyutunun 20 mm, 12,5 mm veya 10 mm olması gerektiği öngörülmüştür. Gevşek birim hacim ağırlığı TS 1114 EN 13055-1, standardına göre hafif agregada 1100 kg/m³'ü geçmemelidir. TS 3234'e göre bims betonda Pomza için kuru gevşek birim hacim ağırlığı 600 kg/m³ olmalıdır. Kil toprakları TS 706 EN 12620'e göre kuru agregada ağırlığının %2'sini geçmemelidir. Yanıcı madde oranı TS 1114 EN 13055-'e göre hafif agregada %5'i geçmemelidir. Sülfat miktarı TS 1114 EN 13055-1'e göre hafif agregada, kuru agregada ağırlıklarının %1,5'unu geçmemelidir. Özgül ağırlığı farklı çıkabilir. Su emme ise 10 dk'da a saatte emebileceği suyun % 90'ını emdiği belirtilmektedir. Pomza, normal ticari aralık olarak, kaba metalleri bitirmek için -6 mesh, iyi bir polisaj için -200 mesh'tir. Değişik şartlar altında, genişmiş kil ve şeyller hafif agregada kullanılabilir. Genişmiş perlit, demir cürufu, küller ve diatomit pomzanın alternatifi olabilir.

Yine genişmiş perlit ve cam elyafı da bir yerde sentetik pomza olarak kullanılabilir. Blok halindeki aşındırıcı pomza, endüstride silikon karpitten, alüminyum oksitten, novakülit gibi doğal kayalardan yapılmış tuğlalarla rahatlıkla rekabet edebilmektedir. Zayıf aşındırıcı olarak pomza, grena, slika kumu, alçı taşı ve diatomit ile yarışabilmektedir. Vermikülit ve genişmiş pomza akustik plaster piyasasında da pomza ile yarışabilmektedir. Bunların dışında puzolan türü olarak kullanılan pomza, uçucu kül ve diatomit ile aynı durumdadır.

3.4.1. Hafif Agregalı Betonlar

Kum ve çakıl agregaları ile yapılmış normal betonların kuru birim hacim ağırlıkları 2200-2600 kg/m³ arasındadır. Beton yapımında kullanılan kum, çakıl veya çimentonun bir kısmı beton yapısında hava boşlukları meydana getirdiği için veya geleneksel agregalar yerine hafif ve çok hafif agregalar kullanıldığında betonun hacim ağırlığı azaltılabilmektedir. Bu yolla üretilen, kuru birim hacim ağırlığı 2200 kg/m³ 'den düşük olan betonlar, hafif beton olarak adlandırılmaktadırlar. Kuru birim hacim ağırlığı 800 kg/m³ den düşük beton yapım yöntemleri, kullanım koşulları ve alanları farklı olduğundan, çok hafif betonlar olarak adlandırılmak yerinde olacaktır.

Hafif agreganın tarifini yapmak gerekirse, hafif agregası (beton için), su çimento ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak hafif beton imalinde kullanılan, gevşek birim ağırlığının en büyük değeri 1200 kg/m^3 ü aşmayan, kırılmış veya kırılmamış gözenekli inorganik agregalardır (TS 1114 EN 13055-1, 2004).

Normal ağırlıklı beton, maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliği ve monolitik yapısı gibi özelliklerden dolayı, diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır. Ancak bu betondan inşa edilen yapı elemanlarının birim ağırlıklarını fazla olması istenmeyen bir durumdur.

Bu elemanlar kendi öz ağırlıklarını taşıyabilmek için oldukça fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle, normal betonda kullanılan tabii agregası yerine boşluklu hafif malzemenin kullanımı ile daha hafif beton üretimi yoluna gidilmiş ve bu konuda önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Hafif beton üretiminde doğal ve suni hafif agregalar olmak üzere iki tip agregası kullanılmaktadır (Gündüz vd, 1998b).

Doğal hafif agregası: Meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, tuf, pomza, lav curufu, diatomit gibi agregalara verilen addır.

Suni hafif agregası: Yüksek fırın cürufu, kıl, uçucu kül, kuvarsit, genleştirilmiş perlit, obsidyen, açılmış vermikulit, genişletilmiş şist, genişletilmiş arduvaz gibi agregalara verilen addır.

Ancak suni agregalar inşaat sektöründe üreticilerin azlığı nedeniyle temin edilmesi oldukça zordur. Hafif agregalardan üretilen betonun, düşük yoğunluğu, ısı yalıtımı, yangına karşı dayanımı, ısı şoku dayanımı ve deformasyonu ile ilgili özellikleri önemli avantajları olmaktadır. Hafif agregalar tane büyüklüğü dağılımına göre; ince agregası, iri agregası, karışık agregası olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (TS 1114 EN 13055-1, 2004). Hafif agregaların kullanım yerlerine göre istenilen minimum dayanım değeri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. TS 1114’e göre hafif agregası kullanım yerlerine göre yoğunluk değerleri

Kullanım Yeri	Yoğunluk (kg/m^3)
Yalıtım Betonlarında	400
Ortalama Mukavemetli Betonlarda	400-650
Taşıyıcı Betonlarda	650

İnşaat sektöründe taşıyıcı hafif beton için gerekli olan hafif agregalar genleştirilmiş kil genleştirilmiş şist ve genleştirilmiş arduvazın kullanımı ile elde edilen yapı elemanlarının gelişimi, ülkemizde henüz yeterli düzeye ulaşmamıştır. Bu amaçla, ülkemizde bol miktarda bulunan doğal hafif agregaların değerlendirilmesi gündeme gelmiş ve pomza taşı, volkanik tüf ve volkanik cüruf gibi malzemeler, yaygın kullanım alanı bulmuştur. Su emme bakımından yeterli tedbirler alındığında, bu hafif agregalarla yalıtım betonlarının üretilmesi ve bunların taşıyıcı hafif beton olarak kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir.

Konutlarda hafif veya yarı hafif beton kullanmakla, enerji yönünden kazanç sağlanmaktadır. Konutlarda kullanılacak hafif agregalı taşıyıcı betonlar ses yutuculuğu bakımından daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Konut yapımı için kurulabilecek prefabrik elemanların üretilmesiyle ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar sağlayacağı ekonominin yanında, kendi ağırlığının azalması dolayısıyla deprem kuşağında bulunan yörelerde kullanımının yaygın olduğu görülmektedir.

3.4.2. Pomza Karışımları ve TSE Standartları

Pomza taşı agregası yaklaşık %70 boşluk içermektedir. Doğada incesi irisinden fazladır. Yarı hafif beton üretiminde incisinin hafif agregası olması demektir. Fazla boşluklu bu doğal agregası, normal agregası yanında boşluk gibi düşünülebilir. Hafif agregalı (pomza kullanımında) betonda istenen agregası şartları aşağıda belirtilmiştir.

- Zararlı Maddeler: Sülfat miktarı (SO_3) cinsinden tayin yapıldığında bulunan değer, ağırlıkça %1 den çok olmamalıdır. Hafif agregada humus ve benzeri organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zararlı olabilirler. Bu bakımdan TS 3673'e uygun deney yapıldığında, koyu sarı, kahverengi ve benzeri koyu renkler meydana gelmemelidir (TS 1114 EN 13055-1, 2004).
- Kil Topakları: agregadaki kil toprakları kuru agregası ağırlığının %2'sini geçmemelidir (TS 706 EN 12620, 2003).
- Tane Biçimi ve Yüzey Yapısı: Değişik yerlerde elde edilen bims agregaları tane biçimi ve yüzey yapısı bakımından oldukça farklıdır. Bims agregalarının tane

biçimi ve yüzey yapısı karışım içinden ince ve iri agrega miktarlarını, betonun işlenebilirliğini, ince/iri agrega oranını, su ve çimento miktarını etkiler (TS 3234, 1978).

- Su Emme ve Nem Yüzdesi: Pomza agregaların 24 saatlik su emme yüzdeleri ince agregalarda %29, iri agregalarda %30 civarındadır. Bu değerler agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, tane biçimi ve yüzey yapısına göre değişir. Normal depolama şartlarındaki nem yüzdesi genellikle su emme kapasitesinin 2/3'ünü geçmez (TS 3234, 1978).

- Yanıcı Madde: Agregada yanıcı madde oranı %5'i geçmemelidir (TS 1114 EN 13055-1, 2004).

- Maksimum Tane Çapı: Bims beton agregalarında tane çapı 20,0 mm'den büyük olmamalı, yerine göre 12,5 mm veya 10,0 mm'lik maksimum tane çaplı karışımlar tercih edilmelidir (TS 3234, 1978).

Deney numunelerinde kullanılan esas boyut "d", verilen boyutların $\pm \%19$ sınırı içinde olmalıdır. Numunelerin her biçimi için alınacak esas boyut "d", beton agregasının en büyük tane büyüklüğünün en az 4 katı olarak seçilmelidir (TS 5929 ISO 1920, 1999). Dolayısıyla en büyük agrega tane büyüklüğü beton karışımındaki agreganın % 90'ının geçeceği en küçük kare delikli elek göz açıklığı olarak kabul edilir. Küp deney numunelerinde esas alınacak boyutlar 100-150-200-250-300 mm'dir. Biçim toleransı olarak, küpün yükleme uygulanacak yüzeylerinin düzgünlük toleransı 0,0005d olmalıdır. Küpün bitişik yüzeyleri arasındaki ile üst ve alt yüzeyleri arasındaki açı $90^0 \pm 0,5^0$ olmalıdır. Küp kalıplarda kenar uzunluklarındaki toleranslar 150 mm boyutlarına kadar $\pm 1,5$ mm olmalıdır (TS 5929 ISO 1920, 1999).

Kalıplar çelik, dökme demir veya hidrolik çimentolarla reaksiyona girmeyen uygun bir malzemeden yapılmalıdır (TS 3114 ISO 4012, 1998).

Deney presi, kırılma yükünün en az %1'ini gösterecek hassasiyette bulunmalıdır (TS 3114 ISO 4012, 1998). Yükleme hızı $0,5-2 \text{ kg/cm}^2$ olmalıdır (TS 3289 EN 1354, 1996).

Laboratuarda kova, kürek, mala, kepçe, sıyırma çubuğu ve levhası, cetvel, lastik eldiven ve metal karıştırma kapları gibi aletler bulundurulmalıdır. Kullanılacak terazi veya baskül tartılan ağırlığın % 0,3'ü duyarlılığında olmalı, bu aletlerin

kalibrasyonu zaman zaman kontrol edilmelidir. Genel olarak bir terazi veya baskülde tartılacak en küçük ağırlık aletin kapasitesinin % 10'undan küçük olmamalıdır. Beton malzemesinin hazırlanmasında sıcaklık, beton harmanın karılmasından hemen önce malzemenin homojen olarak aynı sıcaklıkta (tercihen 20⁰C - 25⁰C) olması sağlanmalıdır. Beton sınıfına göre yaklaşık çimento miktarları, PÇ 32,5 için Çizelge 3.8'de verilmiştir (TS 3234, 1978).

Çizelge 3.8. Farklı beton sınıflarında kullanılan PÇ 32,5 için çimento miktarları (kg/m³)

Beton sınıfı	Çimento Miktarı
BB 40	150-250
BB 80	220-300
BB 120	250-350
BB 160	300-400

Çimento ise, kullanılmadan önce iyice karıştırılarak homojenliği sağlanmalı ve göz açıklığı 1 mm olan kare delikli elekten elenmelidir. İri agreg a harmana katılır ve taneleri harman içinde düzgün olarak dağılıncaya kadar su ilave edilenden karıştırılır. Karma suyu ve varsa suda eritilmiş katkı maddesi harmana katılır ve harman istenilen kıvamda, homojen bir beton elde edilinceye kadar karılır. Karma süresi 5 dakikadan az olmamalıdır.

Su miktarının saptanmasında çeşitli agregalarda yaklaşık 5 cm çökme verecek kıvamda 1 m³ beton için gerekli net su miktarı 180 kg ile 270 kg arasında değişir. Ancak karışım hesabı 10 dakikalık özgül ağırlık faktörleri kullanılarak yapılmalıdır. Ancak beklenen kaybı karşılamaya gerekli su miktarı hakkında bir fikir edinmek için karışım orantılı , daha uzun süre bir emdirmeye tekabül eden özgül ağırlık faktörleri ile ikinci bir defa hesaplanmalıdır. İnce agreganın toplam agregaya oranında meydana gelen her %1'lik artış (veya düşüş) için 1 m³'deki su miktarı yaklaşık 1,5 kg, çimento dozuda %1 kadar arttırılır (veya eksiltir). Çökmedeki her 2,5'cm'lik artış (veya düşüş) için m³'deki su miktarı ortalama 6 kg ve çimento dozu da % 3 arttırılır (veya eksiltir). Çökme değerinin 7,5 cm den küçük olması halinde, bir miktar daha su ve buna bağlı olarak da bir miktar daha fazla çimentoya gerek duyulur (TS 2511, 1977). Kalıplara doldurma, işleme en az iki tabaka halinde

olmalıdır. Kalıplar sıkıştırılıp doldurulduktan sonra üst yüzü tesviye edilir (TS 3234, 1978). Kalıplara doldurulan beton yüzeyi düzlenip perdahlanır. Buharlaşmayı önlemek için kalıp üstü düzgün bir kapakla kapatılmalı veya kür odası varsa oraya taşınmalıdır.

Kalıplar, numunenin bozulma tehlikesi ortadan kalkmadan sökülmemeli ancak bekleme süresi dökümden sonra 7 günü geçmemelidir. Numuneler hazırlanmalarından itibaren en erken 20 saat ve en geç 48 saat sonra kalıplardan çıkarılmalıdır. Numuneler dökümden sonraki ilk 24 saat $21^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ tutulmalıdır, 24 ± 2 saatten sonra rutubetli ortamda ve $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de depo edilmeli, akan suya maruz bırakılmamalı ve doydun kireçli su kullanılmadıkça su içinde tutulmalıdır. Bu şekilde 7 günü tamamlayan numuneler, 18 gün süreyle $21^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de sıcaklık ve 50 bağıl nemli ortamda tutulmalı ve sonra 3 gün süreyle $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlı bir etüvde kurutulmalıdır (TS 3234, 1978).

Bütün deney numunelerinin kütesinin $\pm 0.25\%$ hassasiyetle tayin edilmesi gerekir. Numunelerin nem durumu ile ilgili not alınmalıdır. Birim hacim kütesi, bu numunelerin birim hacim ağırlığı kütesinin, belirlenmiş boyutlardan hesaplanan hacme bölmek suretiyle yapılır (TS 3114 ISO 4012, 1998).

Deney numuneleri kür odasından (uygun sudan) çıkarıldıktan ve yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra deney başlanır. Deney presinin çelik yükleme plakaları ve bunlarla temas edecek numune yüzeyleri iyice temizlenmelidir. Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe tesiri yapmayacak tarzda, deney numunesi kırılincaya kadar devam edilir. Numune kırılana kadar yükün uygulanmasına devam edilmeli ve maksimum yük tespit edilmelidir (TS 3114 ISO 4012, 1998).

3.4.3. Pomza Agregalı Betonların Özellikleri

Pomza agregalı betonların normal betonlara karşı çok sayıda artı özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerin en önemlilerini aşağıda verilmiş durumdadır (Cengizkan vd, 1999).

- Kullanım amacına göre pomza agregalı hafif betonun birim ağırlığı önemli derecede farklılık gösterir. Yapı taşıyıcı bu panolara ağırlık $1-1,2 \text{ t/m}^3$ olabilir. Bu

betonun dayanımı 10-15 MPa civarındadır. Kullanımının en önemli yararı ısı iletkenliğinin düşük (0,3 kcal/m.saat.⁰C) olmasıdır. Normal betonarme yapılarda bu betonun birim hacim ağırlığı 1,5 t/m³ mertebesinde dir. Dayanımları ise 30 MPa'ya kadar ulaşabilir. Sanat yapılarında kullanılmak üzere birim hacim ağırlığı 1,7-1,9 t/m³ ve dayanımları 50 MPa'a ulaşan hafif beton yapmak mümkündür.

- Pomza agregalı betonların çekme dayanımı yaklaşık olarak normal betonun çekme dayanımına yakın değerlerdedir. Ancak bu dayanım değerinin, kuru havalarda önemli derecede azaldığı gözlenmektedir.
- Ani elastisite modülü yaklaşık olarak normal betonunkinin yarısı kadardır. Bu özellik hafif beton kirişinin normal beton kirişlerine göre çok daha fazla sehim yapmasına olanak sağlar.
- Pomza agregalı betonların sıcaklık genleşme katsayısı yaklaşık olarak normal betonunkinden % 25 daha düşüktür. Dolayısıyla da pomza agregalı hafif betonlar sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklıdır. Bu da önemli derecede farklı sıcaklıkların etkisine maruz kalacak olan hiperstatik yapılarda hafif betonun kullanımının yararlı olacağını göstermektedir.
- Isı iletkenliği, birim hacim ağırlığa ve su içeriğine göre değişmekle beraber, bu iletkenlik normal betonunkinden çok düşük değerlerdir.
- Pomza, normal beton agregalarına göre daha fazla şekil değiştirmeye yatkın olduğundan, rötrenin etkisiyle çatlama ihtimali betona göre oldukça azdır.
- Pomza agregalı betonların sünme şekil değiştirmesi, normal betona göre yaklaşık % 40 daha büyüktür.
- Pomza agregalı betonların ısı iletkenlikleri ve genleşme katsayıları küçük olduğundan, bu betonların yangına karşı dayanımları normal betona göre çok daha yüksektir.
- Pomza agregalı betonlar önemli miktarda su emmesine rağmen donmaya karşı dayanımı yüksektir. Zira suya doymun olmayan çok sayıda gözemeğe sahip olmasından dolayı zarar görmeden buzlanma ve genleşmesine imkan vermektedir. Bu tür betonlar, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan, kışın beton dökümü için de uygundur. Çünkü çimento prizinden doğan ısıya normal betona göre daha uzun süre muhafaza eder.

- Donatı-beton kenetleşmesi (aderans) bakımından ise, kenetleşme konusunda CBE düşey konumdaki donatı çubukları için normal betondaki kenetlenme boyunu, yatay konumdaki donatı çubukları içinse aderansı geliştirilmiş donatılarla, kenetlenme boyuna 1,5 katını kullanmayı önermektedir. Aderanstaki bu azalma, beton dökümünde boşluk oluşma ihtimalinin normal betona göre daha büyük olmasından meydana gelmektedir.
- Pomza agregalı hafif betonun aşınma dayanımı normal betona göre çok daha fazladır.
- Pomza agregalı hafif betonun korozyona karşı dayanımı en az normal betonunki kadardır. Bu betonun özellikle deniz suyuna karşı da dayanımı çok yüksektir. Bu nedenle, sahil beldelerinde yer alan inşaat sektöründe giderek artan bir talep bulunmaktadır.
- Dinamik etkiler altındaki davranışı açısından ele alındığında ise; pomza agregalı betonlarda dalga yayılma hızı normal betonunkinden yaklaşık %25 daha küçüktür. Titreşimleri daha az iletir. Şok etkilerini daha iyi absorbe eder. Bu olayda deprem etkilerinin azalmasına neden olmaktadır (Gündüz vd, 1998b).

3.5. Bimsblok Üretimi ve Teknolojisi

Ülkemizde güncelliğini koruyan en önemli sorunlardan biri tasarruftur. Özellikle yakıt tasarrufu konusunda konut ve işyeri gibi kapalı mekanlarda ısı yalıtımının uygulamasıdır. Isı yalıtımı konusunda bir çok önlemler ortaya konulmasına karşılık, istene seviyeye ulaşmamıştır. Kuşkusuz bunun nedenleri arasında bu konuda yeterli bilincin meydana gelmemesi ve inşaat başlangıcında ekonomikliğin düşünülmesidir. Ancak, ülkemizde en ucuz ve bol malzemeler kullanarak gerçekleştirmek mümkündür.

Pomzadan imal edilen yapı malzemelerinin en önemlisi bimsbloklardır. Bimsbloklar yüksek ısı ve ses yalıtımı, yüksek mukavemet göstermeleri ve depreme dayanıklı mekanları en ucuza mal etme gibi özelliklerinden dolayı vazgeçilmez olmuşlardır. Günümüzde dünyanın pek çok ülkesinde bu hammaddenin yıllık tüketim miktarı 20 milyon m³'ü geçmektedir. Pomza özellikle gelişmiş ülkelerin

inşaat endüstrisinde ısı ve ses izolasyonu sağlamak için çok miktarda tüketilen ucuz ve önemli bir hammaddedir (Gündüz vd, 1998b).

Bimsbloklarla inşası yapılan binalarda yüksek ses ve gürültülere karşı sessiz ortamlar meydana getirilmektedir. Pomza ve mamulü bimsbloklarda homojen olarak dağılmış eşsiz doğal boşluklu yapısı, hafifliği, kristal suyu içermesi, ısı ve sese karşı mükemmel yalıtım özelliği gibi niteliklerinden dolayı, kullanım miktarı her geçen sene artma trendi göstermektedir. Ayrıca, yapısal konfor, gürültünün neden olduğu stres ve fazladan enerji tüketimi ve bunun neticesinde meydana gelen hava kirliliği açısından, yapılarda bu hammaddenin kullanılmasında bir çok faydalar getireceği görülmüştür. Özellikle pomzadan imal edilen betonlarda normal kum yerine pomza kullanıldığı zaman, bina ağırlığında 1/3 oranında bir azalma ve temele iletilen yük miktarının azalmasından dolayı inşaat demirinden yaklaşık %17 miktarında tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca, pomzanın ısı geçirgenlik katsayısı normal betondan 4-6 kat daha izolasyon sağlamakta olup, bu özelliğinden dolayı da büyük miktarda izolasyon sağlamakta olup, bu özelliğinden dolayı da büyük miktarda ısı ve enerji sağlamaktadır. Bimsbloğun örnek fotoğraf görünümü Şekil 3.7’de verilmiştir.

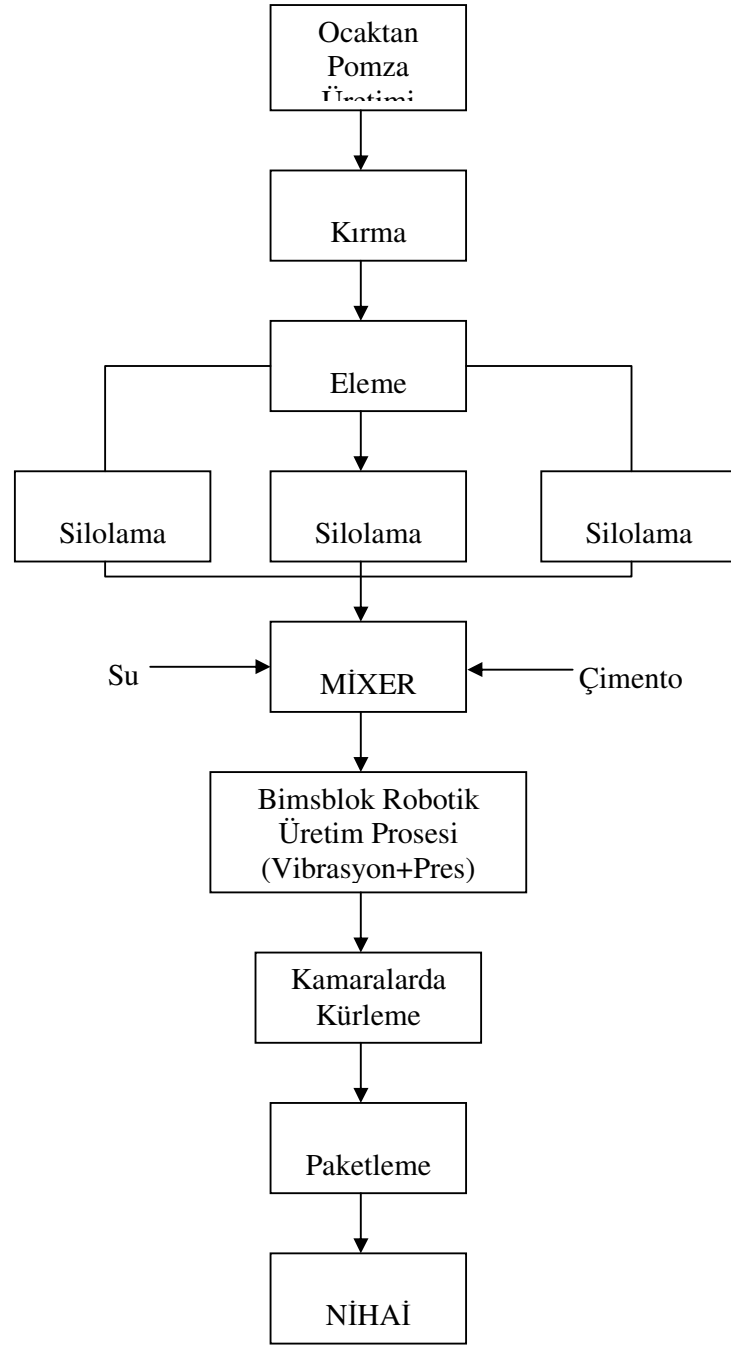


Şekil 3.7. Farklı tip ve boyuttaki bimsbloğun görüntüsü

3.5.1. Bimsblokların Üretim Yöntemi

Pomza taşı, pomza maden ocağından bir lastik yükleyici ile kazılarak, kamyonlara yüklenir. Endüstriyel önem taşıyan yataklardan açık işletme metodu ile üretilen pomza madeni, kamyonlar ile Bimsblok üretim prosesi için fabrikalara sevk edilir. Fabrikada uygun kırma eleme sistemlerinde boyut küçülterek sınıflandırılır ve Bimsblok agregası haline dönüştürülür. Boyutlandırılmış pomza agregası ayrı ayrı silolara istif edilir. Bimsblok üretim sistemi, tamamen bilgisayar otomasyonlu robot teknolojisi ile donatılmış olan mekanize bir sistemle, silolarda toplanan bims agregası ve bağlayıcı olarak çimentonun su ile homojen olarak karıştırılması için miksera atılır. Oluşturulan karışım, yüksek basınç ve vibrasyon altında kalıplara preslenir. Kalıp içerisinde istenen şekle giren pomza, paletler, elevatör ve taşıyıcı robot vasıtasıyla priz kazanmak üzere kamaralara yerleştirilir. Bimsbloklar istenilen dayanıma eriştikten sonra, yine taşıyıcı ve istifleyici robot vasıtası ile stok alanına sevk edilir.

Bimsblok üretiminde malzemelerin alınması, basınç ve vibrasyon miktarları gibi değişkenler tamamen bilgisayar ünitesince belirlenerek uygulanmaktadır. Üretimin her aşamasında, tamamen bilgisayarlı otomasyon söz konusudur. Bimsblok üretim prosesinin sembolik akım şeması Şekil 3.8’de verilmiştir (Gündüz vd, 1998b).



Şekil 3.8. Bimsblok üretim prosesi akım şeması

3.5.2. Bimsblok Ürünleri ve Analizi

Bimsbloklar, hammaddesi volkanik olaylarla meydana gelmiş olan, pomza taşından üretilmektedir. İnşaat sektöründe 40'dan fazla kullanım alanı bulunmaktadır. Bimsbloklar özellikle hafifliği, ısı ve ses yalıtımı, ateşe karşı dayanımı, doğal şartlardan etkilenmemesi ve mükemmel sıvı tutuculuğu gibi üstün niteliklerinden dolayı pek çok ülkede vazgeçilmez yapı elemanı olarak kullanılmaktadır.

TS EN 771-3, 2005, standardına göre Bimsblok ürünleri genelde techizatsız olarak bims betondan elde edilmektedir. Bimsblok ürünlerini boyut, şekil ve geometrik durumlarına göre üç ayrı normda sınıflandırmak mümkündür.

Bims tuğla,

- Boşluklu duvar bimsblokları,
 - Tek sıra boşluklu bimsbloklar
 - İki sıra boşluklu bimsbloklar
 - Üç sıra boşluklu Bimsbloklar
 - Dört sıra boşluklu Bimsbloklar
- Asmolenler
 - Düz asmolenler,
 - Filigram tipi asmolenler

Üretilen bimsblokların tip ve ebatları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

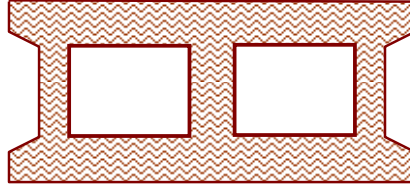
Çizelge 3.9'da verilen ürünlerin değerlendirmesinde öncelikle ele alınabilecek ilk analiz, bimsblokların geometrik boyutlandırmaları ve boyutlara bağımlı dolu ve/veya boşluklu alanlarının incelenmesi olmaktadır. Bu incelemeye bağımlı olarak, bimsblokların kırılma yük değerlendirmeleri de ayrı ayrı tanımlanabilmektedir. Burada göz önünde bulundurulan basınç mukavemeti değeri, TS EN 771-3'de öngörüldüğü üzere ortalama 25 kg/cm^2 olarak ele alınmaktadır. TS EN 771-3 standardında tanımlanan bimsblok geometrik boyutlandırmalarına ait analiz değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.9. Bimsblokların tanımlanma şekline göre yapılabilir tip ve ebatları

Bimsblok Türü	Bimsblok ebatları (mm) (en x boy x yükseklik)
Bims Tuğla	85 x 190 x 190
	135 x 190 x 190
Tek sıra boşluklu bimsblok	100 x 390 x 190
	150 x 390 x 190
	190 x 390 x 190
İki sıra boşluklu bimsblok	100 x 390 x 185
	150 x 390 x 185
	190 x 390 x 185
	200 x 390 x 185
	250 x 390 x 240
	300 x 390 x 240
Üç sıra boşluklu bimsblok	200 x 390 x 185
	250 x 390 x 240
	300 x 390 x 240
Dört sıra boşluklu bimsblok	200 x 390 x 185
	250 x 390 x 240
	300 x 390 x 240
	365 x 490 x 240
Düz asmolen bloklar	100 x 450 x 200
	100 x 450 x 220
	100 x 450 x 250
	100 x 450 x 280
	100 x 450 x 300
	100 x 450 x 320
	100 x 450 x 4000
Filigran tipi asmolen bloklar	100 x 450 x 200
	120 x 530 x 200
	250 x 530 x 200

3.5.2.1. Tek sıra boşluklu norm bimsbloklar

Tek sıra boşluklu bimsbloklar 3 farklı boyut ve ebatla tasarlanmışlardır. Bu bimsblok türleri genelde inşaat iç duvarlarında kullanılmaktadırlar. Tek sıra boşluklu bimsblokların sembolik görünümü Şekil 3.9’da verilmiştir. Ayrıca bu boyuttaki bimsblokların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Tek sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi

Çizelge 3.10. Tek sıra boşluklu bimsblokların TS EN 771-3’e göre fiziksel ve mekanik özellikleri

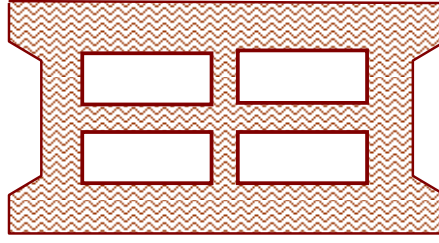
Fiziksel Özellikler		100 x 390 x 185	150 x 390 x 185	190 x 390 x 185
En		100	150	190
Boy		390	390	390
Yükseklik		185	185	185
Et Kalınlığı	Boyuna	30	30	30
	Enine	30	30	30
	İç	25	25	25
Harç cebi	Genişlik	40±5	80±5	120±5
	Derinlik	20±2	20±2	20±2
Mekanik Özellikler				
Yüzey alanı, mm ²		39000	58500	74100
Dolu yüzey alanı, mm ²		27200	31850	35250
Boş yüzey alanı, mm ²		11800	26650	38850
Doluluk oranı, %		69,74	54,44	47,57
Kırılma yükü, kg		9750	14625	18525
Dolu alan basınç değeri, kg/cm ²		35,85	45,92	52,55
Dayanım faktörü		17,85	13,61	11,90

3.5.2.2. İki sıra boşluklu norm bimsbloklar

İki sıra boşluklu bimsbloklar 6 farklı boyut ve ebatta tasarlanmışlardır. İki sıra boşluklu bimsbloklar genellikle inşaat dış duvarları ve kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu boyuttaki bimsblokların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.11’de verilmiştir. Ayrıca, İki sıra boşluklu bimsblokların sembolik görünümü Şekil 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.11. İki sıra boşluklu bimsblokların TS EN 771-3’e göre fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler		100 x 390 x 185	150 x 390 x 185	190 x 390 x 185
En		100	150	190
Boy		390	390	390
Yükseklik		185	185	185
Et Kalınlığı	Boyuna	30	30	30
	Enine	30	30	30
	İç	25	25	25
Harç cebi	Genişlik	40±5	80±5	120±5
	Derinlik	20±2	20±2	20±2
Mekanik Özellikler				
Yüzey alanı, mm ²		39000	58500	74100
Dolu yüzey alanı, mm ²		33825	38475	60425
Boş yüzey alanı, mm ²		5175	20025	13675
Doluluk oranı, %		86,73	65,77	81,54
Kırılma yükü, kg		9750	14625	18525
Dolu alan basınç değeri, kg/cm ²		28,82	38,01	30,66
Dayanım faktörü		21,68	16,44	20,38
Fiziksel Özellikler		200 x 390 x 185	250 x 390 x 240	300 x 390 x 240
En		200	250	300
Boy		390	390	390
Yükseklik		185	240	240
Et Kalınlığı	Boyuna	50	50	50
	Enine	35	35	35
	İç	30	30	40
Harç cebi	Genişlik	80±5	140±5	140±5
	Derinlik	20±2	20±2	20±2
Mekanik Özellikler				
Yüzey alanı, mm ²		78000	97500	117000
Dolu yüzey alanı, mm ²		58050	80300	95300
Boş yüzey alanı, mm ²		19950	17200	21700
Doluluk oranı, %		74,42	82,36	81,45
Kırılma yükü, kg		19500	24375	29250
Dolu alan basınç değeri, kg/cm ²		33,60	30,35	30,70
Dayanım faktörü		18,61	20,59	20,36



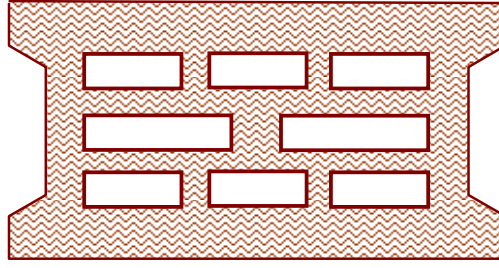
Şekil 3.10. İki sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi

3.5.2.3. Üç sıra boşluklu norm bimsbloklar

Üç sıra boşluklu bimsbloklar 3 farklı boyut ve ebatta tasarlanmışlardır. Üç sıra boşluklu bimsbloklar genellikle yüksek ısı ve ses konforu arayan inşaat dış duvarları ve kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu boyuttaki bimsblokların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.12’de verilmiştir. Ayrıca, üç sıra boşluklu bimsblokların sembolik görünümü Şekil 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Üç sıra boşluklu bimsblokların TS EN 771-3’e göre fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler		200 x 390 x 185	250 x 390 x 240	300 x 390 x 240
En		200	250	300
Boy		390	390	390
Yükseklik		185	240	240
Et Kalınlığı	Boyuna	35	35	35
	Enine	30	30	35
	İç	30	30	35
Harç cebi	Genişlik	80±5	140±5	140±5
	Derinlik	20±2	20±2	20±2
Mekanik Özellikler				
Yüzey alanı, mm ²		78000	97500	117000
Dolu yüzey alanı, mm ²		59100	64700	78200
Boş yüzey alanı, mm ²		18900	32800	38800
Doluluk oranı, %		75,77	66,36	66,84
Kırılma yükü, kg		19500	24375	29250
Dolu alan basınç değeri, kg/cm ²		32,99	37,67	37,40
Dayanım faktörü		18,94	16,60	16,71



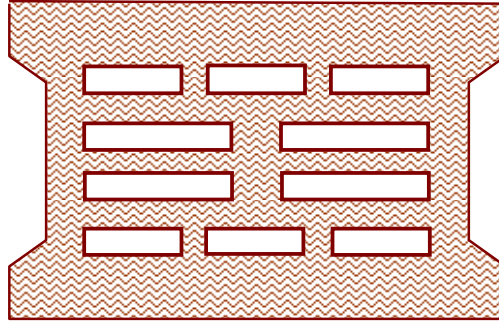
Şekil 3.11. Üç sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi

3.5.2.4. Dört sıra boşluklu norm bimsbloklar

Dört sıra boşluklu bimsbloklar 4 farklı boyut ve ebatla tasarlanmışlardır. Bu boyuttaki bimsbloklar genellikle yüksek ısı ve ses konforu arayan fabrika otel gibi yüksek maliyetli inşaat dış duvarlarında kullanılmaktadır. Bu boyuttaki bimsblokların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.13’de verilmiştir. Ayrıca, dört sıra boşluklu bimsblokların sembolik görünümü Şekil 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.13. Dört sıra boşluklu bimsblokların TS EN 771-3’e göre fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler		200 x 390 x 185	250 x 390 x 240	300 x 390 x 240	365 x 490 x 240
En		200	250	300	365
Boy		390	390	390	490
Yükseklik		185	240	240	240
Et Kalınlığı	Boyuna	30	30	30	30
	Enine	30	30	30	30
	İç	30	30	30	30
Harç cebi	Genişlik	80±5	140±5	140±5	160±5
	Derinlik	20±2	20±2	20±2	20±2
Mekanik Özellikler					
Yüzey alanı, mm ²		78000	97500	117000	178850
Dolu yüzey alanı, mm ²		58000	70800	79550	134688
Boş yüzey alanı, mm ²		20000	26700	37450	44162
Doluluk oranı, %		74,36	72,61	68,00	75,30
Kırılma yükü, kg		19500	24375	29250	44713
Dolu alan basınç değeri, kg/cm ²		33,62	35,84	36,77	33,20
Dayanım faktörü		18,59	18,16	17,00	18,83



Şekil 3.12. Dört sıra boşluklu bimsblokların sembolik gösterimi

TS EN 771-3 standardında boyutlandırmaları verilen bimsblok ürünlerinin çeşitliği, yapılan teknolojik ARGE çalışmaları ile daha farklı formlarda normlandırılmaktadır.

Bimsblok ürünlerinin çeşitliliğini arttırmak ve kalite faktörlerinin malzeme dinamiği, proses teknolojisi, boyut ve dayanım ölçütlerinde belirlenerek, inşaat sektöründe bimsblok uygulamalarına yeni bir boyut kazandırmak yapılan doktora tez çalışmasının da en büyük amaçlarından birini oluşturmaktadır.

3.5.3. Geliştirilen Bimsblok Ürünlerinde Kalite Faktörü Analizi

Pomzadan mamül bir çok bimsblok ürünleri farklı kullanım amaçları için geliştirilebilmektedir. Bu ürünlerin, kalite açısından optimizasyonunun sağlanması önemli bir husus olmaktadır. Ancak, TSE standartlarında bu tarz detay bilgileri içermediği için genelde ürünlerin kalite faktörlerinin tanımlanması ve değerlendirilmesinde uygulamada problemlerle karşılaşmaktadır. Bu tarz problemlere ışık tutmak amacıyla ürünlerin şekil, boyut ve dayanım gibi parametrelerine bağlı olarak kalite faktörü tanımlanarak değerlendirilebilmektedir. Bu değerlendirmede başlıca üç karşılaştırma analizi yapılabilmektedir.

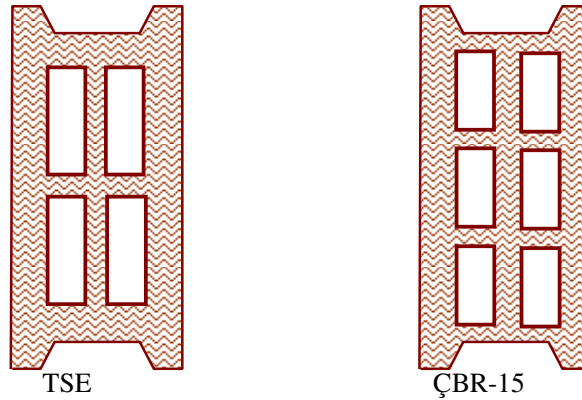
- Ürünlerin şekil, boyut ve geometrik analizi
- Ürünlerin geometrik boyutuna bağımlı dayanım faktörü analizi
- Ürünün ağırlık ve dayanımına bağımlı dayanım kalite faktörü analizi

Bu analiz yaklaşımları, geliştirilmiş üç ayrı ürün için TS normları ile mukayeseli olarak aşağıda örneklendirilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bimsbloklardan, ÇBR-15 (iki sıra boşluklu 150/390/185 normu) ürün tanımıyla yeni tasarım bimsblok tipi geliştirilmiş olsun. Bu yeni ürünün şekil, boyut ve mukavemet (basınç dayanımı) açısından TS EN 771-3, 2005 sayılı “Bimsbetondan Mamül Yapı Elemanları” standardında belirtilen eşdeğer ürün normlarına göre değerlendirmesi, yapılan bir dizi bilimsel araştırma çalışmaları ile yapılabilmektedir. Bu hususta yapılan bir analizde, ürünlere ait bulgular ve değerlendirme kriterleri aşağıda verilmiştir (Gündüz vd, 1998).

3.5.3.1. Ürünün Şekil, Boyut ve Geometrik Analizi

Ürün değerlendirme analizlerinde, öncelikle ele alınan husus, bimsblokların geometrik olarak boyutlandırmaları ve boyutlara bağımlı dolu ve/veya boşluklu alanların incelenmesi olmaktadır. Yapılan inceleme bulguları, TS EN 771-3 standardında belirtilen boyut geometrisi ile mukayese yapılarak değerlendirilir. Bu amaçla Şekil 3.13’de verilerek TSE ve farklı bir norm olarak adlandırılan ÇBR-15 normlu bimsblok örnekleri tasarlanmıştır. Elde edilen şekil, boyut ve geometrik analiz sonuçları Çizelge 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. İki sıra boşluklu, TSE ve ÇBR-15 normu bimsblok örnekleri

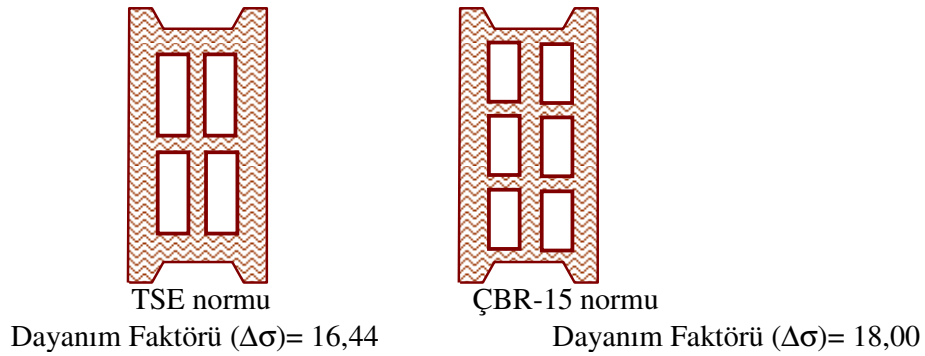
Çizelge 3.14. İki sıra boşluklu bimsbloğun şekil, boyut ve geometrik analizi

Fiziksel Özellikler		TSE Normu	ÇBR-15 Normu
En		150	150
Boy		390	390
Yükseklik		185	185
Et Kalınlığı	Boyuna	30	30
	Enine	30	30
	İç	25	25
Harç cebi	Genişlik	80±5	90
	Derinlik	20±2	20
Mekanik Özellikler			
Yüzey alanı, mm ²		58500	58500
Dolu yüzey alanı, mm ²		38475	40500
Boş yüzey alanı, mm ²		20025	18000
Doluluk oranı, %		65,77	69,23

3.5.3.2. Ürünün Geometrik Boyutuna Bağımlı Dayanım Faktörü Analizi

Ürünlerin değerlendirilmesinde ele alınan diğer bir inceleme ise, Bimsbloğun birim dolu alan başına düşen dayanım gücü incelemesidir. Bu incelemede kullanılan bilimsel ve pratik yaklaşım, *bimsbloğun arzu edilen basınç dayanım değerinin, bloğun yüzde doluluk oranı ile çarpımı* olarak bulunan parametrik değer, bimsbloğun dayanım faktörü ($\Delta\sigma$) olarak tanımlanabilmektedir.

Bu yaklaşıma göre, TS EN 771-3 standardında belirtilen normlardaki bimsblokların dayanım faktörleri ayrı ayrı hesaplanmış ve yeni normlardaki ürünlerin değerleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu analiz bulguları Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. İki sıra boşluklu, TSE ve ÇBR-15 normu bimsblok örneklerinin dayanım faktörü analizi

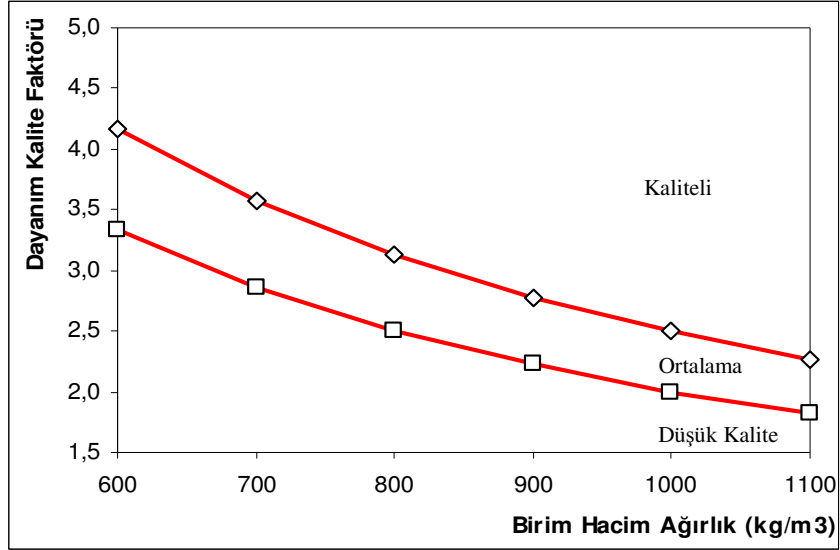
Şekil 3.14’de verilen dayanım faktörü analizi değerlerinden de açıkça görüldüğü üzere, yeni normlardaki bimsblokların, dayanım faktörleri açısından daha yüksek değerde olup, daha dayanıklı oldukları sembolize edilmektedir

3.5.3.3. Ürünlerin Ağırlık ve Dayanımına Bağımlı Dayanım Kalite Faktörü Analizi

Ürünlerin değerlendirmesinde ele alınan diğer bir inceleme ise, Bimsbloğun geometrisi ve üretim prosesinin rantabil olmasına bağımlı, dayanım açısından kalite katsayısının belirlenmesi olmaktadır. Bu incelemede kullanılan bilimsel ve pratik yaklaşım ise, Bimsbloğun basınç dayanım değerinin, bloğun en büyük birim hacim ağırlığa oranı olarak bulunan parametrik değer, Bimsbloğun dayanım kalite faktörü ($f\sigma$) olarak tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşıma göre, TS EN 771-3 standardında belirtilen normlardaki bimsblokların dayanım kalite faktörleri, Bimsbloğun minimum basınç dayanım değeri 20 kg/cm² ve ortalama basınç dayanımı 25 kg/cm² değerleri ile, en büyük birim hacim ağırlıkları olarak tanımlanan (600 – 700 – 800 – 1000 kg/cm³) değerleri kullanılarak, standart dayanım kalite faktörleri belirlenmiş olup Çizelge 3.15’de verilmiştir. Ayrıca bu değerler grafiksel olarak uygulanabilirlik limitleri belirlenerek Şekil 3.15’de verilmiştir.

Çizelge 3.15. TSE normlarına göre bimsblok kalite faktörleri

En Büyük Birim Hacim Ağırlık (kg/cm ³)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Dayanım Kalite Faktörü ($f\sigma$)
600	20 (minimum)	3,33
	25 (ortalama)	4,17
700	20 (minimum)	2,85
	25 (ortalama)	3,57
800	20 (minimum)	2,50
	25 (ortalama)	3,12
1000	20 (minimum)	2,00
	25 (ortalama)	2,50

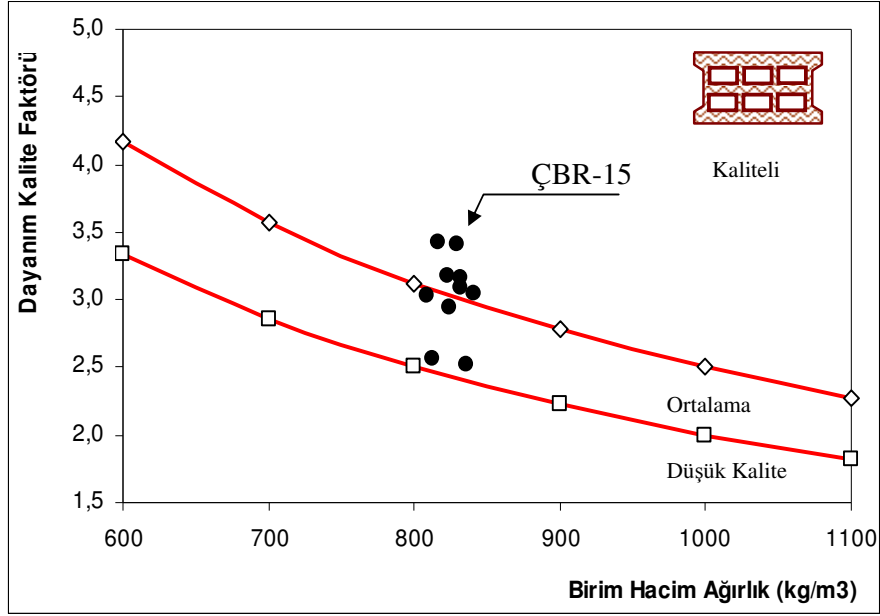


Şekil 3.15. TS EN 771-3 standart normlarına göre bimsblokların dayanım kalite faktör-birim hacim ağırlık ilişkisi

Bu incelemede kullanılan yaklaşıma göre ÇBR-15 normlu yeni ürünün birim hacim ağırlık değerine bağımlı dayanım kalite faktörü hesaplamaları için her bir üründe en az 10'ar adet analiz yapılarak, bulgular irdelenir. Bu inceleme sonucunda Çizelge 3.16'de verilmiştir. Çizelge 3.16'da verilen bimsblok ürünlerine ait dayanım kalite faktörleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmenin grafiği Şekil 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16. ÇBR-15 Normlu bimsbloğun dayanım kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Dayanım Kalite Faktörü (f _σ)
1	813	20,91	2,57
2	836	21,11	2,52
3	824	24,24	2,94
4	832	26,31	3,16
5	809	24,48	3,03
6	841	25,54	3,04
7	832	25,68	3,09
8	823	26,06	3,17
9	829	28,23	3,41
10	817	28,05	3,43



Şekil 3.16. ÇBR-15 normlu ürünün kalite analizi

Şekil 3.16'dan da görüldüğü üzere ÇBR-15 normlu bimsbloğun kalite analizi sonucunda elde edilen sonuçların kaliteli ve ortalama eğrileri arasında kalmış olduğu görülmüştür.

3.6. Bimsblokların Mühendislik Özellikleri

3.6.1. Birim Hacim Ağırlık

TS EN 771-3'e göre, pomzadan mamül bimsblok yapı elemanları grubundan, boşluklu duvar blokları olarak 0,8-1,0 g/cm³'lük, asmolenlerde 0,8-1,0 g/cm³'lük sınıflara dahildir.

Üretilen malzemelerin tiplerine göre birim hacim ağırlıkları aşağıda belirtilmiştir.

Bimsblok (bimstuğla) : 0,8 g/cm³,

Tek sıra boşluklu bimsbloklar: 0,8 g/cm³,

İki sıra boşluklu bimsbloklar : 0,9 g/cm³,

Üç sıra boşluklu bimsbloklar : 1,0 g/cm³,

Asmolenler : 0,7 - 0,9 g/cm³ olması uygun olacaktır.

3.6.2. Mukavemet Değeri

Bimsbloklarda basınç mukavemet değeri minimum 20 kg/cm², ortalama 25 kg/cm² veya üzerinde bir değerde olması gerekir. Asmolenlerde kesme yükü değeri minimum 200 kg/cm² değerinde olması istenmektedir.

3.6.3. Rtre

Yapı bileşenlerinde aranan en önemli özelliklerden biri de rötre dir. Rtre, sulu bir ortamda veya yüksek rutubete maruz kalan malzemelerde meydana gelen hacimsel genleşme farklılığıdır. Rtre eşıtlık 3.19’da verilen formül sayesinde bulunabilmektedir.

$$R = \frac{l_a - l_b}{l_a} \times 100 \quad (3.19)$$

Burada;

R= Rtre

l_a= (W_n=1, 2W₀) değerine karşılık gelen numune boyu, mm

l_b= Deney sonunda ölçülen numune boyu

Su veya rutubet ortamında hacimsel genleşmeye uğrayan yapı bileşenleri rötre çatlağı yaparlar. Zamanla bu çatlaklar birleşerek malzemenin dayanımını azaltır ve deformasyonu hızlandırır. Ayrıca bileşen yüzeyindeki sıvılarda da çatlak gelişimine sebep olur. Rtre atlağı yapan bir yapı bileşenlerinin laboratuvar şartlarında elde edilen mukavemet değerleri, izolasyon nitelikleri, bu anlamda hiçbir değer taşımaz.

Bimsbloğun sınıfındaki suni olarak üretilen benzer yapı elemanlarına karşı en önemli özelliklerden biride rötre çatlağı yapmamasıdır. Pomzanın volkanik camsı lifli yapısı bimsbloğa bu özelliği sağlar.

Bimsblok, 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra periyodik kurutma işleminin sonucu boyutlarında meydana gelen değişim miktarı 0,005 mm’den kktr.

3.6.4. Sıva Tutma Özelliği

Bimsblokların gözenekli yapısı, agrega bağlayıcılarının çimento olması ve pomzanın doğal çimentonun hammaddesi (puzolan çimento) olması gibi özellikleri onun iyi sıva tutucu eleman olmasını sağlamaktadır. Elemanların yüzeyine uygulanan sıva prizlendikten sonra bimsbloklarla kaynaşmış ve bir bütünü meydana getirmektedir. Bu nedenle pomza içermeyen her gözenekli yapı elemanı, bimsbloğa özgün sıva tutma özelliğine sahip değildir.

3.6.5. Isıya Karşı İzolasyon Değerleri

Isı, sıcaklık farklarından dolayı katı, sıvı ve gaz ortam veya cisimlerde meydana gelen enerji transferidir. Isı transferi, sıcak cisimlerden soğuk cisimlere doğru gerçekleştiği için tamamen önlenmesi mümkün değildir. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri veya yalıtım değeri malzemenin yapısal özellikleri ile yakından ilgilidir. Homojen dağılmış, çok küçük gezegenli bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği, düzensiz kalmış, büyük gözenekli bir malzemeye oranla daha küçüktür. Bimsblok ürünlerinde bazı ürünlerin ısı iletkenlik değerleri Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Bimsblokların ısı iletkenlik değerleri

Ürün	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Isı İletkenlik değeri (kcal/mh ⁰ C)
Asmolenler	0,6-0,7	0,16-0,17
Tek sıra boşluklu bimsblok	0,7-0,8	0,21-0,23
İki sıra boşluklu bimsblok	0,8-1,0	0,19-0,22
Üç sıra boşluklu bimsblok	0,9-1,0	0,17-0,21
Bimstuğla	0,8-0,9	0,23-0,26

Her yapı malzemesinin iç yapı özelliklerine göre farklı ısı iletkenlik katsayıları vardır. Çeşitli özellikte ve kalınlıktaki malzemelerin yan yana gelmesi ile oluşan ısı geçirgenlik değeri (λ)’dır. Türkiye üç ayrı iklim bölgesine ayrılmıştır. Bu

bölgelerde dış duvarlarda olması gereken en az ısı geçirgenlikleri ve kullanılması uygun bimsblok kalınlıkları Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Bimsblok uygulama kalınlıkları

Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
$1/\lambda$	0,50	0,60	0,75
Uygun kalınlık, cm	10	15	19

3.6.6. Nemlenme ve Buhar Difüzyonu

Bazı hallerde, gözeneklerin uygun olmayan dağılımı ve birbirleri ile bağlantılı olması kılcal emme olayını meydana getirerek malzemenin nem tutmasını kolaylaştırmaktadır. Hacimlerdeki havanın tazelenmesi anlamında sağlık ve yapı tekniği bakımından duvarlarının iç yüzeylerinin bir miktar nem alması istenen bir olaydır. Ancak, bazı malzemeler yeterli ve doğru buhar difüzyonunu yapamadıkları için ısı iletkenlik özelliklerini kaybederler. Bunun sebebi ise zamanla gözeneklerde havanın yerine geçen suyun, ısı iletkenliğinin küçük gözeneklerdeki hareketsiz havaya göre 25 kat artmasına neden olmamasıdır. Yapı bileşenleri içindeki nemlenme, genellikle ısı akımı ile gelişen buhar akımı ile olmaktadır. Muhtelif tabakalardan yapılmış dış yapı bileşenlerinde (duvar ve döşemelerde) meydana gelebilecek buhar yoğunlaşması olayı, ısı geçirgenlik direncinin azaltılabileceği gibi hasarlara da yol açabilir.

Havanın yoğunlaşması sıcaklığından daha çok soğuması durumunda, düştüğü sıcaklıkta içinde tutabileceği su buharından fazlasının sıvı hale dönüşümü, kondensasyon olarak tanımlanır. Aynı zamanda bu olaya terleme veya çığ damlama da denilmektedir. Yukarıdaki bölümlerde tanımlanan parametreler ısı altında, ideal bir yapı elemanının ısı izolasyonu için taşınması gereken nitelikler tanımlanmıştır. Kısaca ideal bir yapı malzemesi, ısı iletkenliği düşük, hacim içerisindeki nem oranını kondensasyona yol açmadan ayarlanabilen ve yapısal özelliklerini değişik iklim şartlarına bağlı kalmadan muhafaza edebilen nitelikler taşımaktadır.

Pomzanın ısı iletkenlik katsayısı $\lambda = 0,16 \text{ kcal/mh}^0\text{C}$ dir. Ama tek başına ısı iletkenlik katsayısı, bir anlam ifade etmemektedir. İzolasyonu devamlı kılan ve

ortamın bağıl nemini ayarlayan, nefes alabilen doğal mekanlar oluşturan önemli bir özelliği “Buhar difüzyonu” olayını gerçekleştirebilmesidir.

3.6.7. Isı Depo Etme Yeteneği

Yapı bileşenlerinin ısı depo etme yeteneği, kış aylarında ısıtmanın durması halinde çabuk soğumayı, yaz aylarında ise güneş etkisi altındaki yapı bileşenlerinin çevrelediği mekanlarda sıcaklığın aşırı yükselmesini önlemesi açısından gereklidir. Yapı bileşeninin ısı depo etme yeteneği, o bileşenin özgül ısısına, kuru birim hacim ağırlığına, kalınlığına ve etkisi altında kaldığı sıcaklık farkına bağlıdır.

Pomzanın mangallardaki odun kömürü yerini alarak (bir müddet ısı verildikten sonra o ısıyı uzun süre muhafaza edebilme yeteneğinden dolayı), yağın şekilde kullanılması onun mükemmel ısı depo edebilme yeteneğinin açık bir göstergesidir.

3.6.8. Ses İzolasyonu

Genel anlamda ses, elastik ortamdaki titreşim ve dalgadır. Gürültü seviyesindeki sesin işiticiye ulaşmasını önlemeye yönelik önlemlere “ses yalıtımı” denir. Sesin sönümlenmesi olayı, kaynaktan yayılan ses dalgalarının, kısmen veya tamamen geçirimsiz bir yüzeye çarptıklarında yansıyan dalgalarda yansıma nedeniyle etkilerini azaltma veya yok etmeleridir (Özer, 1979).

Hava sesini sönümlendirmesi yanında, birde “darbe sesi” nin sönümlenmesi söz konusudur. Özellikle katı maddeler darbeye maruz kaldıklarında, madde içerisinde meydana gelen titreşimler, darbe sesi olarak kendisini hissettirir. Darbe sesini madde içerisinde yayılımı şu unsurlara bağlıdır.

- Malzemenin birim hacim ağırlığı
- Malzemenin içerdiği ortamlar (hava boşluğu, su)

Bu hacim ağırlığı fazla yoğun maddelerde ses titreşimleri atomik yapıda daha iyi iletildiklerinden dolayı, sönümleme kabiliyetleri zayıftır. Bununla beraber,

maddenin yapısındaki boşlukluk, bu boşlukluğun homojen dağılıp dağılmadığı ve bünye suyu+nem içeriği de ses iletiminde önem taşımaktadır.

Yapı bileşenlerinin içerdikleri nem miktarları ve/veya kristal suyunun ses iletimine pozitif katkısı vardır. Çünkü, su ortamında sesin iletimi (aynen ısı iletimindeki gibi) hava ortamına göre daha fazladır. Bu yönden yapı bileşeninin bünyesinde uzun süre nem tutması ve kristal suyu içermesi istenmeyen bir durumdur.

Boşluklu yapı, ses dalgalarının birbirinden farklı ortamlarda hareket etmelerine yol açar. Birbirinden farklı bu ortamlar, maddeyi oluşturan mineral yapı ve durgun havadır. Bimsbloklar ses izolasyon özelliğine sahip olan bir malzemedir. Bimsblok ile örülen duvarlar ile yüksek frekansa maruz mekanlarda bile sessiz bir ortam oluşmaktadır. Bimsblok homojen dağılmış eşsiz boşluklu yapısı, hafifliği, kristal suyu içermemesi gibi özellikleri ile kalıcı ses izolasyonuna sahip yapı malzemesidir. Dış duvar için istenilen ses yalıtım değerleri Çizelge 3.19’da verilmiştir (TS 2381, 1976, TS 2382, 1976).

Çizelge 3.19. Duvarların ses yalıtım değeri

Dış Duvarlar İçin İstenilen Yalıtım Değeri, dB				
Gürültü sınıfı	Dış gürültü seviyesi, dB	Yatak odası, hastane, dB	Oturma odası, otel, dersane, dB	Büro, dB
I	< 50	30	30	30
II	51-55	35	30	30
III	56-60	40	35	30
IV	60-70	50	45	35
V	70	55	50	45

Bimsblok	100 mm’lik duvar	150 mm’lik duvar	190 mm’lik duvar
Ortalama Yalıtım, dB	42	44	45

Çizelge 3.19’dan de anlaşılacağı gibi bimsblok, ortalama 42-46 dB’lik ses yalıtım değerleri ile tüm gürültü sınırı bölgeler için ideal bir malzemedir.

3.6.9. Sese Karşı Akustik Özelliği

Akustik, karmaşık ve belli oranlar taşımayan ses dalgalarının düzenli hale getirilmesi olayıdır. Yapı malzemelerinde ses izolasyonu kadar da yapı akustiği de önem taşımaktadır. Yapı bileşenlerinin akustiği onun sönümlenme yeteneğiyle orantılıdır. Bu da gözenekli ve elastik davranış gösterebilen yapı bileşenleri ile sağlanabilir. Bimsbloklar içerisinde çok sayıda gözenek bulması, sesin sönümlenmesine ve istenen akustik özellikler vermesine olanak sağlamaktadır. Bu duruma pek çok Avrupa ülkelerindeki konser salonlarında, konferans salonlarında veya mabetlerde görmek mümkündür. Ayrıca ülkemizde de Ayasofya'nın kubbesinde pomzanın kullanıldığı bilinmektedir. Bimsbloklar, tamamen pomza agregalı bir yapı elemanı olarak, diğer yapı elemanlarına göre üstün akustik özelliği göstermektedir (Özer, 1979).

3.6.10. Yangına Karşı Dayanım

Yapı malzemelerinin bazılarının bünyesinde bulunan kristal suyu nedeniyle yangına karşı dayanıksız olmaktadır. Yanma esnasında meydana gelen yüksek ısıdan dolayı, yapısal bozulmalar, hacimsel değişimler ve parçalanmalar meydana gelmektedir. Bimsblok pomza madeninden imal edildiği için yüksek sıcaklıklara karşı mükemmel dayanım göstermektedir. Özellikle 760⁰C'ye kadar hacimsel değişimlere uğramadığı için bu sıcaklıktan sonra ise liflerde büzüşme görülmesine rağmen deforme olmaktadır. Bu nedenle yangına karşıda en dayanıklı yapı malzemesidir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda materyal olarak kullanılan malzeme ve ekipmanlar tanıtılmıştır. Yapılan Doktora tez çalışmasında, hammadde olarak kullanılan pomza oluşumlarının, jeolojik ve petrografik özellikleri ile kayaç yapısına ait detay bilgiler, ayrı ayrı çalışma bulgularını içerdği için, tezin 5. bölümünde yer alan Bulgular kısmında değinilmiştir.

Çalışma esnasında yapı malzemesi olarak deneylerde, Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale Bazik pomzası kullanılmıştır.

4.1.1. Kullanılan Hammadde

Tez çalışmasında hafif yapı malzemesi üretimi için (beton ve bimsblok) Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale (Osmaniye) bazik pomzası kullanılmıştır.

4.1.1.1. Nevşehir Asidik Pomzası

Nevşehir pomzası diye adlandırılan, İç Anadolu bölgesinin beyaz renkli pomzası, çoğunlukla Kayseri, Aksaray ve Niğde illeri arasında 100 km² lik bir alanda yayılım göstermektedir.

Farklı kimyasal, fiziksel, mekanik ve rezerv özellikleri gösteren bu pomzalar genellikle renk, birim ağırlık ve dayanım özellikleri ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Nevşehir pomzası olarak adlandırılmasına rağmen farklı özelliğe sahip pomza numunelerinin sayısı beşin üzerindedir. Bu amaçla çalışması yapılan Nevşehir pomzasının hangi bölgeden alındığının çok detaylı olarak bilinmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında Nevşehir'in 5 km güneyinde bulunan asidik pomza ocaklarına gidilerek alınan numuneler tez çalışmasında kullanılmıştır. Şekil 4.1'de 16-8 mm elek arasındaki Nevşehir pomza numunesi görülmektedir.



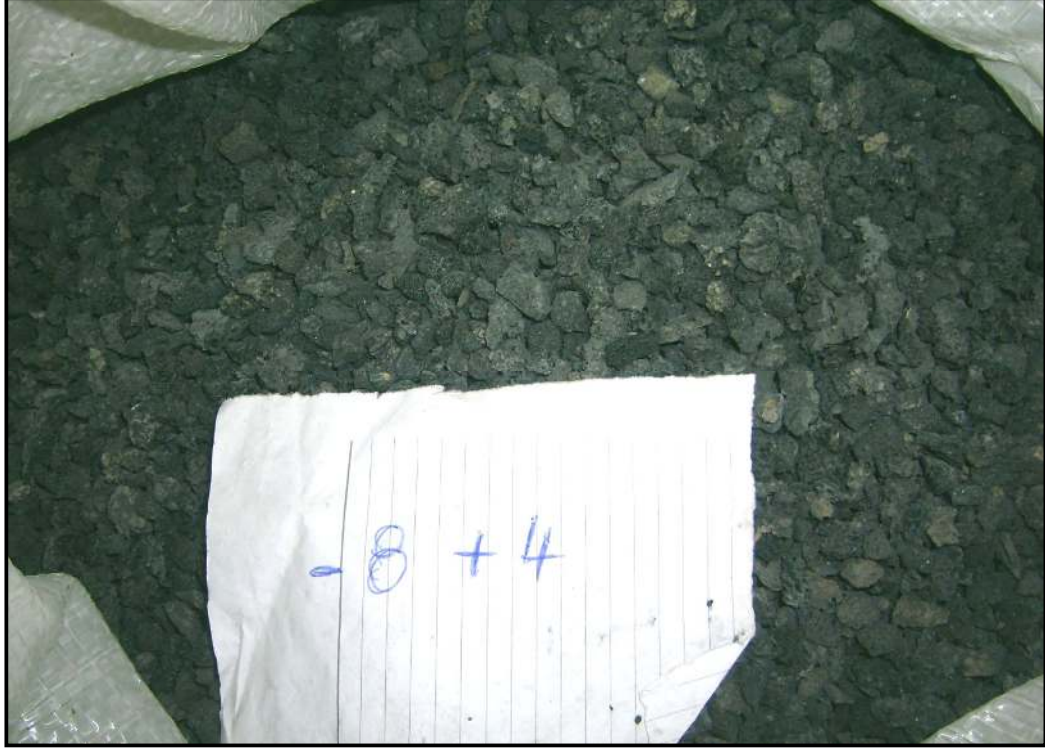
Şekil 4.1. 16-8 mm. elek aralığındaki Nevşehir asidik pomzasının görünümü.

4.1.1.2. Toprakkale (Osmaniye) Bazik Pomzası

Çalışma kapsamında kullanılan diğer bir pomza örneği ise Osmaniye Toprakkale Bölgesinde yüzeylemekte olan Toprakkale bazik pomzalarıdır.

Şimdiye kadar ülkemizde yapılan tüm çalışmalar Asidik pomzalar üzerinedir. Bazik pomzalar ile yapılan çalışmaların fazla olmayışı ve bu pomzaların avantajlarının fazla bilinmemesi bazik pomzaların hafif yapı sektöründe kullanılabilirliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Bazik pomzaların asidik olanlara göre mukavemet yönünden daha sağlam oluşu, renk homojenliği ve fiziksel yapısındaki yüksek değerler yapı sektöründe bu pomzaların kullanılabilirliğini mümkün kılmaktadır.

Toprakkale bazik pomzası Toprakkale ve Erzin ilçeleri ile İskenderun Körfezi arasında yer almakta olup, Kuvaterner yaşlı Plato bazaltları şeklinde yaklaşık 115 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir (Uz vd, 1997). Şekil 4.2'de 8-4 mm elek arasındaki Toprakkale bazik pomza numunesi görülmektedir.



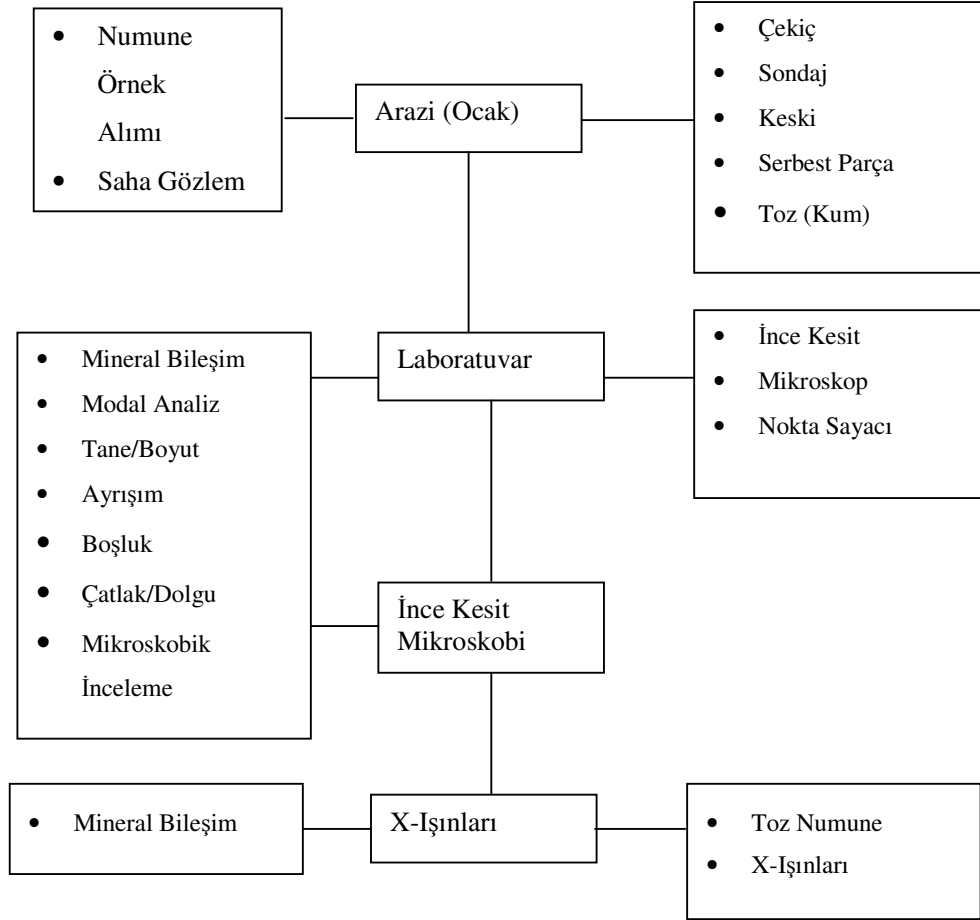
Şekil 4.2. 8-4 mm. elek aralığındaki Toprakkale bazik pomzasının görünümü.

4.1.2. Petrografik Özellikler

Hafif yapı malzemelerinin (agrega, beton ve bimsblok) çeşitli iç yapı ve özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan *Petrografik Analiz*, doğal taşlarda ocaktan kullanım yerine kadar, yapı malzemesinin karakterizasyonunun belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Doğal yapı malzemelerinde sertlik, kırılgenlık, ufalanabilme, tanelerin birbirlerini tutabilme yeteneği, hammadde matriks durumu gibi parametreler gerçekte malzemenin iç yapısı ile ilgilidir (Anıl, 1995, Gündüz vd, 1998b).

Mikroskop yardımı ile petrografik analizler yapılarak doğal yapı taşlarının makroskobik olarak belirlenemeyen bileşenleri belirlenebilmektedir. Petrografik analiz ile yapı malzemelerinin iç yapı (doku) özelliklerinin tanınması yanında içerdikleri mineral tür ve boyutları belirlenir. Agregaya renk, sertlik, kırılgenlık ve ufalanabilirlik gibi bilinmesi gereken özellikleri oluşturan minerallerin belirlenmesi

petrografik analizler ile sağlanmaktadır. Petrografik analiz yöntemi, metodolojik olarak Şekil 4.3’de akım şeması olarak verilmiştir.



Şekil 4.3. Yapı malzemelerinde petrografik analiz-akım şeması.

4.1.3. Fiziksel Özellikler

Doğal yapı malzemeleri (asidik ve bazik pomza agregası, beton örnekleri ve bimsblok) için,

- birim hacim ağırlık,
- özgül ağırlık,
- su emme,
- porozite,
- doluluk oranı,
- sonik hız,

gibi fiziksel özelliklerin tespiti için deneyler yapılmıştır. Bu deneyler TS 699, TS 1114 EN 13055-1 ve TS 3529 gibi doğal yapı malzemeleri, hafif agregaları, beton ve harç kullanım değerlerini veren standartlara uygun olarak yapılmıştır.

4.1.4. Kimyasal Özellikler

Hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılacak olan asidik ve bazik pomzaların hammadde, beton ve bimsblok imali sonrası yapısında bulunan, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ve diğer kimyasal bileşimler belirlenerek bu bileşimlerin pomzaya vermiş olduğu farklı strüktürler incelenmiştir.

4.1.5. Mekanik Özellikler

Pomzadan üretilen beton ve bimsblok örneklerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla,

- tek eksenli basma dayanımı,
- eğilme dayanımı,
- çekme (brazilian) gibi deneyler yapılmıştır.

Bu deneyler TS standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.1.6. Isı İletimi

Yapı amaçlı olarak kullanılan malzemelerde (hazır beton, bimsblok, tuğla vs.) ısı iletkenliği ile akustik konforun sağlanması, günümüzde temel olarak aranılan özelliklerin başında gelmektedir. Bu bakımdan doğal yapı taşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra, ısı iletkenliklerinin belirlenmesi detaylı bir çalışma gerektirmektedir.

Yapılarda ısı konfor hesaplamaları, bina ısı yalıtım analizlerinde, günümüz ısı yönetmelikleri bakımından önemli bir konu olmuştur. Özellikle 8 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan “Binalarda Isı Yönetmeliği” ve 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren revize edilerek yürürlüğe giren “TS 825 Isı Yalıtım Standardı”, yeni yapılan konutlarda ısısal konforun sağlanması, prensip ve uygulama kriterlerini tanımlamakla birlikte, ısısal konfor açısından malzemelerde aranan özellikleri de belirtmektedir.

Yapılarda ısı yalıtımını sağlayan başlıca etmen, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özellikleridir. İnşaat sektöründeki uygulamalarda gözenekli pomzaların ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır.

Doğal yapı ve kaplama kayaçları incelendiğinde, yapısal özelliklerine bağlı olarak, farklı ses yalıtım özellikleri gösterdikleri bilinmektedir. Pomzaların ısı iletim özelliklerinin incelemelerinin yapılması, çalışmanın diğer bir amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla Nevşehir asidik pomzaları ile Toprakkale (Osmaniye) bazik pomzası ile üretilen beton ve bimsbloklar iyi bir ısı yalıtım malzemesi olurken enerji tasarrufuna da imkan sağlayacaktır.

Laboratuvar ortamında hazırlanan bimsbloklar üzerinde yapılan ısı iletkenliğinin tespitinde Fourie kanunu olarak da bilinen, Fourie'nin ısı iletimi ile bulmuş olduğu denklem kullanılarak bimsblokların ısı iletkenlik değerleri hesaplanmıştır (Kakaç, 1998). Bu denklemde;

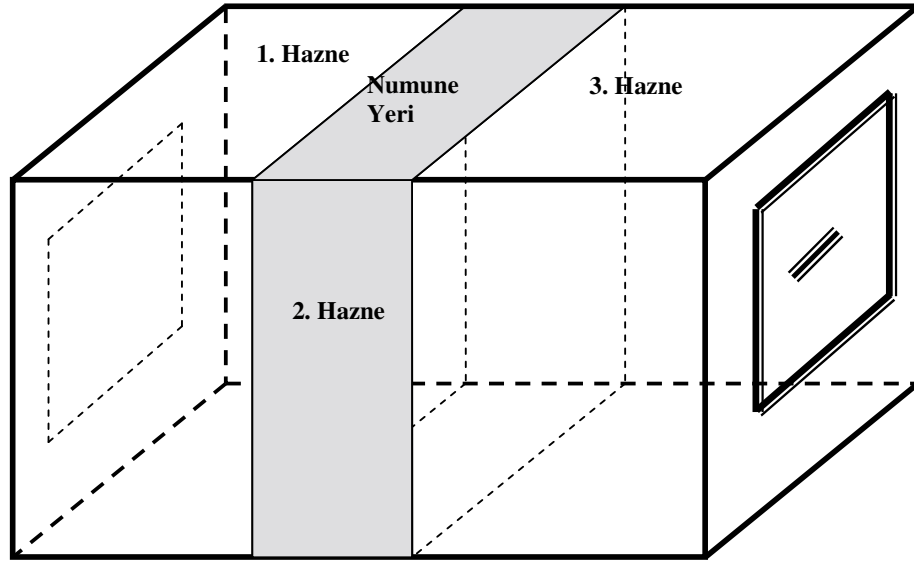
$$\lambda = \frac{Q.h}{(A.\Delta T.t)} \quad (4.1)$$

- λ :Isı iletkenlik değeri (W/mK),
Q :Isı miktarı (W/m²),
h :Isı iletiminin yapıldığı bimsbloğun kalınlığı (m),
A :Isıtılan briketin yüzey alanı (m²),
 ΔT :Bimsblok üzerinde ısı farklılığı (°C),
t :Isıtma süresi (saat).

Isı iletkenlik değeri (λ); ısıнын miktarına (Q), ısı iletkenliği belirlenecek olan malzemenin kalınlığına (h), yüzey alanına (A) ve bu işlemler gerçekleşirken geçen süreye (t) bağlıdır (Dağsöz, 1976, Kanca, 1980).

Ayrıca ısı iletkenlik değeri, malzemenin su içeriğine, porozitesine, kristal ve mineral yapısına, makro ve mikro süreksizlik durumuna ve tane büyüklüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu özelliklerin her biri ısı iletkenlik değerlerini değiştirdiğinden bu özelliklerin etkisinin ayrı ayrı çalışılması hem bilimsel alanda hem de inşaat sektöründe olumlu gelişmelere imkan sağlayacaktır.

Yapılan tez çalışmasında farklı karışımlara ve zaman dilimlerine bağlı olarak üretilen beton ve bimsblok örneklerinin ısı izolasyonunu tespit etmek amacıyla Şekil 4.4’de sembolik olarak görülen izolasyon etüvü imal edilmiştir.



Şekil 4.4. Isı izolasyonunun hesabında kullanılan etüvün sembolik gösterimi

Etüvün 1. ve 3. haznesindeki ısı derecesini ölçmek için etüve bağlı 1200 °C'ye kadar ölçüm yapabilen ve istenilen sıcaklığa ayarlanıp etüvü istenen sıcaklıkta sabit tutabilen dijital bir termometre bulunmaktadır (Şekil 4.5).

Bu termometrenin ucu elle idare edilebildiğinden istenilen hazneye termometrenin ucu konularak o haznedeki var olan sıcaklığın ölçümü rahatlıkla yapılabilmektedir. Etüv üç hazneden oluşmaktadır. Birinci hazne ısıyı üreten kısım olup sıcaklık 1200°C'ye kadar çıkabilmektedir (Şekil 4.6).

İkinci kısım, ısı izolasyonunun tespiti istenilen briket, beton veya kaya plaka malzemesinin konduğu ve yalıtımının sağlandığı kısımdır (Şekil 4.7).

Üçüncü hazne ise izolasyon değeri istenilen malzemeden geçen ısı miktarının bulunduğu ve ne kadarlık bir ısı miktarının geçtiğinin ölçüldüğü haznedir.

Isı iletkenlik değeri ölçümü malzemenin kalınlığına, yüzey alanına, geçen enerji miktarına, ısınma süresine ve ısı farkının değişimine bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

Bu düzenek numunenin (beton yada bimsblok), fırının orta haznesine (ikinci hazne) konması, ön kısımda (birinci hazne) üretilen ısı, vantilatör yardımıyla üflenerek, bloğu geçip bloğun arka tarafına (üçüncü hazne) iletilmesi esasına dayanır. Birinci ve üçüncü haznedeki ısı farkı briketin ne kadar ısıyı tuttuğunu ve ne kadarlık bir ısıyı ilettiğini göstermektedir.

Şekil 4.8'de beton kalıbının ısı iletkenlik değerinin tespiti için, çalışır halde olan etüvün genel şekli görülmektedir.



Şekil 4.5. Fırındaki ısıyı $^{\circ}\text{C}$ cinsinden gösteren termometre



Şekil 4.6. Isıyı üreten 1. haznenin görünümü



Şekil 4.7. Bimsblok konulmuş 2.hazne ve termometre ucunun genel görünümü



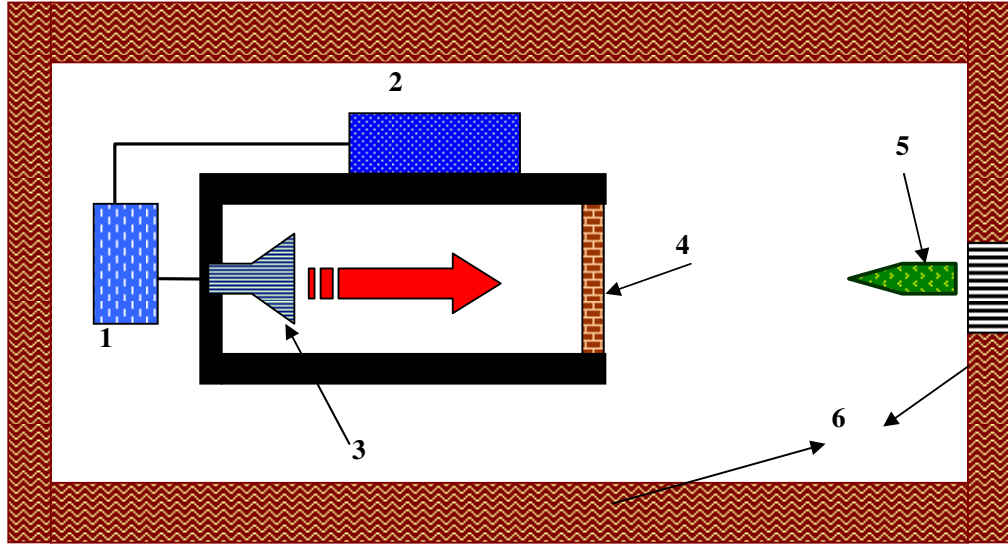
Şekil 4.8. Beton kalıpdaki ısı iletim katsayısının ölçümü ve etüvün genel görünüşü

4.1.7. Ses İzolasyonu

Yapı ve inşaat sektöründe kullanılan doğal taşlar, tuğlalar, briketler ve beton gibi taşıyıcı malzemelerin ses absorpsiyon özellikleri incelendiğinde bu konu ile ilgili bilimsel niteliği olan çalışmalara az rastlanılmaktadır. Bu nedenle yapı sektöründe kullanılan her türlü malzemenin konforlu, ses ve gürültü önleyici ortamlarda yaşanılma isteğiyle daha detaylı incelenmesi gerekmektedir (Özer, 1979). Yapılan tez çalışmasında ayrıca, Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale (Osmaniye) bazik pomzasından elde edilen beton ve bimsblokların ses absorpsiyon değerlerinin belirlenmesi için Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde doğal yapı malzemelerinin ses absorpsiyon özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar ve donanımları yapılmıştır. Laboratuvarda yapılan deneylerin sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Aynı şekilde içerisinde yaşanan belirli ölçülerle sınırlandırılmış kapalı mekanlarda akustik yönden konfor sağlamak için, malzeme ve yapı düzeni ile ilgili olarak iki önemli etken vardır. Birincisi sesin yansıması veya yankı, diğeri de ses iletimi veya bunun tersi olan ses yalıtımıdır. (Gündüz vd, 1998b, Uğur, 2001).

Numunelerin ses absorpsiyonlarının tespiti, iç kaplaması ses geçirmez bir kılıfla kaplanarak oluşturulmuş ses odasında gerçekleştirilmiştir. Bu odada Şekil 4.9'da görüleceği üzere bir adet ses üretici ve ses boyutunun (genliğini) daha büyük genlikli ses boyutlarına yükselmesini sağlayacak bir amfi bulunmaktadır. Amfiden alınan elektrik enerjisini ses enerjisine dönüştüren hoparlör bulunmaktadır. Ses yalıtım özellikleri belirlenecek olan bimsblok örneğinde belirli bir mesafede sabit bir konumda yerleştirilen bir ses ölçme cihazı ile ölçüm gerçekleştirilmektedir.



(1. Amfi, 2. Ses Üretici, 3. Hoparlör, 4. Numune (Beton, Bimsblok vs), 5. Ses Ölçme makinesi (dB), 6. Oda içinde ses geçirmeyi önleyen kılıflar)

Şekil 4.9. Ses ölçüm odasının şematik görünümü

4.1.7.1. Ölçüm Sisteminde Kullanılan Cihaz Özellikleri

Ses seviyesi ölçer olarak, DT-8820 model dijital dB metre kullanılmıştır (Şekil 4.10). Kullanılan bu cihaz ile, 30 -130 dB ses şiddeti seviyesi aralığında, 0,1 dB çözünürlük ile 1 dB hassasiyetle ölçüm yapılabilmektedir. Ölçüm esnasında, özel kondanser mikrofon, ses kaynağına doğru yönlendirilmelidir. Ses kaynağını içeren deney düzeneğinin karşısında, hoparlörden 1m ötede pozisyonlandırılan ses seviyesi ölçer ile, amfi tam güçte işaret üretirken, uygulanan frekans bandına bağımlı olarak 30-130 dB arasında bir değer ölçülmektedir.

Ölçüm esnasında mikrofon doğrultusu ve ses seviye ölçer, her frekans bileşeni için sabit tutulmuştur.



Şekil 4.10. Dijital ses seviyesi ölçer (dB metre)'in genel görünümü

Ses yükseltici olarak, Master M-323 mono amfi kullanılmıştır (Şekil 4.11). Amfi, maksimum 75W ses gücü verebilmektedir. Çalışmada uygulanması gereken şartlar için, 75 W'lık güç değeri yeterli olmaktadır. Deney esnasında kullanılan genlik seviyesi, maksimum 25W büyüklüğünde tutulmuştur.

Ses işaret üretici olarak, özel yapım “Ses Sinyal Üretici” cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz Şekil 4.7’de ses yükselticiyle birlikte genel görünümü verilmiştir. Bu cihaz, istenildiği takdirde, birinci kademede 10 Hz'den başlayarak onuncu kademede 1 MHz'e kadar işaret üretebilmektedir. Ses sinyal üreticinin kullanılması suretiyle gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında sinüs dalga formu işaret olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Amfi ve ses sinyal üreticinin genel görünümü

4.1.7.2. Ölçümlerde Kullanılan Ses Frekansları

Ses şiddeti ölçümlerde kullanılmakta olan frekansların fazla sayıda olması, sonuçların karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Güçlüklerin bir kısmı, değişik aralıklarla yerleştirilmiş frekanslar veya değişik referans frekanslarından başlayan serilerin kullanılmasından ileri gelmektedir. Bu standardın amacı, bütün frekans serilerini bir referans frekansa bağlamak ve diğer frekansları değişik serilerde en çok sayıda ortak frekans bulunacak şekilde düzenlemektir. Bu sadeleştirme ile, akustik veri çizelgelerinde kullanılan frekansların sayısı en aza iner ve cihazlar özellikle bu frekanslara göre yapılabilir (Özer, 1979, Uğur, 2001).

1000 Hz (c/s)'lik frekans, fon kavramının referans frekansı olması nedeniyle, ölçümlerde tercih edilen frekans serileri için temel frekans olarak seçilmiştir.

Ses (akustik) ölçümlerde kullanılan frekanslar, Çizelge 4.1'de verilmiştir. Punto tipi tercih sırasını göstermekle birlikte, Çizelge 4.1.'de, 1000 ile arka arkaya

çarpma veya bölme ile, her iki yönde de istenildiği gibi genişletilebilmektedir. Diğer bir deyişle, Çizelge 4.1.'deki frekanslar istenirse milihertz (mHz), kilohertz (kHz), megahertz (mHz) v.b. olarak kabul edilebilir.

Oktav aralığı istenilirse, tercih edilen frekanslar, 500, 1000, 2000 Hz (c/s) v.b., çizelgenin oktav kolonunda çarpı işareti ile belirtilmiştir. Aralık, 1/2 veya 1/3 oktav ise, tercih edilen frekanslar, ilgili kolonda çarpı işareti ile belirtilmiş olanlardır.

4.1.7.3. Ses Geçiş Kaybı Ölçümünün Yapılması

Yukarıda açıklanan elektro-akustik kurallara göre kurulumu yapılan deney düzeneği ile yapılan fon ölçümlerinden sonra, ses yalıtım performansı belirlenecek olan yapı bloğunun boyutları esas alınarak boyutlandırılan kutunun açık olan kısmı blokla kapatılarak ve kapatılmadan önce yapılan ölçümler, bu yapı elemanı tarafından soğurulan ses şiddeti seviyesinin belirlenebilmesini sağlamaktadır (Özer, 1979).

Bu ölçümlerin yapılış şekli, Şekil 4.12 ve 4.13'de görüldüğü gibi, ölçüm düzeneğinde ses yalıtım büyüklüğü ölçülecek olan pomzadan mamul bir yapı elemanının, izolasyonlu kutunun içerisine konmadan önce fon ölçümü yapılarak, malzeme kutu içerisine yerleştirildikten sonra, aynı frekans değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar kaydedilmektedir. Buradan elde edilen değer farklılıkları ile, bir malzemenin gürültü azalması veya ses yalıtım değeri (Syd) olarak, malzemenin iki tarafında ortaya çıkan ses basınç düzeyleri arasındaki farkın belirlenebilmesi sağlanmaktadır (TS 1477 EN ISO 266, 2000).

$$Syd=S_1-S_2 \quad (4.2)$$

Burada,

S_1 , malzeme üzerine gelen gürültünün ses şiddeti basınç seviyesi,

S_2 ise, malzeme üzerinden iletilen gürültünün ses şiddeti basınç seviyesini (dB) göstermektedir.

Çizelge 4.1. Ses (Akustik) ölçümleri için kullanılan frekanslar (TS 1477 EN ISO 266, 2000).

Frekans	1/1 ok.	1/2 ok.	1/3 ok.	Frekans	1/1 ok.	1/2 ok.	1/3 ok.	Frekans	1/1 ok.	1/2 ok.	1/3 ok.
16	X	X	X	160				1600		X	
18				180				1800			
20				200			X	2000	X	X	X
22.4				224				2240			
25				250	X	X	X	2500			X
28				280				2800			
31.5	X	X	X	315				3150			
35.5				355				3550			
40			X	400		X		4000	X	X	X
45				450				4500			
50		X		500	X	X	X	5000		X	
56				560				5600			
63	X	X	X	630				6300			
71				710				7100			
80			X	800			X	8000	X	X	X
90				900				9000			
100		X		1000	X	X	X	10000			X
112				1120				11200			
125	X	X	X	1250			X	12500		X	
140				1400				14000			
160		X		1600				16000	X	X	X



Şekil 4.12. Blok konulmadan önce yapılan hazır durumda olan ölçüm sistemi

Ses (akustik) ölçümleri için hazırlanmış ses odasının bazı bölgelerindeki ses şiddeti seviyesi, kaynağın ses şiddetinden bile daha yüksek olmakta ve bu şekilde "rezonans" oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada kullanılan ortamın duvarlarında, uygun absorbant malzemeler kullanılarak, büyük oranda yankısız bir odanın tasarlanması amaçlanmıştır.



Şekil 4.13. Beton blok konulduktan sonra yapılan ses ölçümleri

Burada amaç, ses frekans spektrumunda, girişim, yansıma ve vibrasyondan kaynaklanabilecek ölçüm hatalarının mümkün olduğunca en aza indirilmesidir. Çünkü, kullanılan tüm elektro-akustik cihazlar uygun bir şekilde seçilmiş olsalar dahi, ölçüm odasının akustik davranışı, sistemin toplam frekans- yansıma eğrisini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

4.2. Metot

Doğal yapı malzemelerinden Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomza türlerinin yapılan tez çalışması ile gözenekli yapıları, hafifliği ve kayaç yapısı incelenip endüstriyel alanda kullanılması amaçlanmaktadır.

Pomzaların bulunduğu yerler jeolojik haritada belirlenerek, genel jeolojisi oluşumu ve pomzaların bulunduğu bölgelerin yapısal jeolojik özellikleri belirlenmiş ve pomza oluşumlarında bölgesel jeolojinin etkisi incelenmiştir.

Asidik ve bazik pomza örneklerinin iç bileşenlerindeki mineral yapılarının tespiti için mineralojik ve petrografik analizleri yapılmış ve pomza türleri, strüktürel olarak tanımlanmaya çalışılmıştır.

Bu analizleri takiben, Pomza agrega numunelerinin kimyasal bileşimleri fiziksel ve mekanik özellikleri, deneysel analizlerle tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, TS standartlarına uygun olarak bulunan pomza örneklerinden, hafif beton eldesi için en uygun karışım oranının tayini amacıyla, beton karışım reçeteleri hazırlanmış ve hazırlanan reçetelerden sonra en yüksek mukavemete sahip en düşük birim hacim ağırlık değerini veren ısı ve ses izolasyonu açısından iyi değerler sunan uygun karışım miktarları deneme yanılma yoluyla tespit edilmiştir.

Uygun karışım miktarlarının bulunmasında temel unsur olarak hafif betonun dayanım değeri esas alınmıştır. Elde edilen en yüksek dayanımlı karışımlardan sonra beton örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Ayrıca, bu beton örneklerinin ısı ve ses iletim değerleri belirlenerek TS'ye uygunluğu araştırılmıştır.

Farklı karışımlarda hazırlanan beton örneklerindeki mühendislik özellikleri incelendikten sonra endüstriyel alanda kullanılan hazır beton, briket, tuğla ve gaz beton gibi yapı malzemeleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Daha fazla dayanım özelliği gösteren, doğal, maliyeti düşük ve depreme dayanıklı fiziko mekanik özellikler sunan Nevşehir pomzasının Bimsblok üretiminde kullanılması uygun görülmüştür.

Osmaniye Organize sanayii Bölgesinde faaliyet gösteren ARBİMS adlı fabrikayla ortak yürütülen çalışmalar sonucunda bir, iki, üç ve dört sıra boşluklu, TS normlarına uyan özel karışım miktarlarına sahip bimsbloklar üretilmiştir.

Bimsblokların kalite tayini amacıyla farklı karışım oranları denenerek en uygun reçetenin (algoritmanın) tespit edilmesi sağlanmıştır. Bimsblokların ayrıca ısı ve ses iletim değerleri belirlenerek gazbeton'la mukayesesi yapılmıştır.

Şekil 4.14'de denemelerde kullanılmak üzere fabrikada hazırlanmış pomza yığınları, Şekil 4.15'de beton ve bimsblok karma makinesinin, Şekil 4.16'da uygun karışım oranı belirlendikten sonra ısı ve ses iletim katsayılarının tespiti için hazırlanmış asidik ve bazik beton kalıp numunelerinin, Şekil 4.17'de bimsblokların kalıp haline getirilmesini sağlayan pres makinesinin, Şekil 4.18'de kurumaya bırakılmış Nevşehir pomzasından üretilen bimsblokların (asmolen) genel görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan Nevşehir asidik pomza hammaddesi



Şekil 4.15. Beton karma makinesi



Şekil 4.16. Asidik ve bazik pomzadan mamul hafif beton örnekleri



Şekil 4.17. Bimsblok pres makinesi



Şekil 4.18. Kurumaya bırakılmış Bimsblok (asmolen) örnekleri

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Araştırma ve bulgular kısmında, tez çalışması esnasında yapılan gözlemsel ve deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen veriler, belirli bir çalışma planı dahilinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Yapılan tez çalışmasında, standartlara uygun olacak şekilde deneylerde kullanılan pomzaların mineralojik, jeolojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyleri yapılmıştır. Hammadde deneylerinden sonra pomzaların, beton ve bimsblok üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Denemelerin sonucunda, Toprakkale Bazik pomzası ve Nevşehir Asidik pomzasının hafif yapı agregası olarak rahatlıkla kullanılabilirliği belirlenmiştir. Ayrıca pomza agregalarından üretilen hafif beton ve bimsblok örneklerinin endüstriyel alanda kullanılabileceği görülmüştür.

Bu çalışmanın sonucunda, özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemizde hafif yapı ara malzemesi olarak pomzanın kullanılması ile binaların statik ağırlıklılıklarının azaltılması, ısı ve ses iletkenlik değerlerinin yükselmesi ve genel inşaat maliyetin azaltılması gibi sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasını, arazi çalışmaları oluşturmuştur. Çalışma kapsamında hafif yapı taşı olarak bazik ve asidik olmak üzere iki farklı pomza türü incelenmektedir. Bu amaçla bazik pomzaları temsilen Toprakkale bazik pomzalarının bulunduğu Osmaniye Toprakkale bölgesine ve Asidik pomza örneklerini temsil etmesi içinde Nevşehir pomzalarının bulunduğu Nevşehir bölgelerine gidilmiştir. Pomza ocaklarının bulunduğu bölgelerde teknik incelemelerde bulunarak numuneler hazırlanıp alındıktan sonra laboratuvar çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan arazi çalışmaları neticesinde,

- Pomza yataklarının bulunduğu bölgenin jeolojisi incelenmiş,
- İnce kesitler alınarak petrografik incelemeleri yapılmış,
- Yer bulduru haritaları çıkartılmış,
- Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere numuneler alınmış,
- Bölgelerin genel itibari ile fotoğraf çekimi gerçekleştirilerek pomza yatakların genel görünümü hakkında bilgiler derlenmiştir.

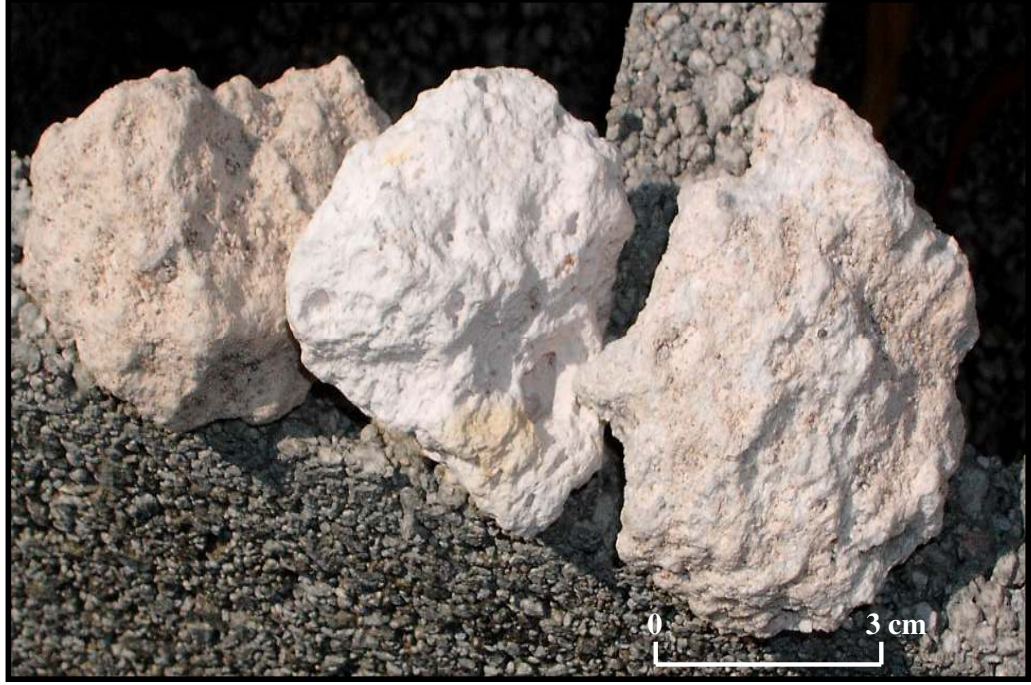
5.1. Çalışmada Kullanılan Pomzaların Genel Karakteristik Özellikleri

Ülkemizde en çok talep gören pomza türlerinden biri olan ve “Nevşehir pomzası” diye adlandırılan, İç Anadolu bölgesinin beyaz renkli pomzası, çoğunlukla Nevşehir’in güneyinde Uçhisar, Ortahisar ve Derinkuyu bölgeleri arasında bulunmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş yer bulduru haritası

Nevşehir pomzaları, Kayseri, Aksaray ve Niğde illeri arasında 160 km² lik bir alanda yayılım göstermiştir. Farklı kimyasal, fiziksel, mekanik ve rezerv özellikleri gösteren bu pomzalar genellikle renk, birim ağırlık ve dayanım özellikleri ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Nevşehir pomzası olarak adlandırılmasına rağmen farklı mühendislik özelliklerine sahip pomza numunelerinin sayısı beşin üzerindedir. Bu amaçla incelemesi yapılan Nevşehir pomzasının hangi bölgeden alındığının detaylı olarak bilinmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında Nevşehir’in 5 km güneyinde bulunan asidik pomza ocaklarına gidilerek alınan numuneler tez çalışmasında kullanılmıştır (Erdoğan, 1997) (Şekil 5.2, 5.3).



Şekil 5.2. Doğal halde bulunan Nevşehir pomzalarının görünümü

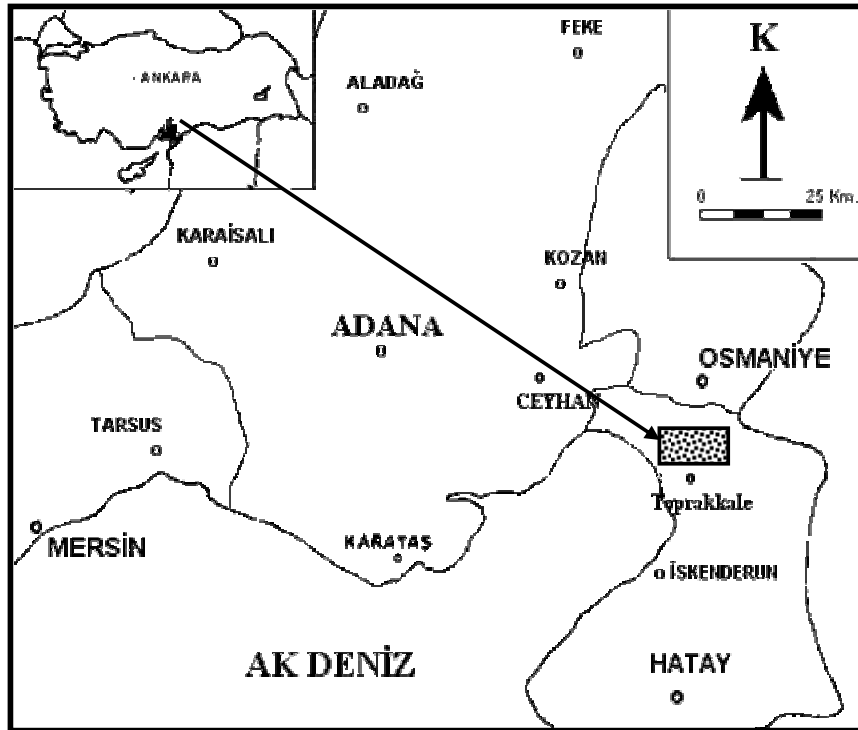


Şekil 5.3. Kırılıp elemeye tabi kalmış Nevşehir asidik pomza yığın numuneleri

Çalışma kapsamında kullanılan diğer bir pomza türü ise Osmaniye Toprakkale Bölgesinde yüzeylemekte olan Toprakkale bazik pomzalarıdır.

Şimdiye kadar ülkemizde yapılan tüm çalışmalar asidik pomzalar üzerinedir. Bazik pomzalar ile yapılan çalışmaların fazla olmayışı bu pomzaların avantajlarının bilinmemesine neden olmaktadır. Bu yüzden, bazik pomzalar yapı sektöründe çok fazla kullanılmamaktadır. Fakat yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bilgiler neticesinde bazik pomzaların asidik pomzalara göre mukavemet yönünden daha sağlam oluşu, renk homojenliği ve fiziksel yapısındaki yüksek değerler yapı sektöründe bu pomzaların kullanılabilirliğini mümkün kılmaktadır.

Çalışma alanının bölgesel jeolojisi, pomzaların oluşumu ve geçirmiş olduğu tektonizmanın etkisi incelenmiştir. Toprakkale bazik pomzası Toprakkale ve Erzin ilçeleri ile İskenderun Körfezi arasında yer almakta olup, Kuvaterner yaşlı Plato bazaltları şeklinde yaklaşık 115 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 5.4). Ayrıca arazide çekilen bazik pomza numuneleri Şekil 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Toprakkale bazik pomzalarının yer bulduru haritası



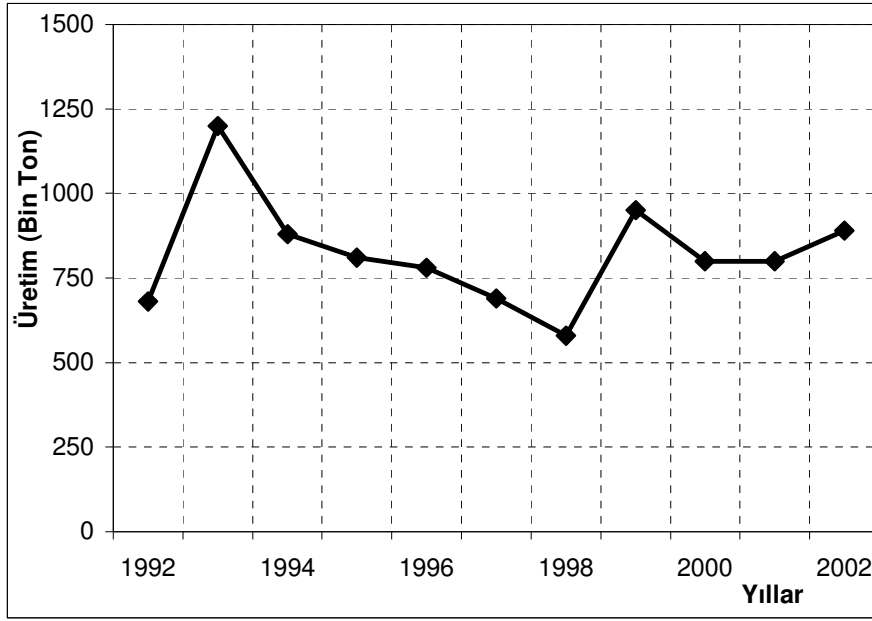
Şekil 5.5. Toprakkale bazik pomzasının bulunduğu Tüysüz tepe ve pomza yığınları



Şekil 5.6. Arazide yığın olarak bulunan bazik pomza numuneleri

5.1.1. Pomza Rezerv Analizleri

Ülkemizde en çok talep gören pomza, genellikle asidik yapı gösteren hafif beyaz renkli pomzalardır. Türkiye pomza üretimi 90'lı yılların başında 400 bin ila 700 bin ton mertebesinde iken 1992-2002 arasında üretim 550 bin ile 1250 bin ton arasında olup Şekil 5.7'de sunulmaktadır.



Şekil 5.7. Yıllara göre pomza üretimi

Yapılan rezerv analizleri neticesinde MTA tarafından edinilen bilgilere göre dünyada yaklaşık olarak 17.996 milyon tonluk bir rezervin var olduğu bilinmektedir (Çizelge 5.1). Türkiye'deki pomza rezervi ise 2.836 milyon ton ile dünya rezervinin yaklaşık olarak %16 sına tekabül etmektedir. Çoğu maden ve yer altı kaynaklarında olduğu gibi pomza rezervinde üst boyutta olması ülke olarak sevindirici bir durumdur. Yapılması gereken, bu pomza rezervinin doğru ve bilinçli olarak doğru yerlerde kullanılmasını sağlamaktır.

Türkiye'deki pomza rezervinin genel dağılımı ise Çizelge 5.2'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Dünya pomza rezervi (www.mta.gov.tr)

Bulunduğu Yer		Milyon Ton
Kuzey Amerika	A.B.D.	11500
	Diğerleri	500
	TOPLAM	12000
İzlanda	Dominik	25
	Guadelouphe	15
	Guatemala	25
	Diğerleri	15
	TOPLAM	80
Güney Amerika	Şili	60
	Diğer	20
	TOPLAM	80
Avrupa	Yunanistan	500
	İtalya	2000
	Türkiye	2836
	TOPLAM	5336
	Okyanusya	500
	DÜNYA TOPLAMI	17996

Çizelge 5.2. Türkiye pomza rezervi (www.mta.gov.tr)

Yeri	Rezerv Miktarı (ton)	Rezerv Kategorisi
Nevşehir - Avanos - Ürgüp	400.412.834	A + B+ C
Derin Kuyu	48.660.500	A + B
Kayseri – Gömeç	13.250.000	A + B
Kayseri – Develi	58.500.000	A
Kayseri - Talas - Tomarza	241.000.000	B
Kayseri - Talas - Tomarza	484.000.000	A + B
Bitlis – Tatvan	1.100.000.000	A + B
Bitlis – Ahlat	210.000.000	A + B
Van - Erciş - Kocapınar	154.625.000	A + B
Van – Mollakasım	5.950.000	A + B
Ağrı – Doğubeyazıt	26.875.000	B
Kars – Iğdır	40.156.250	B
Kars – Diğer	11.718.750	B
Kars – Sarıkamış	1.875.000	A + B
Ankara - Güdül - Tekköy	8.070.000	A + B + C
Isparta - Gölçük	30.983.250	
TOPLAM	2.836.076.584	

(A: Görünür rezer, B: Mümkün rezerv, C: Muhtemel rezerv)

Çizelge 5.2’de 2000 yılına kadar varlığı öncelerden bilinen ve genellikle MTA tarafından yapılan sondajlardan elde edilen pomza rezervlerini göstermektedir. Oysa günümüzde 2.836 milyon ton olarak belirlenen pomza rezervlerinin çok daha fazla olduğu bilinen bir gerçektir.

Çalışma kapsamında Nevşehir pomzası olarak Nevşehir ilinin 5km güneyinde bulunan pomza ocakları detaylı olarak incelenerek pomzaların rezervi yaklaşık olarak 110 milyon ton olarak tahmin edilmektedir.

Toprakkale bazik pomzasının rezervi ise yüzeyden yapılan çalışmalar neticesinde yaklaşık olarak 60 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir

5.1.2. Jeolojik Özellikleri

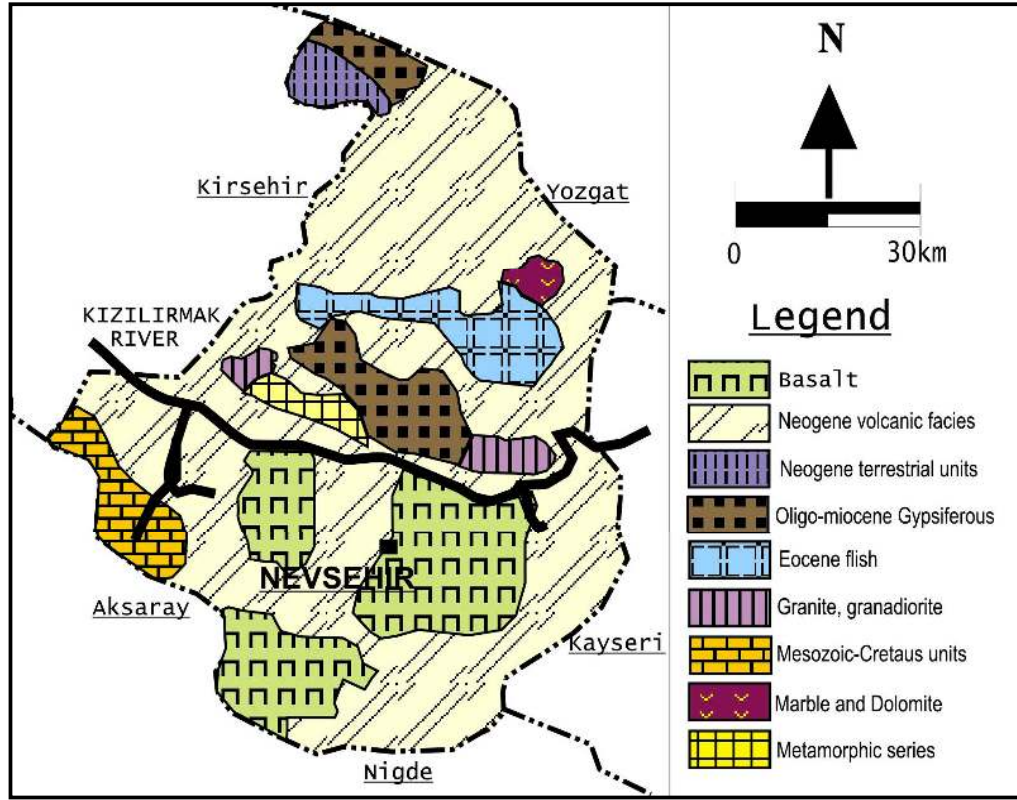
5.1.2.1. Nevşehir Asidik Pomzası

Jeolojik olarak Nevşehir pomzaları genel jeoloji ve bölgesel jeoloji olarak iki kısma ayrılarak incelenmiştir.

5.1.2.1.(1) Genel Jeoloji

Kapadokya Bölgesi’ndeki Erciyes, Hasandağı, Melendiz ve Güllüdağ jeolojik devirlerde aktif birer volkan oldukları bilinmektedir (Şekil 5.8). Volkanların püskürmeleri Üst Miyosen’de başlayıp Holosen’e kadar sürmüştür. Neojen gölleri altındaki yanardağlardan çıkan lavlar, platoda göller ve akarsular üzerinde 100-150 m. kalınlığında, farklı sertlikte bir tuf tabakası meydana getirmiştir. Bu tabakanın yapısında tufün dışında, tüffit, ignimbrit tuf, lahar, volkan külü, kil, kumtaşı, marn, aglomera ve bazalt gibi kayalar da bulunmaktadır (Erdoğan, 1986).

Ana kayalardan püsküren maddelerle şekillenen plato, şiddeti daha küçük volkanların püskürmeleriyle sürekli değişime uğramıştır. Üst Pliyosen’den başlayarak, başta Kızılırmak olmak üzere akarsu ve göllerin bu tuf tabakasını aşındırmaları nedeniyle bölge bugünkü halini almıştır.



Şekil 5.8. Nevşehir bölgesinin genelleştirilmiş jeolojik haritası (www.mta.gov.tr'den güncelleştirilmiştir)

Nevşehir ili alanında hakim olan jeolojik yapı Neojendir. Bunun dışında Kızılırmak'ın güney bölgesinin jeolojik yapısını bazalt ve Mesozoyik yaşlı tabakalar, ırmağın kuzey bölgesini Oligo-Miyosen, Eosen fliši, metamorfik seri ve granitik tabakalar oluşturur.

"Peribacası" diye adlandırılan oluşumlar, vadi yamaçlarından inen sel sularının ve rüzgarın, tüflerden oluşan yapıyı aşındırmasıyla ortaya çıkmıştır. Sel sularının dik yamaçlarda kendine yol bulması, sert kayaların çatlamasına ve kopmasına neden olmuştur. Alt kısımlarda bulunan ve daha kolay aşınan malzemenin derin bir şekilde oyulmasıyla yamaç gerilemiş, böylece üst kısımlarında bulunan şapka sayesinde aşınmadan korunan konik biçimli gövdeler ortaya çıkmıştır. Daha çok Ürgüp civarında bulunan şapkalı peribacaları, konik gövdelidir ve tepe bölümlerinde bir kaya bloku yer almaktadır. Gövde tüf, tüffit ve volkan külünden

ibaret bir kayaçtan, şapka kısmı ise lahar ve ignimbrit gibi sert kayalardan oluşmaktadır. Dolayısı ile şapka, gövdeye oranla daha dayanıklı bir kaya türüdür. Bu, peribacasının oluşumunun ilk şartıdır. Şapkadaki kayanın direncine bağlı olarak peribacaları uzun veya kısa ömürlü olabilmektedir (Açıkgöz ve Öz, 1980).

5.1.2.1.(2) Bölgesel Jeoloji

Kayseri, Kırşehir, Niğde ve Aksaray arasındaki bölgede Orta Anadolu Ara Masifinin temeli Paleozoik-Alt Jura yaşlı metamorfiklerle temsil olunmakta, Metamorfik seriyi üste doğru Üst Jura-Kretase yaşlı bir ofiyolit karmaşığı takip etmektedir (Batum, 1978). Metamorfik seri ile ofiyolit karmaşığının bileşimleri granitten gabroya kadar değişen çeşitli intrüzif kayalarla yer yer kesilmişlerdir (Ketin, 1963). Bölgede Eosen ve Oligasen'e ait sedimanter birimler kendilerinden daha yaşlı birimler üzerine oturmakta, onlarında üzerinde Senozoyik'in geniş yayılım volkanitleriyle sedimanter kayaları yer almaktadır. Neojen yaşlı volkano-sedimanter birimlerin yer aldığı inceleme alanında litolojik farklılıklar göz önüne alınarak on iki birim ayırtlanmıştır (Açıkgöz ve Öz, 1980) (Şekil 5.9).

Bu birimler;

- a) Cemilköy Tüfleri (Cmt)
- b) Taşkınpaşa (Tfm)
 - Başköy üyesi (Tfm₁)
 - Şahinefendi Üyesi (Tfm₂)
 - Devretderesi Üyesi (Tfm₃)
- c) Kızılkaya İgnimbiritleri (Kzi)
- d) Keçiderebenti Pomzası (Pm₂)
- e) Güzelöz Gölsel Sedimanları (Gsd)
- f) Akpınar Kireçtaşları (Akçt)
- g) Karakaya Bazaltları (kbz_{a-b})
- h) Alahopu Pomzası (Pm₃)
- i) Alüvyon (Ako-Pm₄)

Çalışma alanındaki birimlerin konumu genellikle yatay ve yataya yakın okup 5°-10° D-GD'ya eğimlidir. Yapılan gözlemlerde çalışma alanında fay ve kıvrım gibi yapısal elemanlar saptanmamıştır.

YAS		SIMGE	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	
SENOZOYİK	KUVATERNER	Ako Pm4			ALUVYON Yamac molozları şeklinde oluşan pomzalar
		Pm3			ALAHOPU POMZASI Eski göl çanaklarında 05-50mm arasında değişen pomzalar
		Kbz a-b			(UYUMSUZLUK) KARAKAYA BAZALT LARI Renkleri gri olan andezik bazaltlar ve renkleri siyah olan bazaltlardan oluşur
	PLİYOSEN	Akc1	7-17		(UYUMSUZLUK) AKPINAR KIRECTAS LARI Kahverengimsi beyaz, bej renklerde değişir, dayanimsızdır.
		Gsd	20-30		GUZELOZ, GOLSEL SEDİMAN LARI Kumtasi, kiltasi ve killi kirectasi şeklinde istif sunar
		Pm2	3-4		(UYUMSUZLUK) KECİDEREBENTİ POMZASI Beyazimsi gri, kırmızımsi taze yüzeyi gridir
		Kzi	10-12		KIZILKAYA İGNİMBİRLİLERİ Ayrışma yüzeyi pembe kırmızı taze yüzeyi gri-pembemsi gridir
		Tfm3	10-20		TASKİNPASA F. DEVRETDERESİ ÜYESİ İnce ve orta katmanlarla kumtaslarından oluşur
		Tfm2	25-50		TASKİNPASA F. SAHİNEFENDİ ÜYESİ Kumtasi, kiltasi, marn ve kirectasi ardalanmasından oluşur. Faleokanal dolgular içerir.
		Tfm1	35-60		TASKİNPASA F. BASKOY ÜYESİ Kumtasi, çakiltasi ardalanmasından oluşan üye pomza yığılması gözlenen göl çanakları içerir.
	NEOJEN	Cm1			CEMİLKÖY TUFLERİ Beyazimsi gri ile gri renkleri arasında değişim gösteren camur içinde pomza içerir.
					ÖLÇEKSİZ

Şekil 5.9. Çalışma alanının genel litolojik kesiti (Açıkgöz ve Öz, 1980)

Yörede bir çok volkanik çıkış bacası mevcuttur. Asit kökenli bir takım volkanik çıkışlar oldukça yaygın pomza yataklarının oluşmasına neden olmuşlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda Nevşehir ve çevresinde 1,5 milyar m³'ü aşan pomza rezervi saptanmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi otokton ve allohton olarak oluşan pomzalar farklı yerlerde farklı özelliklerde gözlenmektedirler. Çalışma alanında yaklaşık 16 km² lik alan kaplayan pomzalar oluşum ortamı ve farklı depolanma şekilleri dikkate alınarak tipomorfolojik olarak dört ayrı şekilde incelenmiştir.

Başköy Pomzası; Çalışma alanı güneyinde bulunan Başköy yol yarmasında gözlenen bu pomza oluşumları kumtaşı, çakıltası-kumtaşı ardalanmasından oluşan Taşkınpaşa formasyonu Başköy üyesi içinde yer almaktadır. Bütün olarak yayvan bir çanak şeklinde olan pomzalar iki ayrı seviyede gözlenmektedirler. Göl çanağının en derin yeri yaklaşık 9 m'lik bir istif sunmaktadır. Kenarlara gidildikçe bu istifin kalınlığı azalmaktadır (Açıkgöz ve Öz, 1980).

İlk seviyede gözlenen pomza oluşumu çanağın en derin yerinde 3-3,10 m arasında kalınlık sunmaktadır. Yaklaşık 2.5 m kalınlıktaki çamurlu ara düzeyi ikinci pomza seviyesi izler. Bu pomzanın kalınlığı en derin yerde 1,5 m yi bulmaktadır. İki pomza seviyesi arasında kalan çamurlu ara düzey içinde düzensiz olarak dağılmış pomza çakılları gözlenir. Yatak oluşturan pomza taneleri 1-20 mm arasında değişen boyutlara sahiptir. Tanelerin rengi gri ile mavimsi gri arasında değişir. Daha önceki oluşmuş olan pomzaların aşınıp taşınması ve görsel bir çanak şeklinde yığılması sonucu oluşan bu pomzalar şimdilik ekonomik bir önem arz etmemektedir.

Keçiderebenti Pomzası (Pm₂); Bu pomzalar otokton pomzalar olarak değerlendirilmektedir. Stratigrafik yeri Kızılkaya ignimbiritleri ile Güzelöz gölsel sedimanları arasında olan pomzalar gayet iri bloklar halinde gözlenmektedirler.

Üzeri gölsel sedimanlarla örtülü olan otokton pomzalar Şahinefendi Köyü yakınında bulunan Keçiderebenti, Cevizli, Akpınar, Nalbant Mezarı ve Büyükkıran sırtlarında net olarak gözlenebilmektedirler. Çalışma alanının güneyinde ise gölsel sedimanların hemen altında ve ignimbiritlerin hemen üstünde görülürler.

Pomzalarda alterasyon rengi kahverengimsi olup taze yüzeyi bej renktedir. Ayrıca Güzelöz Köyü yol yarmasında bir kısım pomza yersel sınırlı taşınmaya uğramış, demirli suların etkisiyle yer değiştirmiş ve pembemsi bir görünüm

kazanmıştır. Otokton pomzalar ortalama 3.9 - 4 m arasında değişen kalınlıklarda bulunmaktadır.

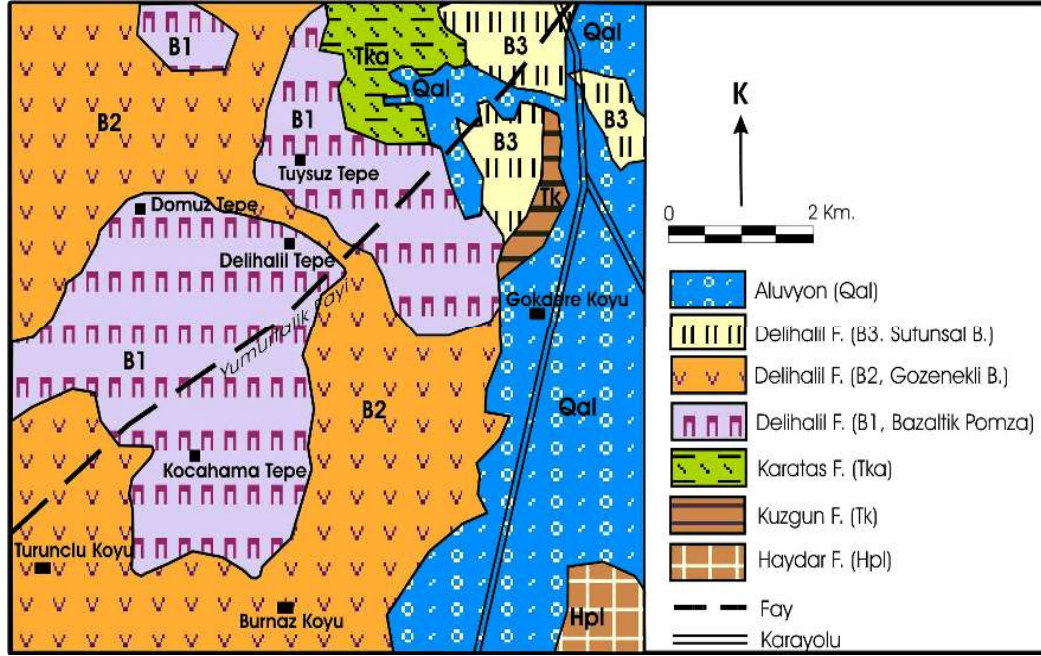
Alahopu Pomzası (Pm_3); Otokton pomzaların aşınma, taşınma ve depolanması ile oluşan pomzalar çalışma alanının B ve KB'sında yaklaşık olarak 10 km² lik bir alanda gözlenirler. İşletilmekte olan bir ocakta yöredeki diğer ocaklarla benzer istif gözlenmiştir. Yakından incelendiğinde gölsel bir çanak şeklinde oluşum sunan pomzalar arasında yatay olarak gözlenen karışık renkli çakıllı seviyeler vardır. Bu çakılların boyutları 1 - 1.5 cm arasında değişim gösterir. Oluşturduğu tabakaların kalınlığı ise 2 - 5 cm arasında değişmektedir. Bir çok yerde gözlenen bu tip pomzalar kepçe ile direkt kamyonlara yüklenerek satılmaktadır. Bu ocaklar madencilik ve işletme yöntemlerini bilmeyen vasıfsız kişilerce işletildiğinden belirli bir yöntem dahilinde çalışılmamaktadır. Bu da üretim kayıplarına yol açmakta, verimin tam olarak sağlanmamasına sebep olmaktadır.

Yamaç Molozları Şeklinde Pomzalar (Pm_4); Daha önce oluşan pomzaların su ve rüzgarın etkisiyle taşınıp bir yerde birikmesinden oluşan bu pomzalar güncel oluşuklardır. Şahinefendi Köyü'nün G ve D KD'sında gözlemek mümkündür.

Tane boyu açısından bu pomza oluşumları incelendiğinde Şahinefendi Köyü güneyinde gözlenen pomzaların D - KD'dakilere oranla daha büyük olduğu gözlenebilir. Renkleri itibari ile de farklılıklar sunarlar. G' de yer alan pomzaların rengi gri-beyazımsı gri arasında değişim gösterirken D - KD'dakilerin rengi gri-mavimsi gridir.

5.1.2.2. Toprakkale Bazik Pomzası

Çalışma kapsamında Adana Toprakkale Bölgesinde yüzeylemekte olan Toprakkale Bazik Pomzası incelenmiştir. Toprakkale bazaltı Toprakkale ve Erzin ilçeleri ile İskenderun Körfezi arasında yer almakta olup, Kuvaterner yaşlı Plato bazaltları şeklinde bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Toprakkale civarının jeolojik haritası (Yaşar ve Erdoğan, 2005)

Toprakkale bazik pomzaları arazide yarı masif, siyah-gri renkli, irili-ufaklı ve köşeli büyüklükleri 1-18 cm arasında değişen çakıllar halinde izlenebilmektedir. Renkleri genellikle siyah ve siyaha yakın tonlarda bulunan bazik pomzalar genellikle homojen bir renge sahiptir. Minerallerin oluşma sırası başlıca, mağmanın başlangıçtaki bileşimine ve ısısına bağlıdır.

Çalışma alanı ve yakın civarında Haydar Formasyonu (Hpl), Kuzgun Formasyonu (Tk), Karataş Formasyonu (Tka), Delihalil Formasyonu (B) ve Alüvyon (Qal) birimleri görülmektedir (Pelen ve İşler, 1996).

Bu çalışmada Delihalil Formasyonu volkanik bir birim olup Toprakkale Bazik pomzasının bulunduğu litolojik kısım olarak adlandırılmıştır. Bölgenin genel jeolojik yapısı sırasıyla incelenerek verilmiştir.

Haydar Formasyonu (Hpl), bol serpantin, serpentine peridotit, kireçtaşı daha az kuvars ve yer yer çört çakılları içeren karbonat çimentolu, iyi pekişmiş çakıl taşından oluşmuştur. Taneler iyi yuvarlaklaşmış olup 2 mm ile 20 cm boyutları arasında değişmektedir. Marn mercceklerinin yer yer izlendiği bu formasyon Doyuran (1980) tarafından Haydar Formasyonu olarak isimlendirilmiş ve formasyonun sahil

veya med-cezirin etkin olduğu dar bir körfezde olduğu belirtilmiştir. TPAO'nun 1964 yılında petrol aramak amacıyla açtırdığı Erzin-1 sondajı bu formasyon içinde 1800 metreye kadar inmiş fakat formasyonunun tabanına varılamamıştır. Haydar formasyonunun yaşı Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

Kuzgun Formasyonu (Tk), Kısık Boğazının her iki yamacında ve güney doğusunda geniş alanlarda yüzeyleir. Formasyon genellikle kumtaşı, konglomera, marn, silttaşı ve kiltası aralanmasından oluşmuştur. Bilgin ve diğerleri (1981) bu formasyon içindeki fosil bulgularına göre Kuzgun Formasyonuna Üst Miyosen-Pliyosen yaşını vermişlerdir. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından Kısık Boğazının güneyinde bu formasyon üzerinde derin petrol sondajları açılmış ve sondaj verilerine dayanarak Kuzgun formasyonunun kalınlığının 1400 metre olduğu görülmüştür.

Karataş Formasyonu (Tka), Turunçlu ve Tüysüz Köyleri civarlarında, Kısık Boğazı kuzeyinde ve Toprakkale batısında görülmektedir. Formasyon genel olarak fliš karakterinde olup kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve çamurtaşı hakim kaya türü olarak görülr. Bu formasyon içerisinde çeşitli yaş ve boyutlarda kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kalk şist, kuvars-muskovit şist, tuf, bazalt ve kumtaşları blok veya olistosromal seviyeler şeklinde yer alırlar. Bilgin ve diğerleri (1981) formasyonu kumlu kireçtaşı içindeki fosil bulgularına göre birime Alt-Orta Miyosen yaşını vermişlerdir.

Bu çalışmada Toprakkale bazik pomzasının bulunduğu Delihalil Formasyonu (B), çok geniş bir alana yayılmış olup genellikle ana ve tali volkanlardan püsküren piroklastik blok, parça ve külleri ile zaman zaman görülen lav akıntısı şeklindedir. Delihalil formasyonu kendi arasında 3 farklı sınıfa bölünmüş ve B1, B2 ve B3 olarak adlandırılmıştır. Toprakkale bazaltı oluşumu açısından tabandan tavana doğru bazik pomza, gözenekli bazalt ve sütünsal bazalt şeklinde 3 gruba ayrılmıştır. Yapılan sınıflandırma sonucunda B3 ile gösterilen kısım Sütünsal Bazalt oluşumlarını, B2 ile gösterilen kısım Gözenekli bazalt oluşumlarını ve B1 olarak gösterilen kısımda çalışmamızda hafif yapı malzemesi olarak kullandığımız bazik pomza oluşumlarını göstermektedir.

Delihalil Tepe, Domuz Tepe, Kocaham Tepe ve Tüysüz Tepe gibi bir çok tepeler bu formasyonun ana veya tali volkan konisi niteliğindedir. Delihalil Tepenin ana volkan konisi olması ve çok geniş bölgelere yayılım göstermesi nedeniyle Doyuran (1980), Bilgin ve Ercan (1981) tarafından Delihalil Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyonun yaşını Doyuran (1980) Holosen, Bilgin ve Ercan (1981) ise Kuvaterner olarak vermiştir. Delihalil Formasyonunun fiziksel olarak dış görünümü, gaz boşluğu içerikleri, sahadaki yayılımları ve konumları itibarı ile farklı zamanlarda ve üç safhada oluştukları gözlenmiştir. Kısık boğazı ve çevresinde görünür kalınlığı 25-30 m. civarında olan bu bazaltların devamında TPAO'nun Erzin'de açmış olduğu petrol arama sondajlarında bazalt kalınlığı olarak 70 m. tespit edilmiştir. Bazaltların arazideki konumları, gaz boşluklarının kısmen kalsit minerali tarafından doldurulmuş olması bunların ilk volkan faaliyetleri ile oluşmuş olabileceklerini göstermektedir. Önceki araştırmacılar Doyuran (1980), Uz ve arkadaşları (1997) bu bazaltları volkanik faaliyetlerin ilk ürünü olarak kabul etmiştir. Toprakkale batısında Karataş formasyonu ile bazaltın dokanağında pişme zonları çok net olarak görülmektedir (Bilgin ve Ercan, 1981, Doyuran, 1980, Uz vd, 1997) .

5.1.3. Mineralojik ve Petrografik Analizler

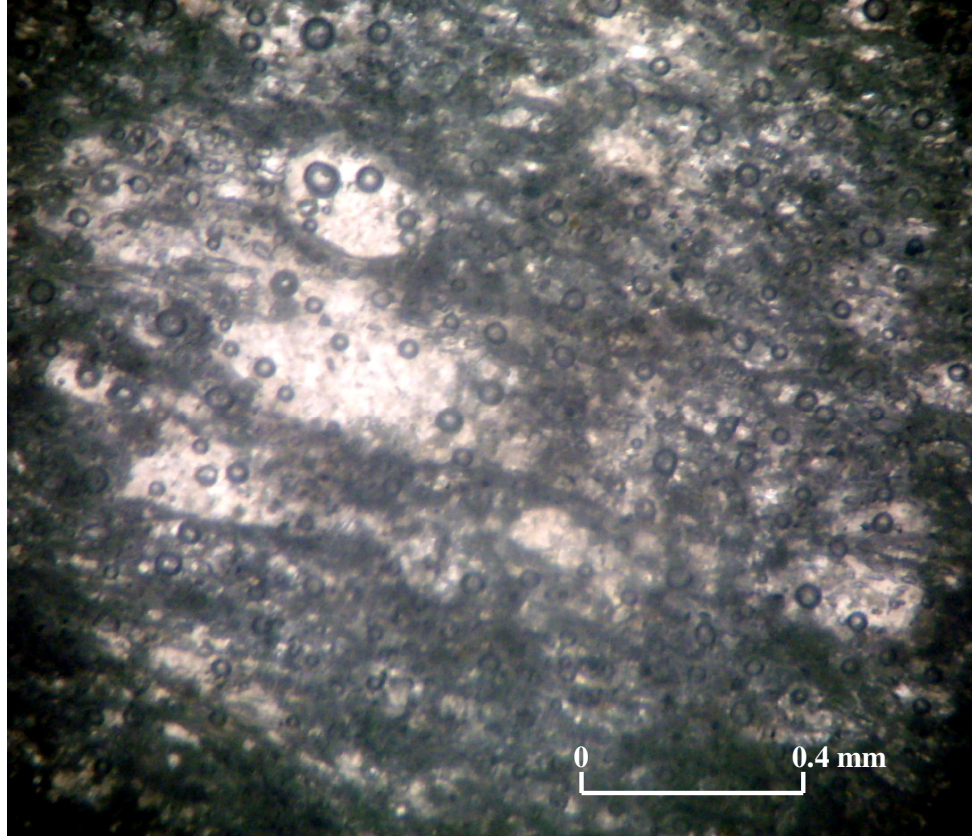
Şimdiye kadar yapılan çalışmaların büyük bir kısmı asidik pomzalar üzerine olduğundan bazik pomzaların mineralojik ve petrografik özellikleri hakkında detaylı bilgiler bulunmamaktadır. Çalışma esnasında Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomzalarının ince kesitleri hazırlanmış fotoğrafları çekilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

Pomza oluşum itibarıyla volkan püskürmelerinin ani soğuması ve kayaç bünyesindeki gazların kayacı terk etmesiyle oluşan ve bu olayın sonucunda gözenekli bir yapı içeren mağmatik kökenli bir kayaç türüdür. Tamamen doğal oluşum neticesinde pomzanın bünyesinde bulunan gözeneklerin birbirleriyle bağlantısı yoktur. Pomzayı diğer kayaçlardan ayıran en büyük özelliklerden biri olan irili ufaklı bu gözenekler, pomzaya hem hafif bir ağırlık sunmaktalar hem de ısı ve ses iletimini yönünden oldukça büyük bir avantaj sağlamaktadırlar. Pomzayı diğer

kayaçlardan ayıran bir başka özellik de renk yapısı ve kristal suyunun pomza yapısında bulunmaması olarak bilinmektedir.

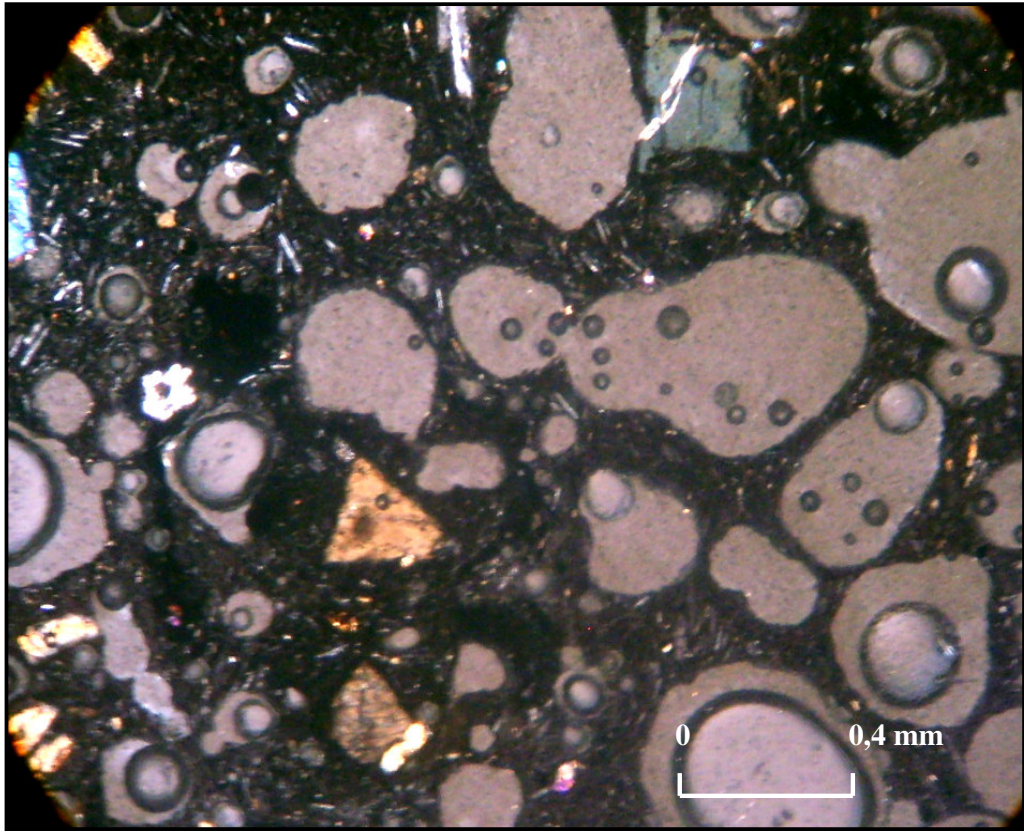
Pomza en çok renk ve kimyasal bileşim bakımından perlitte benzemektedir. Bu yüzden bazı durumlarda perlit ile ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Pomzalı perlit ve perlitik pomza diye adlandırılan geçişli pomza kayaçları da mevcuttur. Pomzayı perlitten ve diğer volkanik kökenli kayaçlardan ayırmanın en etkili yolu yapılan mineralojik ve petrografik analizlerdir. Bu analizlerde özellikle renk ve gözenek yapısı ile pomza diğer kaya türlerinden ayrılarak tanımlaması yapılabilmektedir.

Yapılan gözlemler neticesinde gözeneklerin gözle görülebilecek boyuttan mikroskobik boyuta kadar değiştiği, sayılamayacak kadar fazla olduğu ve her bir gözenegin diğer bir gözenekle hiçbir şekilde uyum ve şekil benzerliği göstermeden ince bir zarla ayrıldığı görülmüştür. Şekil 5.11’de Nevşehir asidik pomzasının, Şekil 5.12’de Toprakkale bazik pomzasının ince ketsileri görülmektedir.



Şekil 5.11. Nevşehir asidik pomzasının ince kesit görünümü

Şekil 5.11'den görüleceği üzere, asidik pomza yapısında çok sayıda yuvarlak ve dairesel şekilli gözenekler bulunmaktadır. Bu gözeneklerin ebatları çok farklılık göstermektedir. Kimi gözenekler gözle görülebilecek boyutta iken kimileri mikron seviyesinde olduğu görülmektedir. Asidik pomzanın en belirgin karakteristik özelliği mikroskop altında da görüldüğü üzere gözeneklerin birbirlerinden bağımsız boyut, tip ve şekilde olduğudur. Ayrıca bu gözenekler camsı bir zarla korunmakta olup diğer gözeneklerle bağlantısız durumdadır.



Şekil 5.12. Toprakkale bazik pomzasının ince kesti görünümü

Toprakkale bazik pomzasının mikroskop altındaki ince kesit görünümünde Nevşehir asidik pomzasıyla paralellik göstermektedir. Aralarındaki en büyük fark, bazik pomza bünyesinde yüksek miktarda bulunan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ve MgO gibi metalik madenlerin bulunması bazik pomzaya koyu bir renk homojenliği sunmaktadır. Bazik pomza yapısında bulunan gözeneklerin yapısı asidiklere göre

daha camsı yassı uzunlamasına olduğu gör÷lmektedir. Ayrıca gözenekler arasındaki kalınlık miktarında asidiklere göre çok büyük olduğu gör÷lmüştür. Ayrıca Şekil 5.12’den de gör÷ldüğü üzere parlak renkte piroksenler ve plajyoklaslar bulunmaktadır.

Bunların dışında Toprakkale bazik pomzasının yapısında belli oranlarda alüminyum ve demir oluşumları gör÷lmektedir. Bu metaller pomzanın renk homojenliğini ve matriks yapısını bozmaktadır. Toprakkale bazik pomzasının gözenekler arasındaki kalınlık miktarının değışiminin pomza mukavemeti ile ilişkili olduğu gözlemlenmektedir. Kalınlık miktarının fazla oluşu dayanımı arttırmakta fakat gözenek miktarındaki azalma ile diğerk fiziksel özellikler azalmaktadır.

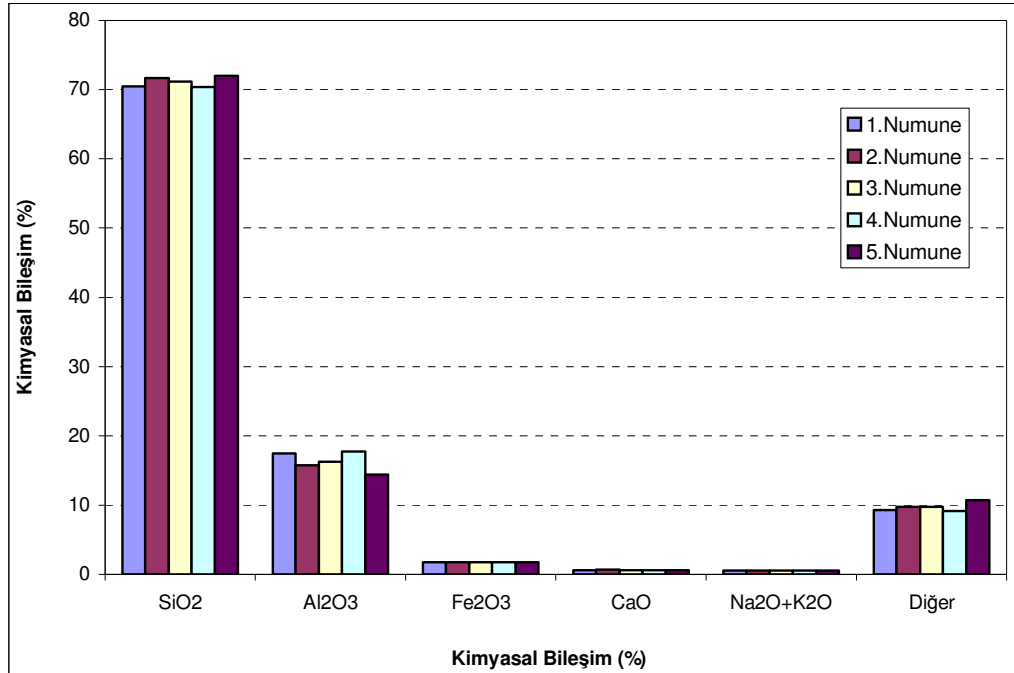
5.1.4. Kimyasal Analiz

Hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılması düşün÷len pomzaların kimyasal özelliklerinin oldukça iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Asidik ve bazik pomzaları birbirinden ayıran en önemli özellikde kimyasal bileşimlerinde mineral miktarlarıdır. Bu mineral bileşimleride pomzaya farklı farklı strüktür yapısı sunmaktadır.

Bu yüzden yapılan tez çalışmasında hem Nevşehir asidik pomzasının hem de Toprakkale bazik pomzasının kimyasal bileşimleri detaylı olarak belirlenerek elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3 ve 5.4 ile Şekil 5.13 ve 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal analizleri

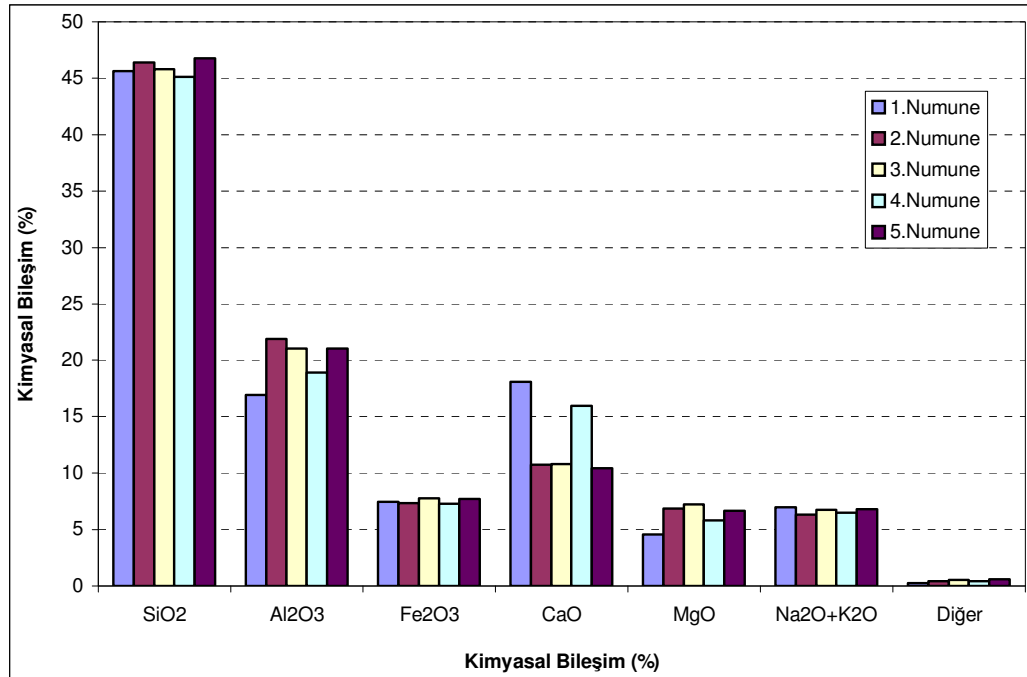
Bileşim	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O+K ₂ O	Diğer
1. Numune	70.42	17.45	1.71	0.61	0.54	9.27
2. Numune	71.45	15.70	1.73	0.66	0.52	9.74
3. Numune	71.16	16.25	1.75	0.65	0.50	9.69
4. Numune	70.35	17.70	1.71	0.62	0.51	9.11
5. Numune	72.04	14.38	1.70	0.62	0.55	10.71
Ortalama	71.12	16.30	1.72	0.63	0.52	9.70
S.Sapma	0.67	1.21	0.02	0.02	0.02	0.56



Şekil 5.13. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal bileşimi

Çizelge 5.4. Toprakkale bazik pomzanın kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	Diğer
1. Numune	45.66	16.95	7.45	18.10	4.60	6.96	0.28
2. Numune	46.38	21.89	7.35	10.78	6.86	6.34	0.40
3. Numune	45.80	21.02	7.78	10.82	7.26	6.78	0.54
4. Numune	45.10	18.89	7.30	15.96	5.80	6.52	0.43
5. Numune	46.76	21.02	7.74	10.45	6.67	6.80	0.53
Ortalama	45.94	19.95	7.52	13.22	6.24	6.68	0.44
S.Sapma	0.58	1.80	0.20	3.18	0.95	0.22	0.10



Şekil 5.14. Toprakkale bazik pomzasının kimyasal bileşimi

5.1.5. Fiziksel Özellikler

Asidik ve bazik pomza agregalarının fiziksel özellikleri (Birim Hacim Ağırlık, Su Emme, Porozite, Komposite) Türk Standartlarına uygun olarak (TS 1114 EN 13055-1, TS 3529, TS EN 1744-1, ASTM C 127-42, ASTM_C 128-57 vs) Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İskenderun Demir Çelik fabrikası, TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) ve MTA, MAT Dairesi, Endüstriyel Hammaddeler ve Seramik Malzemeleri Araştırma Birimi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve yorumlar aşağıda sunulmuştur.

5.1.5.1. Birim Hacim Ağırlık

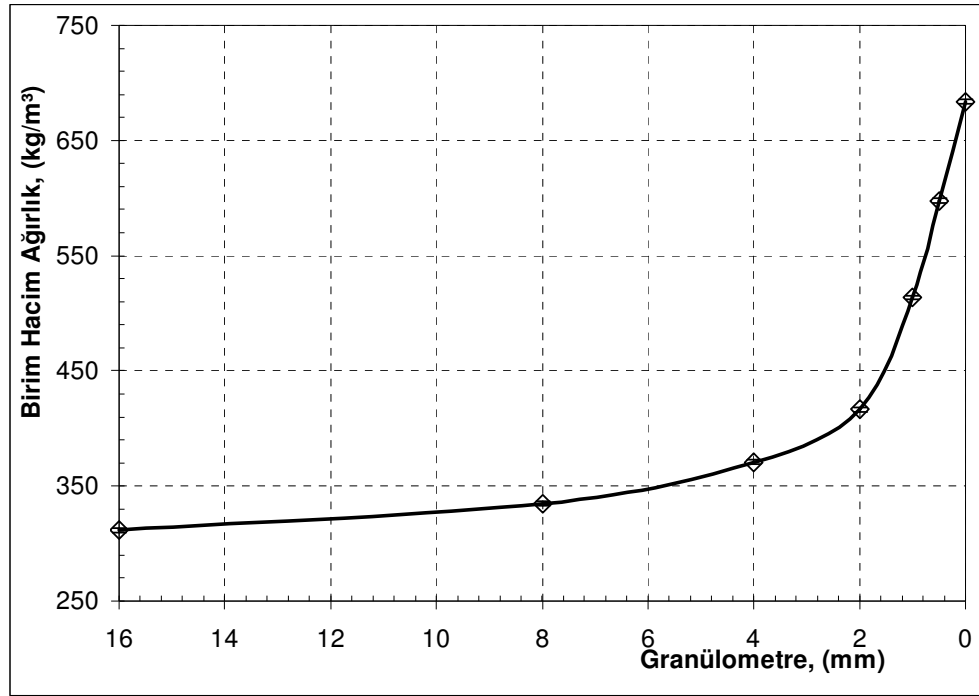
Pomzanın birim hacim ağırlığı, belirli bir hacmi dolduran tanelerin oluşturduğu ağırlık anlamına gelmektedir.

Agrega olarak kullanılan doğal yapı ve kaplama malzemeleri gerek oluşum durumlarına gerekse iç yapı ve dokusuna bağlı olarak birbirlerinden farklı birim hacim ağırlık değerleri göstermektedirler. Bu amaçla hafif yapı malzemelerinin kullanım amaçlarına göre belirli sınır değerleri arasında olması gerekmektedir.

Ayrıca beton yapımı esnasında beton yapı malzemesinin ve kullanılan agreganın türünün birim hacim ağırlığının bilinmesi beton karışımının hesaplamalarında oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Bu amaçla, araziden getirilen pomza agregaları elek analizine tabi tutulup < 0.5, 0.5 – 1.0, 1.0 – 2.0, 2.0 – 4.0, 4.0 – 8.0, 8.0 – 16.0, > 16 cm olmak üzere 7 sınıfa ayrılmıştır. Birim hacim ağırlık deneyleri her bir elek aralığı için TS 1114 EN 13055-1 ve TS 3529 ve ASTM C-138 standartlarına uygun olarak ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5 ve 5.6 ile Şekil 5.15 ve 5.16’da sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Nevşehir pomzalarının birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

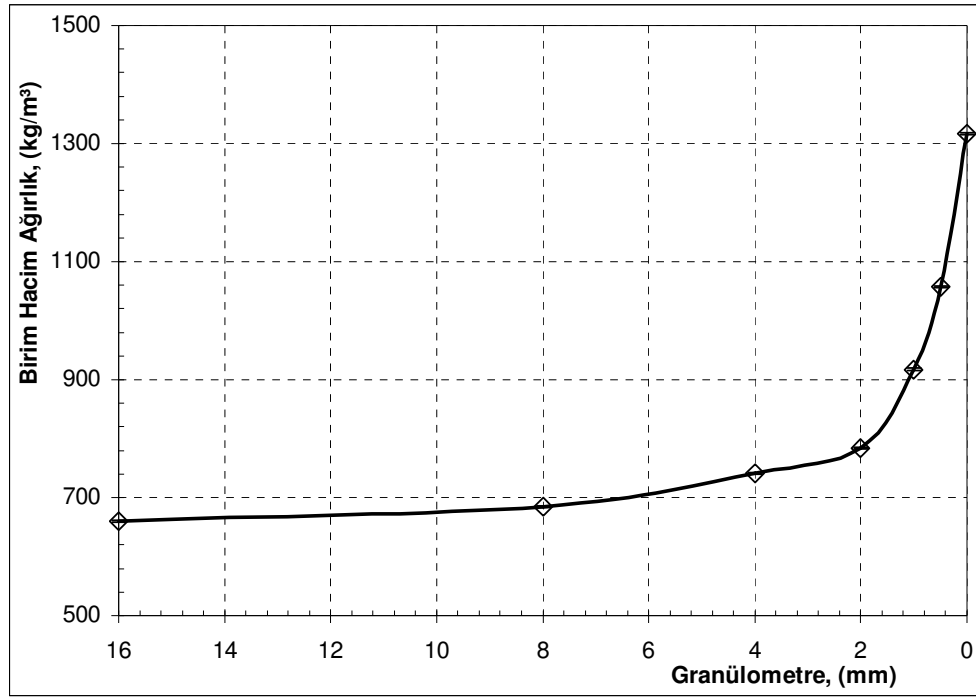
Elek Aralığı	Ortalama	S.Sapma
>16	311.45	8.95
16-8	334.75	9.50
8-4	370.73	16.61
4-2	416.39	20.94
2-1	513.61	25.81
1-0.5	597.80	43.70
<0.5	683.81	33.59



Şekil 5.15. Nevşehir bölgesi asidik pomzaların birim hacim ağırlık değişimi.

Çizelge 5.6. Toprakkale bazik pomzalarının birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

Elek Aralığı	Ortalama	S.Sapma
>16	660.38	7.26
16-8	684.46	9.69
8-4	740.72	28.76
4-2	784.41	37.60
2-1	917.51	11.80
1-0.5	1057.45	36.98
<0.5	1317.11	94.60



Şekil 5.16. Toprakkale bölgesi bazik pomzaların birim hacim ağırlık değişimi

5.1.5.2. Su Emme

Pomza agregalarının su emme kapasiteleri, su emiş hızları ve yapısal olarak tanelerin içerisinde bulunan nem yüzdeleri beton ve bimsblok karışım hesaplarında, betonun yapımında kullanılan en önemli fiziksel özelliklerden biridir.

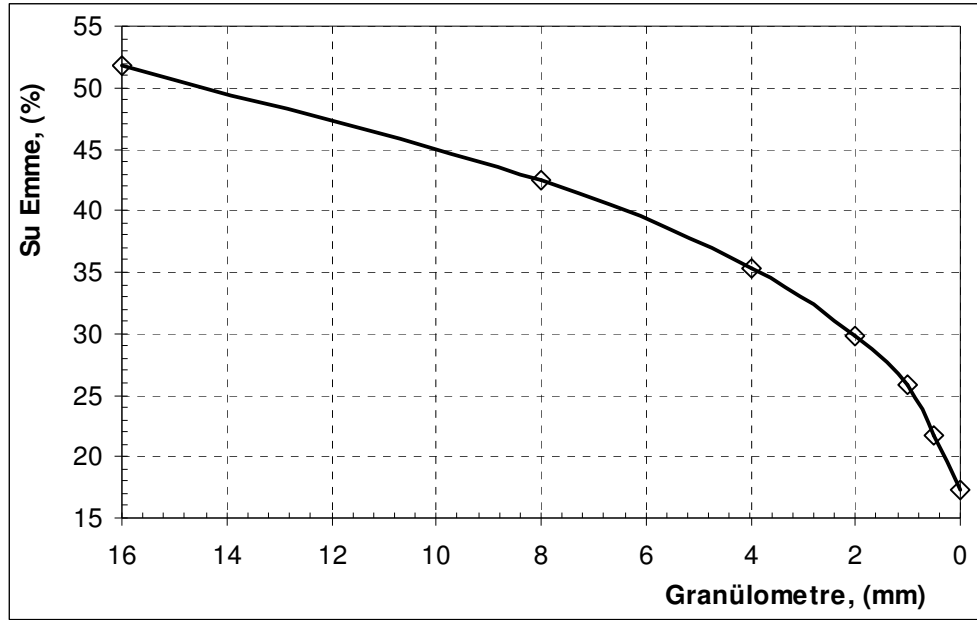
Pomza örneklerinin su emme özellikleri TS 1114 EN 13055-1 ve ASTM C 127-42 standartlarına göre yapılmış olup elde edilen veriler Çizelge 5.7 ve 5.8 ile Şekil 5.17 ve 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Nevşehir pomzalarının su emme değerleri (%)

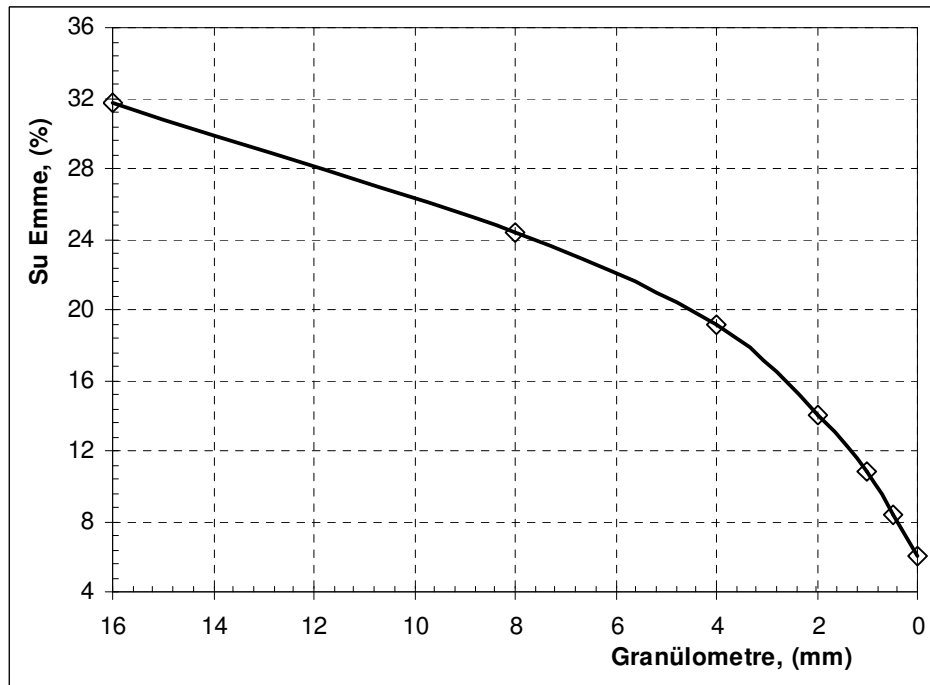
Elek Aralığı	Ortalama	S.Sapma
>16	51.75	2.12
16-8	42.44	2.79
8-4	35.24	2.01
4-2	29.76	2.31
2-1	25.86	2.07
1-0.5	21.79	0.70
<0.5	17.30	0.48

Çizelge 5.8. Toprakkale bazik pomzalarının su emme değerleri (%)

Elek Aralığı	Ortalama	S.Sapma
>16	31.70	2.55
16-8	24.41	2.76
8-4	19.19	0.99
4-2	14.00	1.44
2-1	10.82	0.76
1-0.5	8.36	0.71
<0.5	6.01	0.57



Şekil 5.17. Nevşehir bölgesi asidik pomzuların su emme değişiminin grafiksel görünümü



Şekil 5.18. Toprakkale bölgesi bazik pomzuların su emme değişiminin grafiksel görünümü

5.1.5.3. Gerçek Porozite

Pomza tanelerinin porozitesi Görünür ve Gerçek porozite olmak üzere iki farklı şekilde tanımlaması yapılmaktadır. Görünür porozite değeri ya hacimce su emme oranından yada hacim kütle ve kütlece su emme oranından hesaplanabilmektedir. Gerçek porozite ise pomzanın ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığının bir değeri olarak bulunabilmektedir.

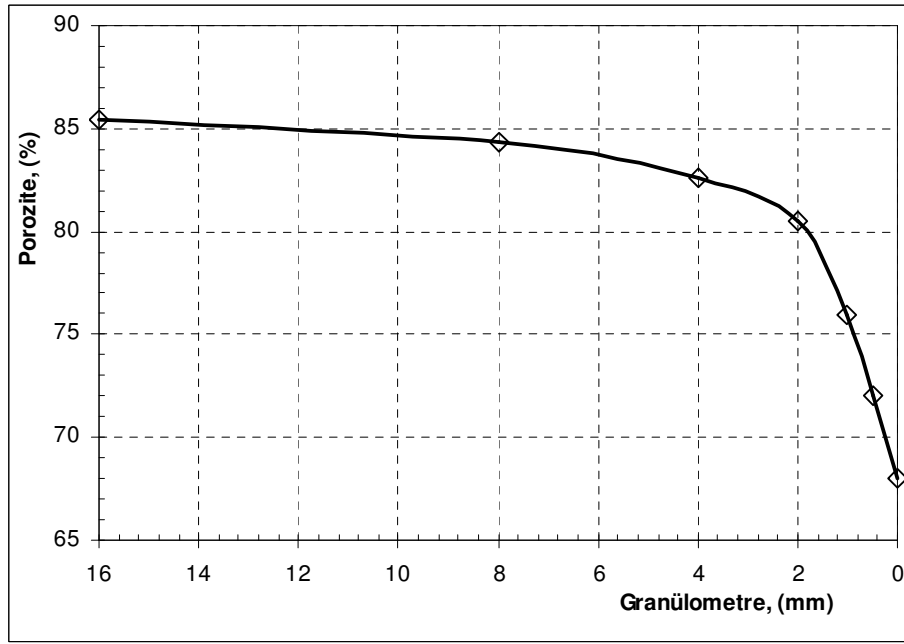
Pomzaların gerçek porozite değerleri TS 1114 EN 13055-1'e göre yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.9 ve 5.10 ile Şekil 5.19 ve 5.20'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Nevşehir asidik pomzalarının gerçek porozite değerleri (%)

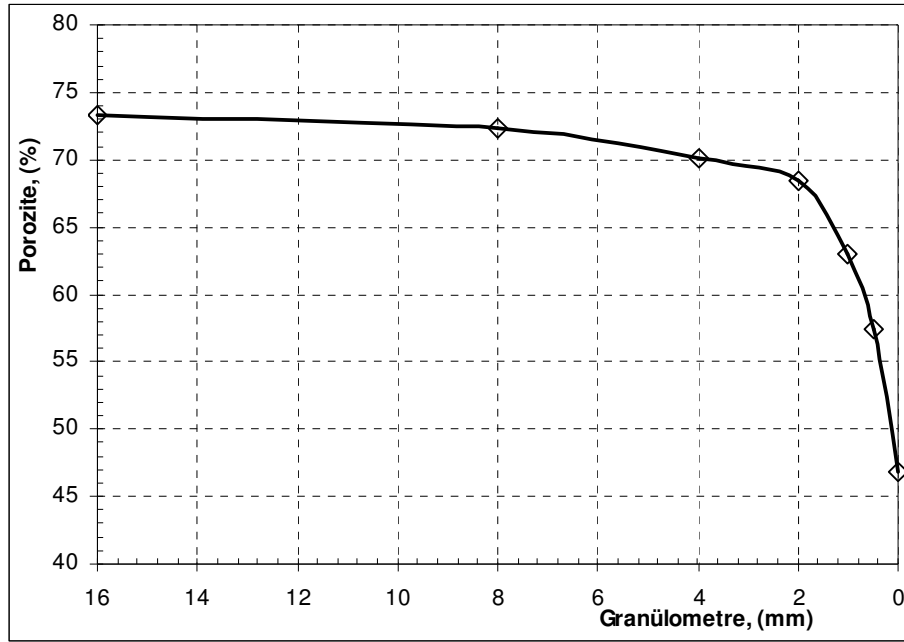
Elek Aralığı	Ortalama G. Porozite
>16	85.41
16-8	84.32
8-4	82.64
4-2	80.50
2-1	75.94
1-0.5	72.00
<0.5	67.97

Çizelge 5.10. Toprakkale bazik pomzalarının gerçek porozite değerleri (%)

Elek Aralığı	Ortalama G. Porozite
>16	73.37
16-8	72.40
8-4	70.13
4-2	68.37
2-1	63.00
1-0.5	57.36
<0.5	46.89



Şekil 5.19. Nevşehir asidik pomzuların porozite değişiminin grafiksel görünümü



Şekil 5.20. Toprakkale bazik pomzuların porozite değişiminin grafiksel görünümü.

5.1.5.4. Kompasite (Doluluk Oranı) Analizi

Pomza agrega tanelerinin iç yapılarındaki doluluk oranı, agregaların nem alma ve su emme gibi fiziksel özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir. Yapı malzemelerinde nem alma, istenmeyen bir durum olduğundan pomza agregalarının kompasite değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Kompasite birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağlı olarak bulunabilmektedir.

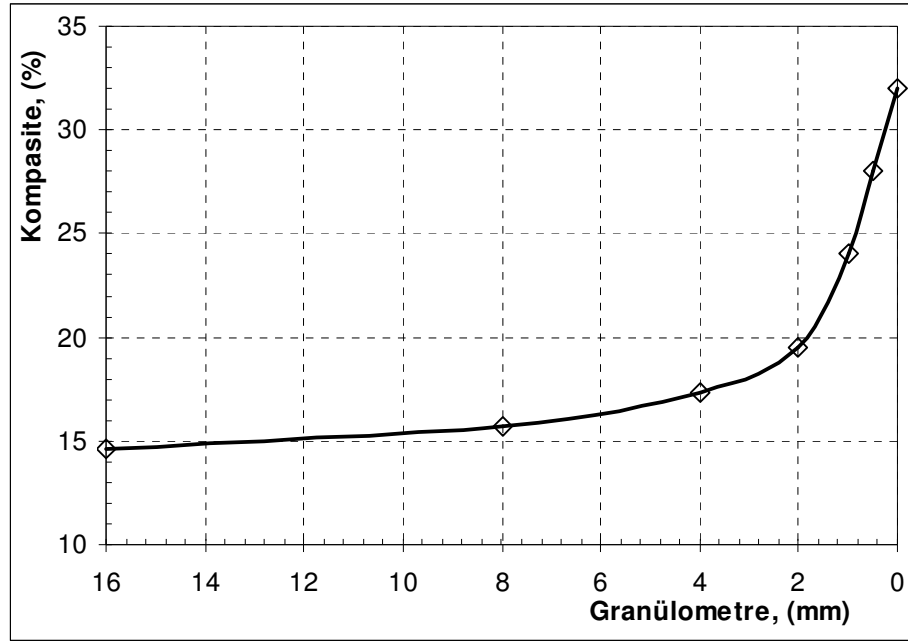
Pomza örneklerinin kompasite değerleri TS 1114 EN 13055-1 verilen granülometriye uygun olarak ASTM C 127-42 ve 128-57 standartlarına göre yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.11 ve 5.12 ile Şekil 5.21 ve 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Nevşehir asidik pomzalarının kompasite değerleri (%)

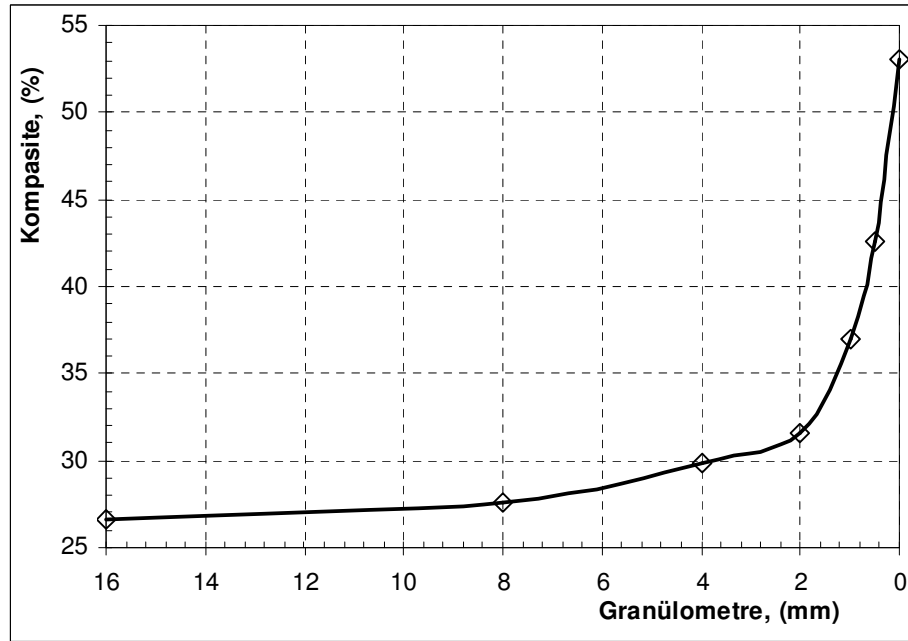
Elek Aralığı	Kompasite
>16	14.59
16-8	15.68
8-4	17.36
4-2	19.50
2-1	24.06
1-0.5	28.00
<0.5	32.03

Çizelge 5.12. Toprakkale bazik pomzalarının kompasite değerleri (%)

Elek Aralığı	Kompasite
>16	26.63
16-8	27.60
8-4	29.87
4-2	31.63
2-1	37.00
1-0.5	42.64
<0.5	53.11



Şekil 5.21. Nevşehir asidik pomzaların kompasite değişiminin grafiksel görünümü



Şekil 5.22. Toprakkale bazik pomzaların kompasite değişiminin grafiksel görünümü

5.2. Hafif Betona Uygunluk Deneyleri

5.2.1. Pomzaların Elek Analizleri

Pomza agregalarının hafif yapı elemanı olarak kullanılabilmesi için TS 1114 EN 13055-1 standartlarına göre granülometrik eğrilerinin (elek analiz eğrileri) bilinmesi gerekmektedir. Bu eğrilere bağımlı olarak istendiğinde incelik modülü ve özgün yüzey değerlerlerinde belirlenmesi mümkündür.

Elek analizleri TS'ye göre belirli bir granülometrik düzene sahip (32mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm ve 0.25mm) eleklerden yapılmaktadır. Elek analizlerinde hammaddenin tüm elek sisteminde elemesi yapılarak elek üstünde kalan değerlere bağlı olarak veriler koordinat sistemine işlenir. Koordinat sisteminde milimetrik olarak işlenmiş eğriler TS'nin öngörmüş olduğu sınır eğri ile karşılaştırılarak beton karışım oranlarının tespit edilmesi sağlanır.

TS 1114 EN 13055-1'e göre hafif agregalar olarak kullanılacak malzemelerin granülometrik özellikleri ve elek analizleri değerlerine göre ağırlıkça, eleklerden geçen malzeme yüzdeleri Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. TS 1114'de öngörülen hafif Agregaların granülometrik özellikleri

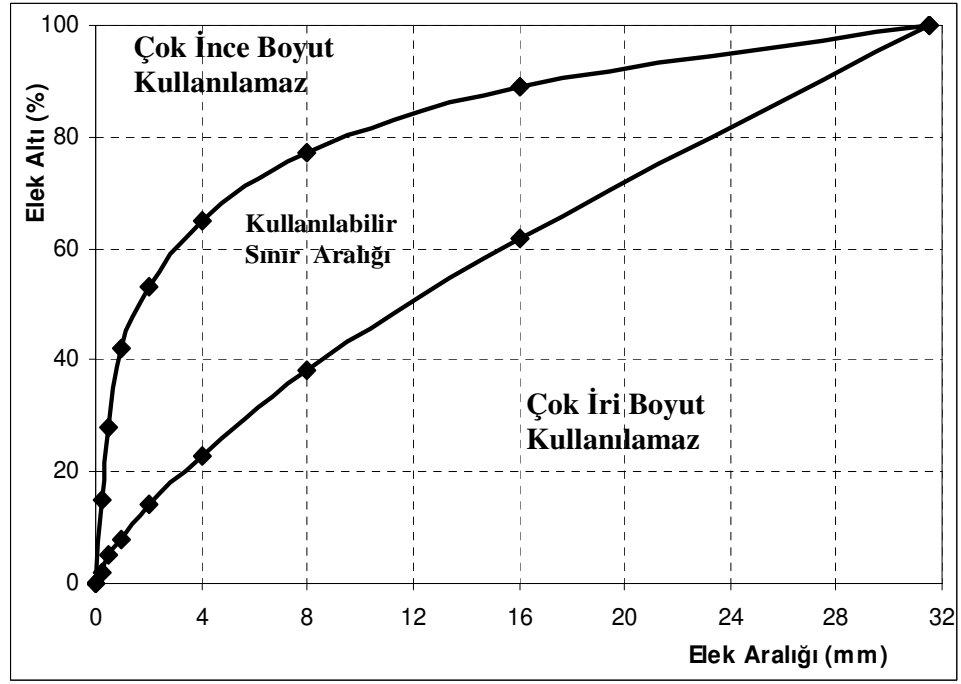
		TS 1227 kare gözlü elek göz açıklıkları					TS 1226 Kare delikli elek delik açıklıkları				
		0.125	0.250	0.500	1	2	4	8	16	31.5	63
İnce Agrega	0/2	1	1	1	1	≥90	100				
	0/4	1	1	1	1	≥90	≥90	100	-	-	-
	2/4	1	≤5	1	1	≤15	≥90	100			
Karışık Agrega	0/8	-	1	-	-	-	-	≥90	100		
	0/16		1						90	100	
	0/32		1							≥90	100
İri Agrega	4/8	-	≤5	-	-	-	≤15	≥90	100		
	4/16		≤5				≤15		≥90	100	
	8/16		≤5					≤15	≥90	100	
	16/32		≤5						≤15	≥90	100
1) Gerektiğinde sınırlandırılabilir											

Çizelge 5.13’de verilen TS 1114 EN 13055-1 standardındaki % değerlerin büyük bir çoğunluğu net olarak sayısal bir ifadeyle belirlenmemiştir. Bu yüzden kullanım esnasında farklı farklı uygulamalar görülmüştür.

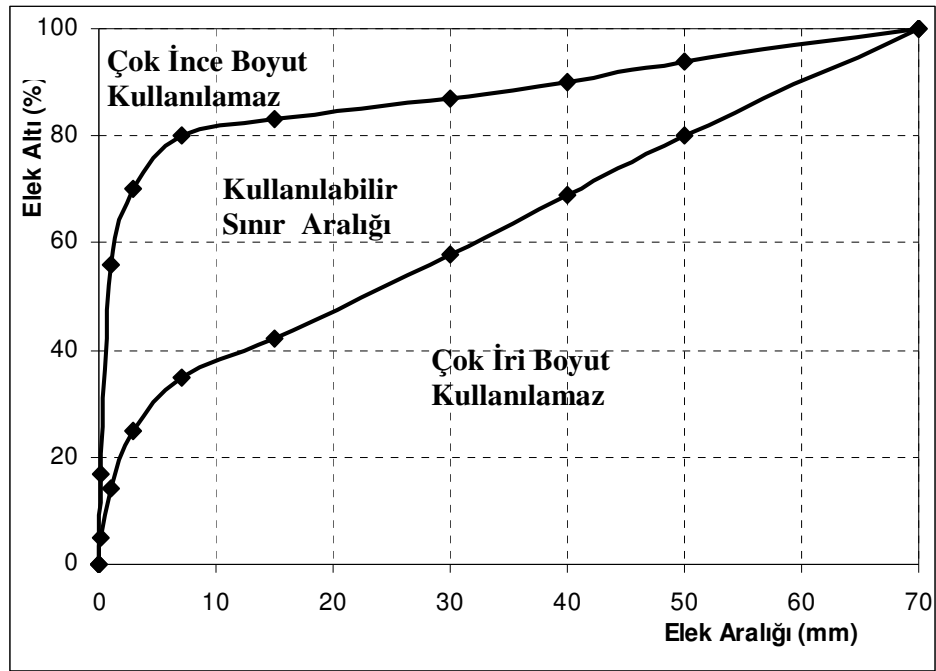
Çok eski zamanlardan günümüze kadar bu konuyla ilgili onlarca çalışma yapılmış ve TS standardında verilen % değerler, Çizelge 5.14’de belirtilen değerler şeklinde sınırlandırılması uygun görülmüştür. Çizelge 5.14’deki sayısal verilerin elek analizleri neticesinde granülometrik eğrileri belirlenmiş ve Şekil 5.23 ve 5.24’de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri

	Kare Delikli Elek için				Yuvarlak Delikli Elek için			
	İnce Agrega	İnce+İri Agrega Karışımı	Tüvenan Agregası		Elek Çapı (mm)	İnce Agrega	İnce + İri Agregası Karışımı	
			0-4 cm	0-2 cm			0-70mm	0-30mm
	Elekten Geçen % Ağırlık				Elekten Geçen % Ağırlık			
					70	-	100	
					50	-	80-94	
					40		69-90	
					30		58-87	100
32	-	100	100		15	-	42-83	63-92
16	-	62-89	95-100	100	-	-	-	-
8	100	38-77	-	-	-	-	-	-
4	61-85	23-65	25-45	30-50	7	100	-	40-80
2	36-71	14-53	-	-	3	56-87	-	2-70
1	21-57	8-42	-	-	1	20-70	35-80	8-56
0.50	13-39	5-28	8-30	10-35	0.2	2-21	25-70	1-17
0.25	5-21	2-15	-	-	-	-	-14-56	-



Şekil 5.23. Kare delikli eleklerde beton agregası granülometrisi



Şekil 5.24. Yuvarlak delikli eleklerde beton agregası granülometrisi

Şekil 5.22 ve 5.23’de verilen sınır değerler, genelde normal beton karışım agregaları için uygulanabilecek oranlardır. Hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılacak malzemelerin sınır değerleri, hafif yapı malzemesinin genel mühendislik özelliklerinin incelenerek belirlenmesi gereken bir husustur.

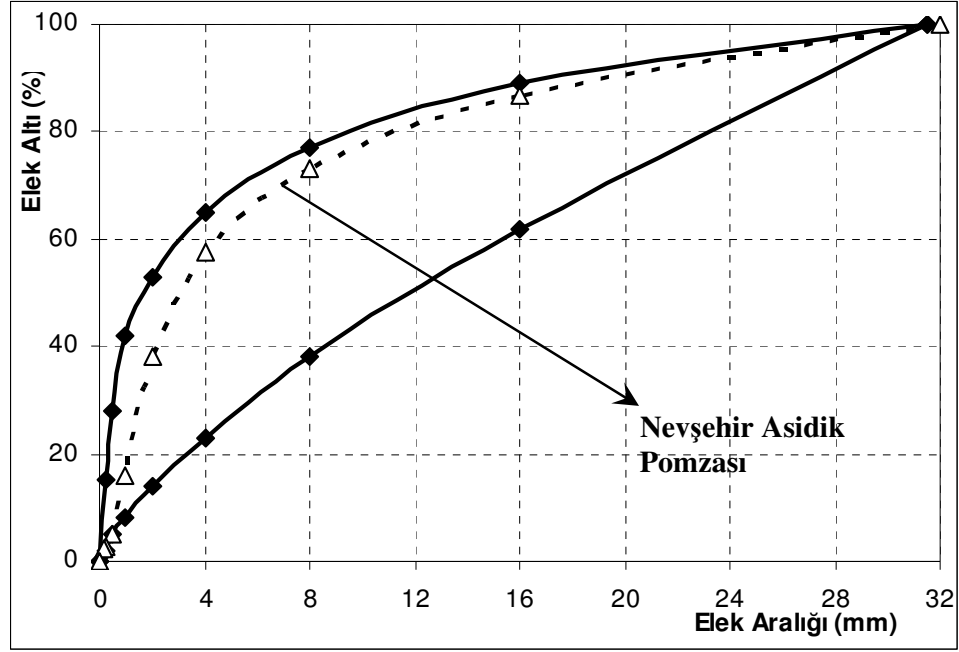
Bu yüzden pomza agregası için kullanılması düşünülen granülometrik eğrinin nasıl olacağı yapılacak olan deneysel çalışmaların sonucunda deneme yanılma yöntemiyle belirlenmeli ve beton sınır değerleri çok fazla aşmamalıdır.

Yapılan tez çalışmasında TS 1114 EN 13055-1 standartlarına uygun olarak yapılan elek analizleri neticesinde tüvenan olarak araziden alınmış numunelerin elek analiz değerleri tespit edilerek Çizelge 5.15 ve 5.16’da verilmiştir.

Ayrıca pomza agregalarının beton agregası granülometrisine göre kıyaslaması yapılmış ve elde edilen değerler şekiller Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. Tüvenan Nevşehir Asidik pomzasının elek analiz değerleri (TS 1114’e göre)

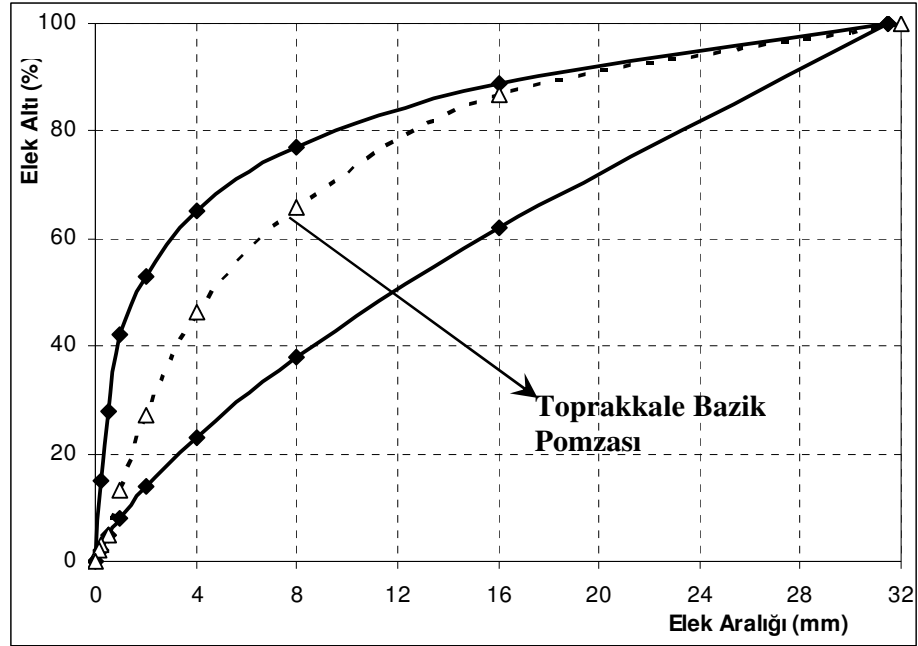
Elek Aralığı (mm)	Deney Sonuçları		% Hesaplanan	
	Elek Üstü (gr)	Kümülatif Elek Üstü (gr)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)
32	0	0	0.00	100.00
16	594	594	13.20	86.80
8	617	1211	26.91	73.09
4	694	1905	42.33	57.67
2	875	2780	61.78	38.22
1	1008	3788	84.18	15.82
0.5	488	4276	95.02	4.98
0.25	96	4372	97.16	2.84
0.125	31	4403	97.84	2.16
Kalan	97	4500	100.00	0.00



Şekil 5.25. Tüvenan Nevşehir asidik pomza agregasının granülometri eğrisi

Çizelge 5.16. Tüvenan Toprakkale Bazik pomzasının elek analiz değerleri (TS 1114'e göre)

Elek Aralığı (mm)	Deney Sonuçları		% Hesaplanan	
	Elek Üstü (gr)	Kümülatif Elek Üstü (gr)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)
32	0	0	0.00	100.00
16	667	667	13.34	86.66
8	1044	1711	34.22	65.78
4	968	2679	53.58	46.42
2	955	3634	72.68	27.32
1	706	4340	86.80	13.20
0.5	411	4751	95.02	4.98
0.25	95	4846	96.92	3.08
0.125	51	4897	97.94	2.06
Kalan	103	5000	100.00	0.00



Şekil 5.26. Tüvenan Toprakkale bazik pomza agregasının granülometri eğrisi (TS 1114'e göre)

TS 1114 EN 13055-1'e göre yapılan tane boyut elek analizlerinin neticesinde, Şekil 5.16 ve 5.17'de granülometrik eğrileri verilen, Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale Bazik pomzasının hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılmasında hiçbir sakınca görülmediği tespit edilmiştir.

5.2.2. Organik Madde İçeriği

Organik maddelerin beton hammaddesi olarak kullanılacak agregaların bileşiminde bulunması büyük sakıncalar yaratmaktadır. Özellikle organik bileşiklerin varlığı betonun mukavemetini düşürdüğü gibi zamana bağlı olarak paslanma, betonda yumuşama ve en önemlisi beton bağlayıcısı olarak kullanılan çimentonun bağlayıcılık özelliğini kaybettirme yeteneğine sahiptir. Bu amaçla çalışmamızda kullanılan Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale bazik pomzası içerisindeki organik madde içeriğinin varlığı belirlenmeye çalışılmıştır.

%3-5 arasında değişen NaOH kimyasal bileşimine 24 saat sũreyle maruz bırakılan pomza agregaları 24 saat sonunda almış olduğu açık sarı koyu kahve ve kırmızı renklerin varlığına gũre organik maddenin var olup olmadığına karar verilmektedir. Deney sonucunda kırmızıdan sonraki renkler organik madde bakımından zengin bir bileşim olduğunu gũstermektedir.

TS EN 1744-1’de belirtilen deney kriterlerine gũre yapılan deneylerin sonucunda Nevşehir Asidik pomzası ile Toprakkale Bazik pomzasında organik madde oluşumuna rastlanılmamıştır.

5.2.3. Pomza Agregasında İnce Madde Oranı Analizi

Pomza agregalarının hafif betona uygun olup olmadığının belirlenmesinde yapılan deneylerden bir diğeri de pomza agregasında bulunan ince maddelerin analizidir. Bu deney genel itibariyle TS 1114 EN 13055-1 standartlarında belirtilen kriterlerin altında, 0.063 mm açıklığındaki bir elekten malzemenin elenmesi ve elek altında kalan malzemenin elek ũstũndeki malzemelerle yũzde olarak oranlanmasıyla tespit edilen bir deney olarak adlandırılmıştır.

Bu deneyin yapılmasında iki yũntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi ũkeltme yũntemidir. ũkeltme yũnteminde sabit bir hacim içerisine, hafif beton agregası konarak belirli zaman içerisinde ũkmesi ve su içerisinde ũken malzemenin hacmi ile genel hacim arasındaki oranlama ile belirlenen bir yũntemdir. Bu deneyin en bũyũk dezavantajı uzun zaman dilimi gerektirmesi ve gũzlemsel olarak yapılması muhtemel hataların sıklığıdır.

Diğer ince madde oranı analiz yũntemi ise yıkama yũntemidir. Bu yũntemde 0.063 mm’lik elek açıklığına sahip bir elek kullanılarak yaş ortamda agregaların yıkanması prensibine dayanır. Bu yũntemde yıkama sonrasında, elek altında kalan agrega miktarı ile elek ũstũndeki agrega miktarının oranlanmasıyla ince madde oranı belirlenmektedir.

TS 1114 EN 13055-1 standartlarında hafif beton agregalarının ince madde oranına gũre maksimum sınır değerleri, agregaların tane aralıklarına gũre değişmektedir. Bu yũzden agregalardaki ince madde oranının belirlenmesinde hangi

tane sınıfında deneyin yapılacağı belirlenmeli ve bu tane sınıfına göre elde edilen değerlerin standartlardaki sınır değerlerle karşılaştırılması yapılmaktadır. Çizelge 5.17’de İnce madde oranı tespiti yapılacak malzemelerin sınır değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.17. Hafif beton agregalarında ince madde oranı sınır değerleri (TS 1114’e göre)

Agrega Tane Sınıfı	İnce Tane Oranı (Ağırlıkça Max. %)
0-2 mm.Grubu	5.00
0-4 mm. Grubu	5.00
0-8 mm. Grubu	4.00
2-4 mm. Grubu	4.00
0-16 mm. Grubu	3.00
0-32 mm. Grubu	3.00
4-8 mm. Grubu	3.00
4-16 mm. Grubu	3.00
8-16 mm. Grubu	2.00
16-32 mm. Grubu	2.00

Pomza agregasında ince madde oranının belirlenmesi Eşitlik 5.1’in yardımı ile belirlenmektedir.

$$I_m = \frac{W - W_a}{W} \cdot 100 \quad (5.1)$$

Bu Eşitlikte;

I_m : 0.063 mm’lik elekten geçen agreganın yüzdesi, (%),

W : Yıkama öncesi kur malzeme ağırlığı, (gr),

W_a : Yıkama sonrası kurutulmuş toplam elek üstü malzeme ağırlığı, (gr).

Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale bazik pomzasındaki ince madde oranı deneylerinin sonuçları Çizelge 5.18 ve 5.19 de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Nevşehir asidik pomzasının ince malzeme miktarları (0-16 mm elek aralığındaki)

Numune No	1	2	3	4	5
Yıkama öncesi kuru numune ağırlığı (gr)	1020	1050	1040	1100	1080
0.063 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	402	416	397	411	368
1.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	209	204	196	219	205
2.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	197	199	201	218	225
4.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	105	117	124	134	145
8.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	78	86	92	91	105
Toplam elek üstü kalan malzeme (gr)	991	1022	1010	1073	1048
Toplam elek altı malzeme (gr)	29	28	30	27	32
İnce Malzeme Oranı (%)	2.84	2.75	2.94	2.65	3.14
Ortalama İnce Malzeme Miktarı (%)	2.86				

Çizelge 5.19. Toprakkale bazik pomzasının ince malzeme miktarları (0-16 mm elek aralığındaki)

Numune No	1	2	3	4	5
Yıkama öncesi kuru numune ağırlığı (gr)	1540	1520	1480	1610	1550
0.063 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	611	597	601	605	586
1.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	382	322	307	327	343
2.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	275	310	294	348	321
4.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	158	165	168	201	184
8.0 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	85	105	92	105	94
Toplam elek üstü kalan malzeme (gr)	1511	1499	1462	1586	1528
Toplam elek altı malzeme (gr)	29	21	18	24	22
İnce Malzeme Oranı (%)	2.84	2.06	1.76	2.35	2.16
Ortalama İnce Malzeme Miktarı (%)	2.24				

Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomzalarının 0-16 mm lik elek aralığı sınıfındaki ince malzeme oranı değerlerine bakıldığında her iki pomza hammaddesinin Çizelge 5.17’de verilen standart değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen değerlerin sonucunda her iki hammaddeninde hafif beton agregası olarak kullanılabilmesi için ince malzeme oranı değerleri açısından bir sakınca görülmediği ve hafif beton eldesi için oldukça uygun hammaddeler olduğu belirlenmiştir.

5.2.4. Pomza Agregalarının Kızdırma Kaybı Analizi

Gerek hafif betonun bileşiminde gerekse normal betonlarda, özellikle yangın gibi yüksek sıcaklık gösteren bölgelerde, agregaların sıcaklık etkisiyle bileşimleri bozulmakta ve kütle kaybına uğramaktadır. Bu kayıp hafif beton hammaddesi olan pomzalarda bileşimlerinden dolayı daha yüksek miktarda olduğu bilinmektedir. Bu amaçla hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılması düşünülen hammaddelerin sıcaklık etkisiyle bir kayıp olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir.

TS 1114 EN 13055-1 standardında öngörülen deneylerinin sonucunda hammaddedeki kızdırma kaybı ağırlıkça % 5’den fazla olmaması istenmektedir.

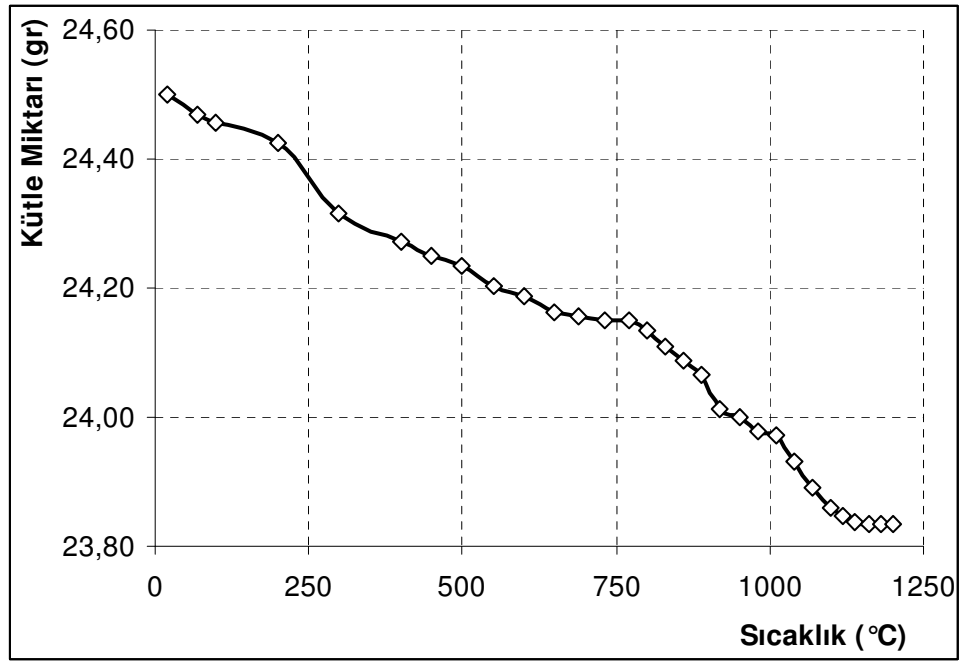
Kızdırma kaybının tespitinde 0°C den 1200 °C ye kadar çıkabilen yüksek sıcaklık fırınları kullanılmıştır. Deney, ağırlığı bilinen bir hammaddenin her bir sıcaklık artışına paralel olarak göstermiş olduğu kütlece kaybın belirlenmesiyle yapılmaktadır.

TS’ye göre maksimum sıcaklıktaki kütlece kayıp % 5’i aşmadığı müddetçe kullanılan hammaddenin beton agregası olarak kullanılabilirliğinde bir sakınca görülmemektedir.

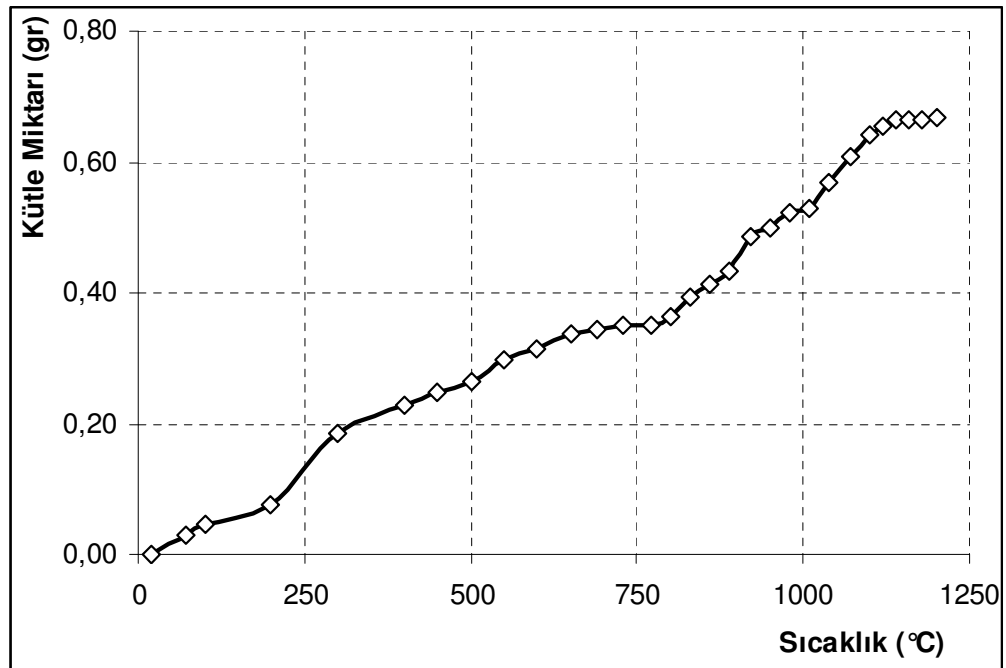
Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale bazik pomzasının kızdırma kaybı analizleri sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.20 ve 5.21 ile Şekil 5.27, 5.28, 5.29 ve 5.30’da verilmiştir.

Çizelge 5.20. Nevşehir asidik pomza agregasının kızdırma kaybı deney sonuçları

Deney Sırası	Uygulanan Sıcaklık (°C)	Agreganın Ağırlığı (gr)	Kütle Kaybı	Kümülatif Kütle Kaybı	Kızdırma Kaybı (%)
1	20	24.500	0.000	0.000	0.000
2	70	24.470	0.030	0.030	0.122
3	100	24.455	0.015	0.045	0.184
4	200	24.425	0.030	0.075	0.306
5	300	24.316	0.109	0.184	0.751
6	400	24.272	0.044	0.228	0.931
7	450	24.251	0.021	0.249	1.016
8	500	24.234	0.017	0.266	1.086
9	550	24.203	0.031	0.297	1.212
10	600	24.186	0.017	0.314	1.282
11	650	24.162	0.024	0.338	1.380
12	690	24.156	0.006	0.344	1.404
13	730	24.149	0.007	0.351	1.433
14	770	24.149	0.000	0.351	1.433
15	800	24.135	0.014	0.365	1.490
16	830	24.108	0.027	0.392	1.600
17	860	24.087	0.021	0.413	1.686
18	890	24.067	0.020	0.433	1.767
19	920	24.014	0.053	0.486	1.984
20	950	24.000	0.014	0.500	2.041
21	980	23.978	0.022	0.522	2.131
22	1010	23.972	0.006	0.528	2.155
23	1040	23.933	0.039	0.567	2.314
24	1070	23.892	0.041	0.608	2.482
25	1100	23.859	0.033	0.641	2.616
26	1120	23.846	0.013	0.654	2.669
27	1140	23.840	0.006	0.660	2.694
28	1160	23.836	0.004	0.664	2.710
29	1180	23.834	0.002	0.666	2.718
30	1200	23.832	0.002	0.668	2.727



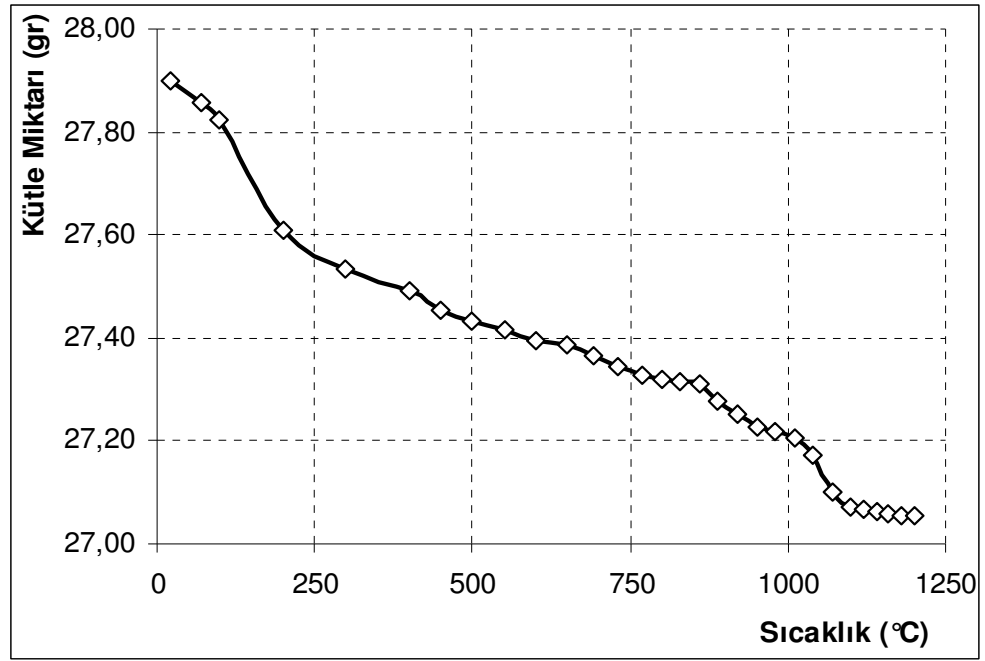
Şekil 5.27. Nevşehir asidik pomzasının sıcaklığa bağlı olarak kütle değişim grafiği



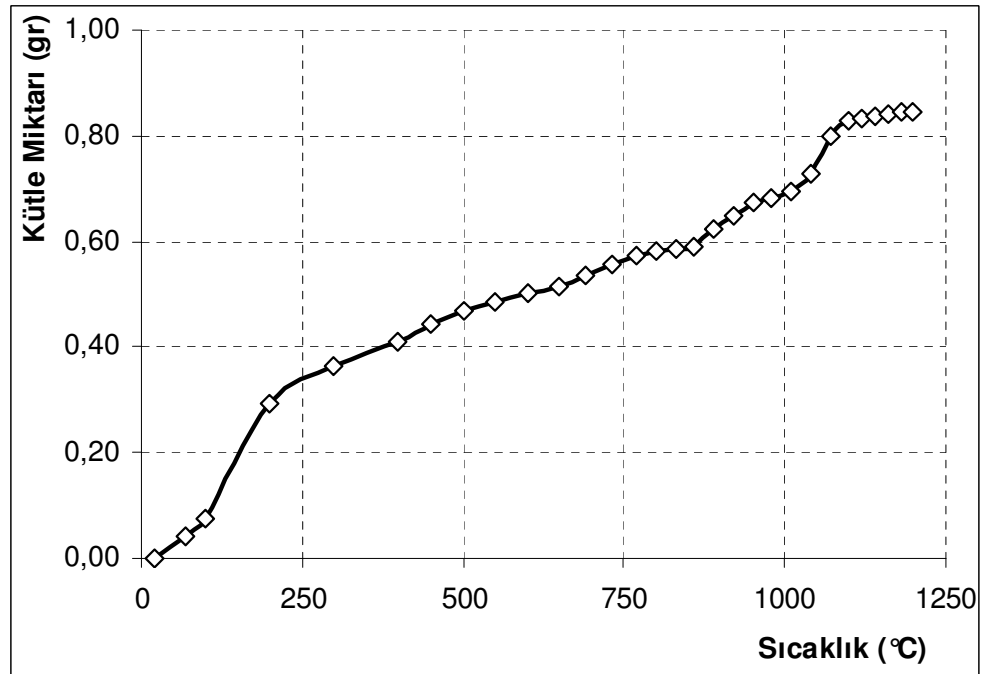
Şekil 5.28. Nevşehir asidik pomzasının sıcaklığa bağlı kızdırma kaybı değişim grafiği

Çizelge 5.21. Toprakkale bazik pomza agregasının kızdırma kaybı deney sonuçları

Deney Sırası	Uygulanan Sıcaklık (°C)	Agreganın Ağırlığı (gr)	Kütle Kaybı	Kümülatif Kütle Kaybı	Kızdırma Kaybı (%)
1	20	27.900	0.000	0.000	0.000
2	70	27.857	0.043	0.043	0.154
3	100	27.825	0.032	0.075	0.269
4	200	27.609	0.216	0.291	1.043
5	300	27.534	0.075	0.366	1.312
6	400	27.490	0.044	0.410	1.470
7	450	27.455	0.035	0.445	1.595
8	500	27.431	0.024	0.469	1.681
9	550	27.415	0.016	0.485	1.738
10	600	27.397	0.018	0.503	1.803
11	650	27.385	0.012	0.515	1.846
12	690	27.364	0.021	0.536	1.921
13	730	27.344	0.020	0.556	1.993
14	770	27.327	0.017	0.573	2.054
15	800	27.319	0.008	0.581	2.082
16	830	27.315	0.004	0.585	2.097
17	860	27.309	0.006	0.591	2.118
18	890	27.277	0.032	0.623	2.233
19	920	27.251	0.026	0.649	2.326
20	950	27.227	0.024	0.673	2.412
21	980	27.219	0.008	0.681	2.441
22	1010	27.207	0.012	0.693	2.484
23	1040	27.172	0.035	0.728	2.609
24	1070	27.102	0.070	0.798	2.860
25	1100	27.072	0.030	0.828	2.968
26	1120	27.066	0.006	0.834	2.989
27	1140	27.063	0.003	0.837	3.000
28	1160	27.060	0.003	0.840	3.011
29	1180	27.057	0.003	0.843	3.023
30	1200	27.055	0.002	0.845	3.029



Şekil 5.29. Toprakkale bazik pomzasının sıcaklığa bağlı olarak kütle değişim grafiği



Şekil 5.30. Toprakkale bazik pomzasının sıcaklığa bağlı kızdırma kaybı değişim grafiği

Yapılan kızdırma kaybı analizlerinde elde edilen sonuçlara göre,

- Nevşehir asidik pomzasının kızdırma kaybı % 2.727 olarak bulunmuştur.
- Nevşehir Asidik pomzasının bileşim olarak 800°C civarında bozunmaya başladığı görülmüştür.
- Toprakkale bazik pomzasının kızdırma kaybı % 3.029 olarak bulunmuştur.
- Toprakkale bazik pomzasının bileşim olarak 970 °C civarında bozunmaya başladığı görülmektedir.

Kızdırma kaybı deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar TS 1114'e göre incelendiğinde kızdırma kütle kaybının % 5'den daha az olduğu için hafif beton yapımında agrega hammaddesi olarak rahatlıkla kullanılabileceği belirlenmiştir.

5.3. Hafif Beton Karışım Hesapları

Pomza agregasından yapılacak hafif betonun eldesinde en önemli konulardan hususlardan biri de karışım oranlarının iyi bir şekilde tespit edilmesidir. Özellikle pomzaların su emme ve porozitelerinin yüksek oluşu, çimento ve su ile oluşturulan beton harcını çok fazla etkilemektedir. Bu yüzden pomza agregalarının birim hacim ağırlıklarını, özgül ağırlıklarını ve diğer fiziksel özellikleri iyice belirledikten sonra optimum su çimento oranı karışımlarıyla deneylerinin yapılması gerekmektedir.

Agreganın granülometrisi ile standartlarda uygun elek açıklıkları mevcuttur. Fakat özellikle çimento miktarı ve buna bağlı olarak su miktarının hesabı tüm inşaat sektörünün en çok uğraştığı işlerden biridir. Genelde su çimento ve agrega karışımları deneme karışımlarının hazırlanması ve test edilmesi yoluyla belirlenmeye çalışılır. Hazırlanan az miktardaki harca rötre deneyinin uygulanmasıyla da harcın kıvamı belirlenerek beton hazırlanır.

Farklı su çimento ve agregalardan oluşan deneme karışımlarına dayanım deneyleri yapılarak en uygun karışım oranlarının bulunması sağlanır.

5.3.1. Beton Yapımında Kullanılan Malzemeler

Pomzaların hafif yapı malzemesi olarak betonda kullanılabilirliğinin belirlenmesinde fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Beton agregası olarak kullanılacak pomzaların yapısal özelliklerinin tespiti ve kullanım kriterlerini daha iyi saptayabilmek için Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomza agregaları alınmış ve Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarına getirilerek her deney için farklı en az 5 deneme karışım numunesi hazırlanmış ve fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

Betonun eldesin de kullanılan malzemelerin genel özellikleri ve yapısal karkterleride belirlenerek aşağıda sunulmuştur.

5.3.1.1. Çimento

Beton özelliklerine etki eden faktörler arasında en büyük rolü üstlenen elemanlardan biri çimentodur. Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket ..vs) yapıştırma kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve kum katılarak öğütölüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5) oranında, çok ince toz halinde öğütölerek Portland Çimentosu elde edilir. Beton içerisindeki çimento hamuru, agrega taneleri arasında kalan boşlukları yeteri derecede dolduracak kadar olmalıdır. Betonun içerisinde çimento miktarın en az olması, her zaman gerçekleştirilmesi istene bir husustur. Fakat olması gerekenden az miktarda kullanılan çimento betonun mukavemetini ve kalitesini düşürmektedir. Aynı zamanda fazla miktarda kullanılan çimentoda zararlıdır. Çünkü fazla çimento betonda, rötre, sünmeye, yüzeysel ve kılcal çatlamalara neden olmaktadır. Bu yüzden betonda kullanılacak çimento ne eksik ne fazla miktar olarak tam olmalıdır.

Bu çalışmada çimento olarak Adana Çimento Sanayiinden alınan Portland Çimento (PÇ 32.5) kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri derlenerek Çizelge 5.22 ve 5.23’de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Beton yapımında kullanılan Portland çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	Değer
SiO ₂	26,97
Al ₂ O ₃	8.79
Fe ₂ O ₃	4.21
Mn ₂ O ₃	0.75
CaO	47.83
MgO	4.72
SO ₃	2.33
Na ₂ O	0.44
K ₂ O	1.03
KK	1.20

Çizelge 5.23. Beton yapımında kullanılan Portland çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler		Değeri
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		2.97
Piriz Süresi	İlk (saat:dakika) son (saat:dakika)	3.20 3.57
İncelik	Özgül yüzey (cm ² /gr) 0.200 mm. Elekte kalıntı (%) 0.090 mm. Elekte kalıntı (%)	3960 0.0 0.3

5.3.1.2. Agrega

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Betonun mekanik özelliklerine en çok etki eden çimento agregadır. Aderansın iyi olması betonun dayanımını iyi yönde etkilemekle birlikte plastik davranışlarını da kısıtlamaktadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal etmektedir.

Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum. gibi) ve kaba (çakıl, kırmataş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi),
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir,
- Betonda kullanılacak agregalar TS 706'ya uygun olmalıdır,

Yapılan çalışmada araştırmamızın amacını oluşturan Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomzası agrega olarak kullanılmıştır.

5.3.1.3. Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

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

Kıvam m^3 'e giren su miktarına bağlıdır. Bilindiği gibi beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. Betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini düşürmektedir. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir.

Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bu çalışmada karışım suyu olarak normal içme suyu şebekesinden alınan 20°C su kullanılmıştır.

5.3.1.4. Su-Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi

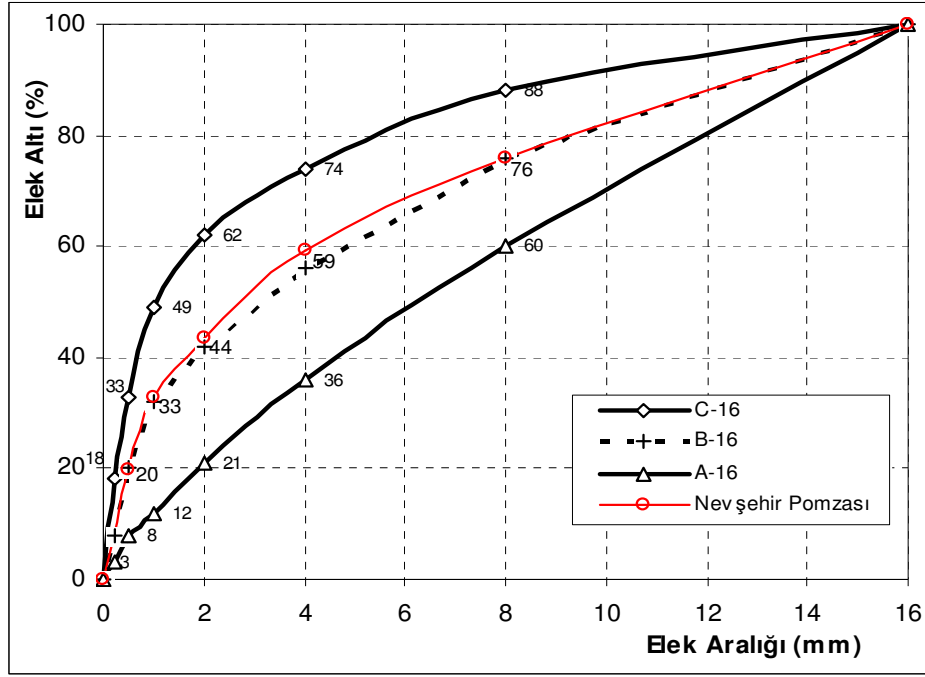
Su-çimento oranının değişiminin beton dayanımı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Popovics, 1992). Su/çimento oranı betonun basma dayanımını ve dış iklim faktörlerine karşı dayanıklılığında önemli rol oynamaktadır. Su ve çimentodan meydana gelen çimento hamurunda, suyun çimentoya oranı ne kadar küçük olursa çimento hamuru o kadar koyu kıvamlı olur. Beton karışım hesaplarında su/çimento oranı çeşitli iklim şartlarına, betonu dökülecek alana ve basma dayanımına bağlı olarak değişim gösterir. Karışımlarda kullanılan s/ç oranı küçüldükçe betonun mukavemeti artar ve kılcal boşlukların miktarı azalır. Boşluğu az olan betonun fiziksel ve mekanik özellikleride oldukça yüksek olduğu aşıkardır (Şimşek, 2004).

5.3.1.5. Diğer Faktörler

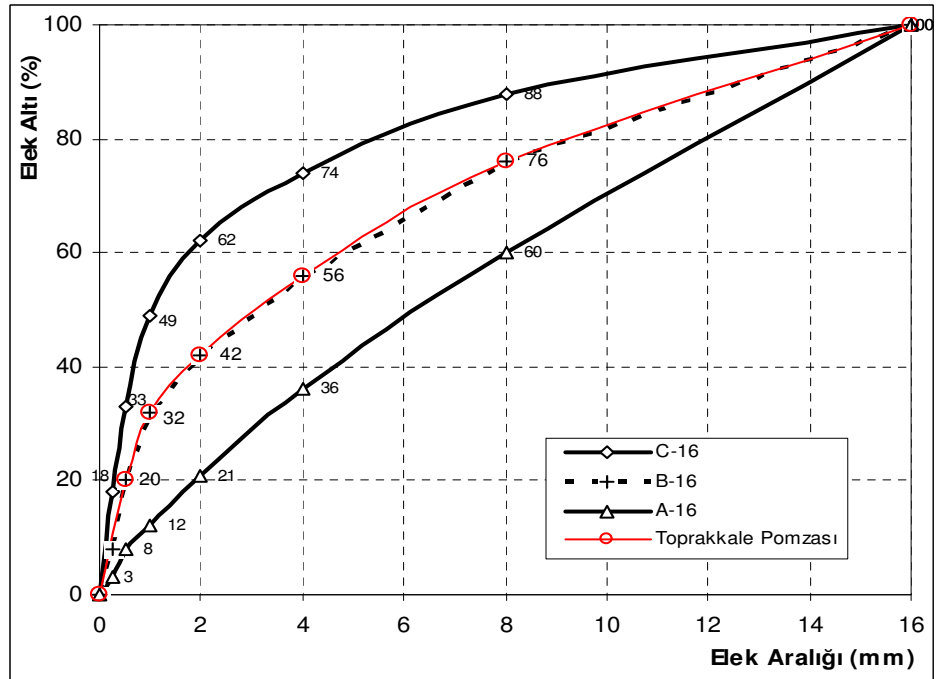
Diğer faktörler olarak betonun karıştırılması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve olgunlaştırılması olarak nitelendirilir.

5.3.2. Beton Karışım Oranları

Yapılan çalışmada öncelikle elek analizleri yapılmış pomzalar 6 farklı tane boyutuna (16-8, 8-4, 4-2, 2-1, 1-0.5) ayrılmıştır. Daha sonra hafif beton yapımında kullanılacak pomza agregalarının hangi tane boyutunda ne kadarlık bir agregaya kullanılacağına tespiti için TS 807'deki standartlardan B16 (Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agregası) sınıfı dikkate alınarak agregası miktarları belirlenmiştir. Şekil 5.31 ve 5.32'de Nevşehir asidik pomza agregası ile Toprakkale bazik pomza agregasının granülometrik eğrisi görülmektedir (TS 2511, 1977).



Şekil 5.31 Tane büyüklüğü 16 mm olan beton agregalarının limit değerleri ve Nevşehir asidik pomzası agregasının granülometrik eğrisi



Şekil 5.32. Tane büyüklüğü 16 mm olan beton agregalarının limit değerleri ve Toprakkale bazik pomzası agregasının granülometrik eğrisi

Beton yapımı için kullanılan malzeme miktarı elek aralıkları, TS 706 EN 12620 ve TS 2511’de belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Deneme karışımlarından ilki olan Karışım 1 (NK1 ve TK1) agrega, su ve çimento karışımı hazırlanmıştır. K1 karışımının fiziksel ve mekanik deneyleri yapıldıktan sonra ortaya çıkan sonuçlara göre mühendislik özelliklerinin daha iyi olabileceği karışım oranları ve hesaplamaları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmaların ardından Karışım 2 (NK2 ve TK2) ve Karışım 3 (NK3 ve TK3) deneme karışımları hazırlanarak Çizelge 2. 24 ve Çizelge 5.25’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Beton karışım hesaplarında izlenilen yol hem Nevşehir asidik pomza agregaları için hem de Toprakkale Bazik pomzaları için aynı şart ve ekipmanlarla olmuştur.

Yapılan karışım miktarları farklı isimlerde adlandırılmıştır. Nevşehir asidik pomzasından yapılan karışımlara NK1, NK2 ve NK3 adı verilmiş, Toprakkale bazik pomzası için ise TK1, TK2 ve TK3 adı verilmiştir.

Çizelge 5.24. Nevşehir asidik pomzasında agrega, su ve çimento karışım oranları

Elek Aralığı	NK1	NK2	NK3
16-8	1890	1450	1450
8-4	1800	1375	1375
4-2	1440	1100	1100
2-1	990	775	775
1-0.5	1170	900	900
<0.5	1800	1375	1375
Çimento	4500	4500	4500
Su	5400	4500	3000

Çizelge 5.24’den görüldüğü üzere beton yapımı esnasında NK1’de su miktarı su/çimento oranı standartlarının biraz üzerinde kullanılmıştır. Su miktarının NK1’de yüksek olması Nevşehir asidik pomzasının su emme kapasitesinin oldukça yüksek olması ve pomza olarak fazla boşluklar içermesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Daha sonraki yapılan karışımlarda B16 sınıfına göre alınan agrega miktarlarında yüzde bazlı azalma meydana getirilmiş ve su miktarları makul seviyeye çekilmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde hangi karışımın daha uygun olduğu belirlenen mühendislik parametreleriyle açıklanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 5.25. Toprakkale bazik pomzasında agrega, su ve çimento karışım oranları

Elek Aralığı	TK1	TK2	TK3
16-8	2700	3000	3000
8-4	2250	2500	2500
4-2	1575	1750	1750
2-1	1125	1250	1250
1-0.5	1350	1500	1500
<0.5	2250	2500	2500
Çimento	4500	5000	5000
Su	2700	2500	2250

Toprakkale bazik pomzasındaki karışım hesaplarında ise su çimento oranı sırasıyla 0.6, 0.5 ve 0.45 oranlarına uygun olarak beton kalıpları dökülmüş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Karışım oranları her iki numune için belirlendikten sonra Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği laboratuvarlarında belirlenen beton karışımlar sağlandıktan sonra beton karışımları (harç) 15 x 15 x 15 cm boyutlarındaki beton kalıplarına doldurulmuştur.

Beton harçları küp kalıplar içerisinde pirizlendikten sonra 1 hafta süreyle su altında bırakılmış ve sonrasında kalıplardan çıkartılmıştır. Daha sonra 7 – 14 – 28 ve 90 günlük zaman süreleri içerisinde zamanı gelen küp bloklardan karotlar alınmış ve deneyleri yapılmıştır (Şekil 5.33, 5.34 ve 5.35).



Şekil 5.33. Hafif beton örneklerinin blok kalıplara dökülmüş hali



Şekil 5.34. Nevşehir asidik pomza betonlarından alınan karot numuneleri



Şekil 5.35. Toprakkale bazik pomza betonlarından alınan karot numuneleri

5.4. Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomzalarından hazırlanarak yapılan beton örnekleri zamana bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanması için grafikleri oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında;

- Yaş ve kuru birim hacim ağırlık deneyi,
- Tek eksenli basma dayanımı deneyi,
- Çekme dayanımı (Brazilian) deneyi,
- Sonik hız deneyi ve
- Isı ve ses yalıtım değerleri,

Tüm deneyler, Nevşehir asidik pomzası karışımları (NK1, NK2 ve NK3) ile Toprakkale bazik pomzası karışımları (TK1, TK2 ve TK3) için 7, 14, 28, 90 günlük zaman dilimlerinde aynı şart ve ekipmanlarla yapılmıştır.

5.4.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Nevşehir ve Toprakkale pomza agregalarından hazırlanan beton kalıplara dökülerek prizlenmeleri sağlanmıştır. Daha sonra kalıplardan çıkartılarak (yaş numuneler kalıplarıyla birlikte tartılarak birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir) yaş ve kuru olarak birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir (Çizelge 5.26, 5.27 Şekil 5.36, 5.37, 5.38, 5.39).

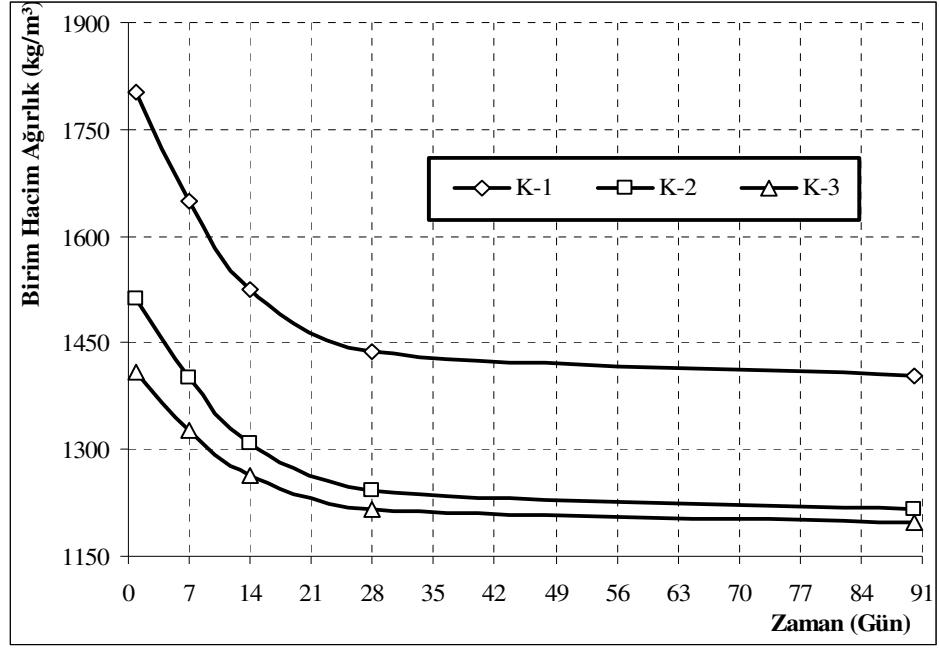
Çizelge 5.26a. Nevşehir asidik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (1, 7 günlük) (kg/m^3)

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
1 GÜNLÜK (YAŞ) NUMUNELER	1	1790.1	1501.7	1401.6
	2	1822.2	1533.8	1452.9
	3	1796.3	1504.9	1370.5
	4	1824.6	1541.9	1416.0
	5	1789.0	1498.6	1404.5
	6	1783.9	1490.2	1429.6
	7	1837.2	1540.9	1379.5
	8	1780.1	1484.2	1426.0
	Ortalama	1802.9	1512.0	1410.1
	S.Sapma	21.7	23.3	27.0

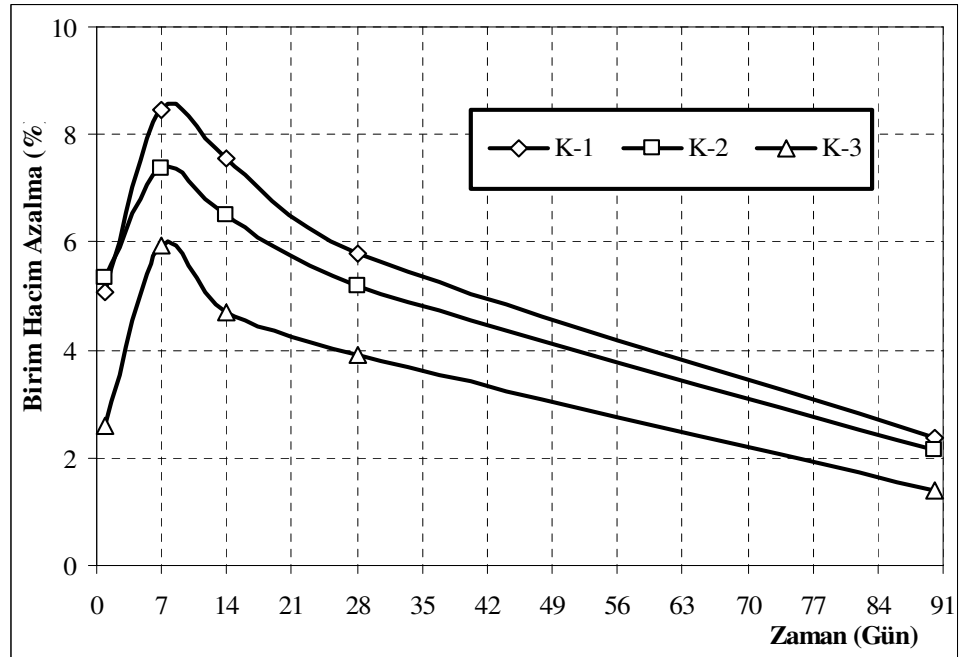
Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1652.3	1425.9	1368.9
	2	1672.0	1399.4	1324.0
	3	1645.7	1357.9	1291.6
	4	1603.0	1401.2	1331.6
	5	1643.0	1393.6	1327.0
	6	1665.9	1421.0	1309.8
	7	1687.7	1378.6	1313.6
	8	1632.7	1429.4	1345.7
	Ortalama	1650.3	1400.9	1326.5
	S.Sapma	26.0	24.6	23.5

Çizelge 5.26b. Nevşehir asidik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (14, 28 ve 90 günlük, Devam) (kg/m³)

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
14.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1520.3	1308.1	1270.0
	2	1490.3	1290.2	1245.9
	3	1541.9	1288.9	1255.3
	4	1542.9	1332.6	1301.8
	5	1530.7	1320.5	1245.3
	6	1567.8	1348.0	1248.9
	7	1510.0	1290.3	1303.0
	8	1501.7	1299.0	1245.0
	Ortalama	1525.7	1309.7	1264.4
	S.Sapma	25.3	22.1	24.9
Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1435.7	1242.0	1194.6
	2	1427.6	1249.0	1224.0
	3	1420.8	1231.2	1200.4
	4	1452.9	1265.9	1245.5
	5	1449.2	1237.9	1219.6
	6	1420.3	1255.0	1236.8
	7	1435.9	1230.6	1191.7
	8	1457.9	1222.4	1209.0
	Ortalama	1437.5	1241.8	1215.2
	S.Sapma	14.5	14.3	19.7
Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1403.9	1212.8	1191.6
	2	1414.9	1194.0	1180.0
	3	1377.6	1250.2	1210.1
	4	1415.8	1228.6	1226.7
	5	1404.6	1208.7	1192.3
	6	1375.2	1201.6	1201.9
	7	1401.0	1221.2	1187.7
	8	1435.0	1205.4	1196.0
	Ortalama	1403.5	1215.3	1198.3
	S.Sapma	19.8	17.8	14.6



Şekil 5.36. Nevşehir asidik pomzalarının zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi



Şekil 5.37. Nevşehir asidik pomzalarında zamana bağlı birim hacim ağırlıklarında oluşan (%) kütle kaybının değişim grafiği.

Çizelge 5.27a. Toprakkale bazik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (1, 7 ve 14 günlük) (kg/m³)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
1 GÜNLÜK (YAŞ) NUMUNELER	1	1810.5	1954.3	1932.5
	2	1790.8	1932.6	1915.3
	3	1765.7	1931.5	1910.2
	4	1782.8	1920.3	1892.3
	5	1792.9	1914.3	1870.1
	6	1780.1	1920.5	1895.6
	7	1814.5	1961.8	1871.9
	8	1758.2	1894.7	1933.7
	Ortalama	1786.9	1928.8	1902.7
	S.Sapma	19.7	21.6	24.6

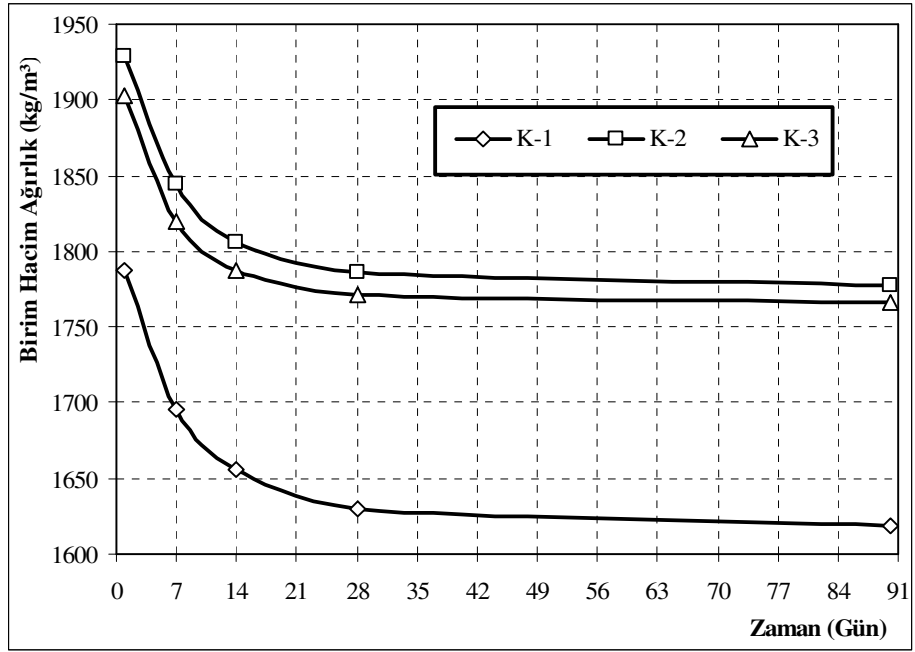
Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1729.9	1781.0	1842.7
	2	1696.0	1896.0	1762.8
	3	1724.8	1882.6	1849.1
	4	1693.3	1876.6	1840.7
	5	1698.0	1791.9	1760.8
	6	1659.8	1801.0	1795.4
	7	1731.1	1886.0	1840.2
	8	1629.4	1844.5	1819.3
	Ortalama	1695.3	1845.0	1813.9
	S.Sapma	35.8	47.1	36.4

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
14.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1679.6	1814.6	1749.9
	2	1640.5	1793.0	1761.0
	3	1677.2	1818.1	1854.9
	4	1656.0	1835.4	1798.0
	5	1663.1	1820.9	1817.3
	6	1636.7	1780.1	1753.0
	7	1688.9	1759.8	1777.9
	8	1601.0	1825.4	1784.4
	Ortalama	1655.4	1805.9	1787.1
	S.Sapma	28.7	25.8	35.8

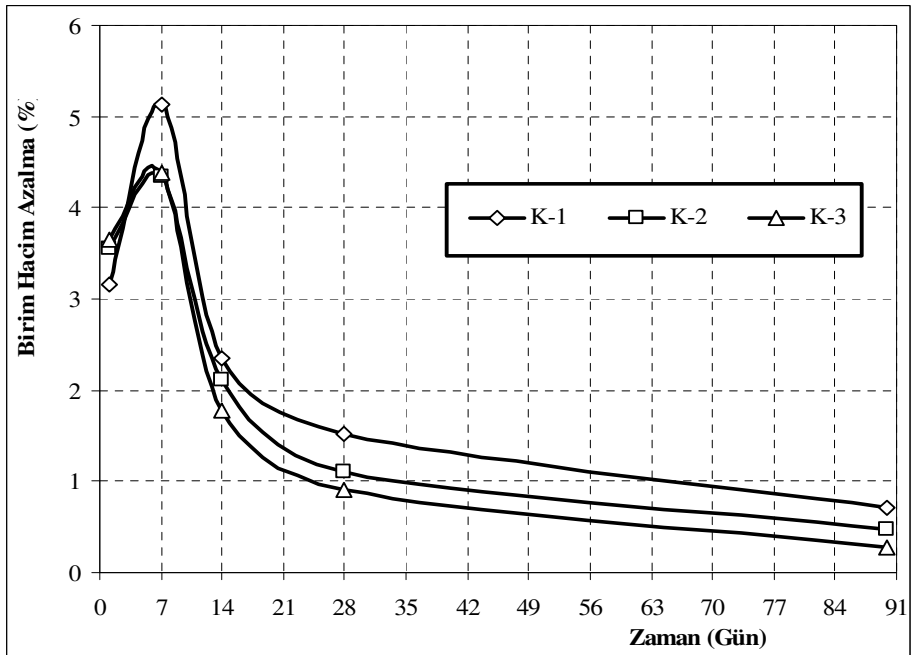
Çizelge 5.27b. Toprakkale bazik pomzası betonunun zamana bağlı yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (28 ve 90 günlük, Devam) (kg/m³)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1639.7	1795.0	1751.2
	2	1619.9	1773.1	1790.9
	3	1661.0	1817.2	1812.3
	4	1607.3	1764.9	1751.3
	5	1643.3	1800.1	1739.3
	6	1615.0	1768.9	1771.5
	7	1672.0	1830.2	1735.9
	8	1583.9	1737.5	1814.6
	Ortalama	1630.3	1785.9	1770.9
	S.Sapma	29.2	30.4	31.7

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1628.5	1786.0	1773.5
	2	1611.8	1768.0	1756.3
	3	1647.0	1801.1	1788.2
	4	1597.7	1752.9	1741.9
	5	1631.6	1790.8	1778.2
	6	1601.6	1750.2	1738.7
	7	1653.6	1765.3	1760.2
	8	1579.1	1805.0	1790.0
	Ortalama	1618.9	1777.4	1765.9
	S.Sapma	25.7	21.2	19.7



Şekil 5.38. Toprakkale bazik pomzalarının zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi.



Şekil 5.39. Toprakkale bazik pomzalarında zamana bağlı birim hacim ağırlıklarında oluşan (%) kütle kaybının değişim grafiği.

5.4.2. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Üç farklı reçetede hazırlanmış beton kalıplarından alınan karot numuneler ISRM standartlarına uygun olacak şekilde Tek eksenli basma dayanım deneyleri yapılmış ve elde edilen veriler Çizelge 5.28 ve 5.29 ile Şekil 5.40 ve 5.41’de verilmiştir.

Çizelge 5.28a. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (7 ve 14 günlük) (MPa)

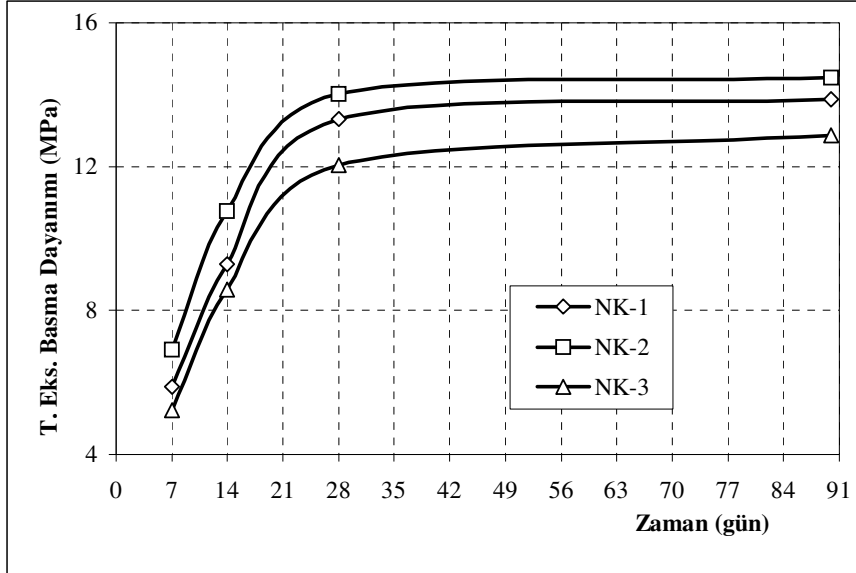
Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	4.42	5.02	3.85
	2	5.02	5.89	4.25
	3	5.64	6.59	4.50
	4	6.08	6.83	5.10
	5	6.21	7.48	5.46
	6	6.22	7.59	6.02
	7	6.65	7.86	6.10
	8	6.72	7.95	6.58
	Ortalama	5.87	6.90	5.23
	S.Sapma	0.80	1.03	0.98

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	7.94	8.89	7.01
	2	8.67	9.12	7.45
	3	8.39	10.12	8.02
	4	8.45	9.70	7.50
	5	8.97	11.35	8.26
	6	9.76	10.33	9.10
	7	10.28	12.56	11.27
	8	11.8	13.96	10.05
	Ortalama	9.28	10.75	8.58
	S.Sapma	1.27	1.76	1.46

Çizelge 5.28b. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (28 ve 90 günlük, Devam) (MPa)

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	11.1	11.12	9.55
	2	12.2	11.58	9.96
	3	12.5	13.60	11.72
	4	13.02	12.10	10.42
	5	13.75	14.01	12.00
	6	14.22	15.20	13.07
	7	14.78	18.35	15.50
	8	15.02	16.20	14.20
	Ortalama	13.32	14.02	12.05
	S.Sapma	1.36	2.48	2.10

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	11.25	11.22	10.10
	2	11.5	11.57	10.35
	3	12.75	14.00	12.40
	4	13.54	12.61	11.10
	5	14.58	14.70	13.10
	6	15.12	15.95	14.28
	7	15.89	18.36	16.25
	8	16.24	17.33	15.40
	Ortalama	13.86	14.47	12.87
	S.Sapma	1.91	2.62	2.31



Şekil 5.40. Nevşehir asidik pomzasından mamül karot örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.29a. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük) (MPa)

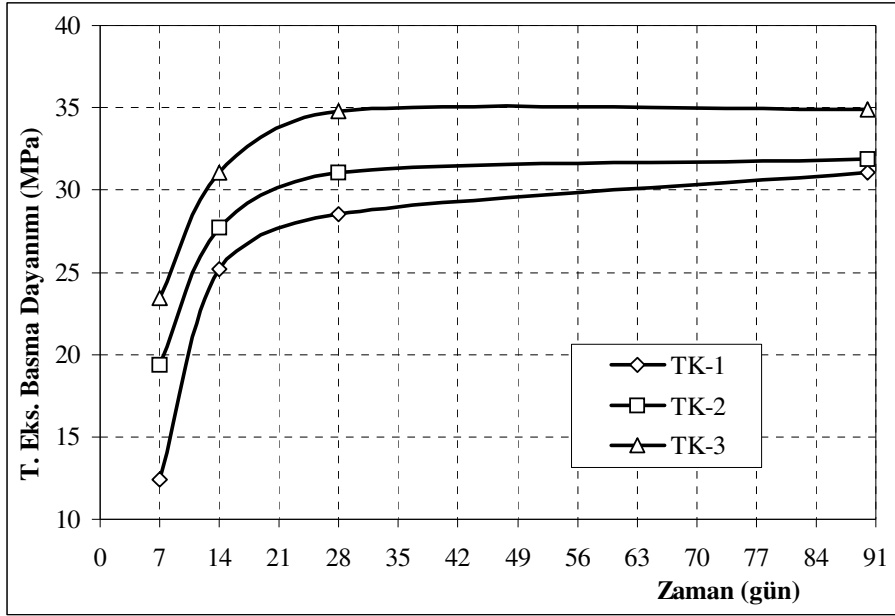
Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	10.12	15.05	15.25
	2	11.05	15.56	17.79
	3	11.35	16.94	20.88
	4	11.56	17.92	22.53
	5	12.00	19.54	24.78
	6	13.46	22.67	27.12
	7	14.45	23.40	29.12
	8	15.31	23.88	29.61
	Ortalama	12.41	19.37	23.39
	S.Sapma	1.80	3.56	5.24

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	17.75	19.75	19.86
	2	19.85	22.40	22.78
	3	22.46	25.04	25.86
	4	24.10	27.50	29.70
	5	26.35	29.12	33.78
	6	27.68	30.20	36.12
	7	30.12	32.18	38.45
	8	33.18	35.42	41.50
	Ortalama	25.19	27.70	31.01
	S.Sapma	5.19	5.16	7.74

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
28 GÜNLÜK NUMUNELER	1	19.84	21.46	23.89
	2	23.15	23.45	28.42
	3	26.48	27.01	32.44
	4	28.84	29.56	34.75
	5	30.88	32.46	37.80
	6	31.00	35.79	38.51
	7	32.78	37.46	39.66
	8	35.45	41.12	42.70
	Ortalama	28.55	31.04	34.77
	S.Sapma	5.16	6.92	6.26

Çizelge 5.29b. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (90 günlük, Devam) (MPa)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	24.47	24.48	25.12
	2	30.12	28.59	28.42
	3	30.12	29.77	30.50
	4	30.20	32.18	33.96
	5	31.11	33.59	37.76
	6	32.87	34.45	39.65
	7	32.89	35.12	41.29
	8	36.65	36.82	42.56
	Ortalama	31.05	31.88	34.91
	S.Sapma	3.46	4.05	6.42



Şekil 5.41. Toprakkale bazik pomzasından mamül karot örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı değişim grafiği

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek mukavemeti veren Nevşehir asidik pomzası karışımının NK2 nolu karışım olduğu, Toprakkale bazik pomzasında ise TK3 nolu karışımın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hazırlanan farklı karışımlı numunelerin optimum dayanım değerlerine 28 günde ulaştıkları ve bu süreden sonra dayanımlarındaki değişimin az miktarda olduğu görülmüştür.

5.4.3. Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi

İnşaat sektöründe herkes tarafından kabul gören en önemli deneylerden biride çekme dayanım deneyidir. Bu deneyin önemi binalarda veya yapılan herhangi bir sanat yapısında beton olarak dökülen karışımların yüksek basınç altında çekme gücüne karşı bir mukavemet oluşturacaktır. Bu mukavemet ne kadar yüksek ise betonun kalitesi de o kadar yüksek olacağı aşıkardır. Bu yüzden hafif beton yapımında kullanılması düşünülen pomzalardan elde edilen beton örneklerine çekme dayanım deneyinin yapılması uygun görülmüş ve deneyleri laboratuvar koşullarında indirekt çekme dayanımı olarak da adlandırılan Brazilian test metoduyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 5.30, 5.31 ve Şekil 5.42, 5.43’de sunulmuştur.

Çizelge 5.30a. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı deney sonuçları (7 ve 14 günlük) (MPa)

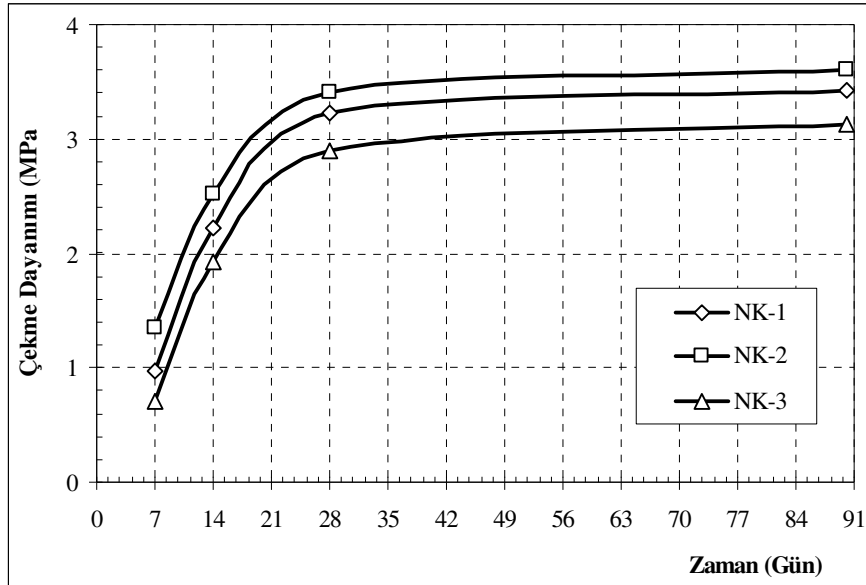
Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.62	0.85	0.46
	2	0.71	0.97	0.50
	3	0.92	1.20	0.65
	4	1.03	1.39	0.73
	5	1.03	1.45	0.78
	6	1.04	1.50	0.81
	7	1.05	1.58	0.81
	8	1.41	1.83	0.96
	Ortalama	0.98	1.35	0.71
	S.Sapma	0.24	0.32	0.17

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	1.96	2.10	1.57
	2	2.02	2.25	1.73
	3	2.14	2.45	1.85
	4	2.21	2.53	1.94
	5	2.25	2.55	1.95
	6	2.34	2.60	2.00
	7	2.34	2.66	2.05
	8	2.5	2.98	2.25
	Ortalama	2.22	2.52	1.92
	S.Sapma	0.18	0.27	0.21

Çizelge 5.30b. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı deney sonuçları (28 ve 90 günlük, Devam) (MPa)

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	2.05	2.17	1.80
	2	2.45	2.60	2.20
	3	2.89	3.05	2.55
	4	3.02	3.25	2.82
	5	3.56	3.70	3.12
	6	3.75	4.00	3.44
	7	3.81	4.10	3.56
	8	4.22	4.36	3.74
	Ortalama	3.22	3.40	2.90
	S.Sapma	0.74	0.77	0.69

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	2.48	2.60	2.20
	2	2.87	3.05	2.60
	3	3.12	3.35	2.91
	4	3.2	3.42	3.01
	5	3.56	3.70	3.25
	6	3.89	4.15	3.44
	7	4.01	4.20	3.59
	8	4.25	4.42	3.94
	Ortalama	3.42	3.61	3.12
	S.Sapma	0.61	0.63	0.56



Şekil 5.42. Nevşehir asidik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.31a. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük) (MPa)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	1.68	1.98	2.75
	2	1.78	2.34	3.10
	3	1.81	2.63	3.47
	4	1.97	2.88	3.88
	5	1.99	2.92	4.10
	6	2.00	3.11	4.75
	7	2.22	3.77	5.38
	8	2.85	4.16	5.83
	Ortalama	2.04	2.97	4.16
	S.Sapma	0.37	0.72	1.09

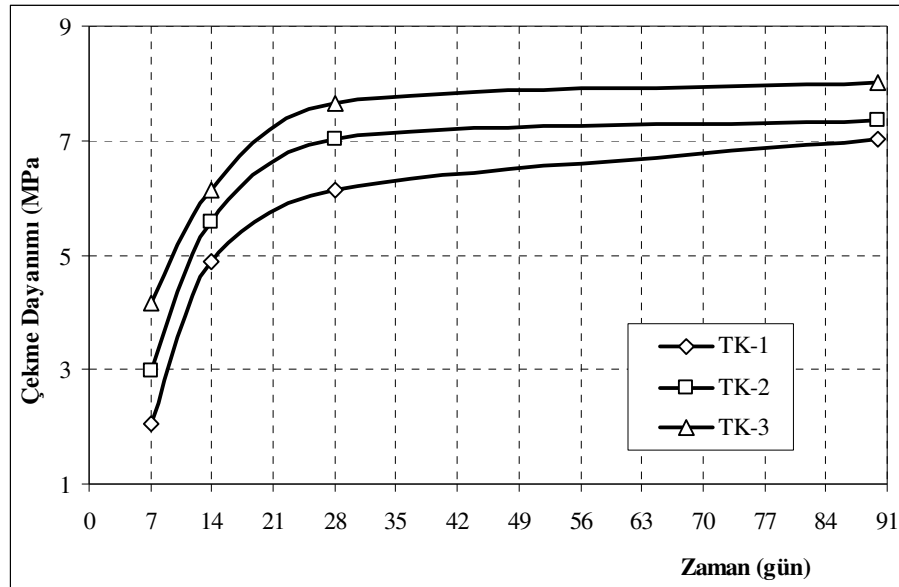
Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	3.54	3.92	4.02
	2	4.56	4.55	4.77
	3	4.81	4.98	5.45
	4	4.85	5.49	5.94
	5	4.91	5.63	6.15
	6	5.09	6.01	6.90
	7	5.22	6.82	7.87
	8	6.16	7.09	7.96
	Ortalama	4.89	5.56	6.13
	S.Sapma	0.73	1.08	1.40

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	4.78	5.01	5.47
	2	5.93	5.89	6.43
	3	6.08	6.67	7.25
	4	6.16	6.98	7.63
	5	6.30	7.49	8.12
	6	6.31	7.80	8.55
	7	6.67	7.95	8.75
	8	6.84	8.26	9.01
	Ortalama	6.13	7.01	7.65
	S.Sapma	0.62	1.11	1.22

Yapılan deneysel çalışmalardan görüldüğü üzere Nevşehir asidik pomzası ve Toprakkale bazik pomzası kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin (NK1, NK2, NK3, TK1, TK2 ve TK3) 7, 14, 28 ve 90 günlük ölçüm değerleri sonucunda çekme dayanımı değerlerinin zaman artışına paralel çekme dayanım değeride artmaktadır.

Çizelge 5.31b. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı deney sonuçları (90 günlük, Devam) (MPa)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	5.78	5.87	6.39
	2	6.12	6.12	6.75
	3	6.40	6.45	7.01
	4	6.78	7.33	7.89
	5	7.00	7.52	8.24
	6	7.12	7.94	8.62
	7	8.02	8.58	9.38
	8	8.97	9.02	9.80
	Ortalama	7.02	7.35	8.01
	S.Sapma	1.04	1.15	1.24



Şekil 5.43. Toprakkale bazik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı değişim grafiği

Şekil 5.42 ve 5.43 incelendiğinde en yüksek çekme dayanım değerini veren Nevşehir asidik pomzası karışımının NK2 nolu karışım olduğu, Toprakkale bazik pomzasında ise TK3 nolu karışımın olduğu belirlenmiştir.

.4.4. Sonik Hız Deneyi

Pomzaların zamana bağlı olarak göstermiş olduğu basma ve çekme dayanımları tespit edildikten sonra karot örnekleri yine 7 – 14 – 28 ve 90 günlük zaman dilimleri boyunca sonik hız (P-dalga) deneyine tabii tutulmuş olup elde edilen veriler Çizelge 5.32 ve 5.33 ile Şekil 5.44 ve 5.45’de sunulmuştur.

Çizelge 5.32a. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı sonik hız deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük) (km/sn)

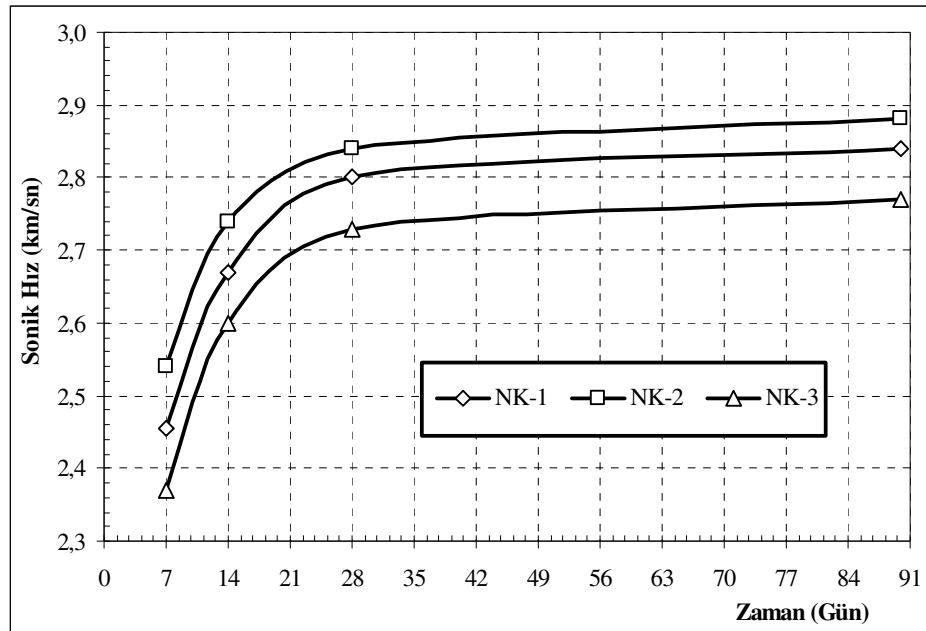
Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	2.40	2.46	2.33
	2	2.42	2.49	2.35
	3	2.43	2.50	2.37
	4	2.46	2.52	2.39
	5	2.46	2.54	2.42
	6	2.47	2.56	2.45
	7	2.49	2.59	2.50
	8	2.51	2.62	2.53
	Ortalama	2.46	2.54	2.42
	S.Sapma	0.04	0.05	0.07

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	2.55	2.59	2.44
	2	2.60	2.63	2.48
	3	2.61	2.65	2.50
	4	2.64	2.70	2.55
	5	2.67	2.75	2.62
	6	2.70	2.79	2.66
	7	2.76	2.86	2.75
	8	2.81	2.91	2.80
	Ortalama	2.67	2.74	2.60
	S.Sapma	0.09	0.11	0.13

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	2.62	2.65	2.55
	2	2.68	2.72	2.62
	3	2.68	2.77	2.67
	4	2.73	2.85	2.75
	5	2.83	2.89	2.77
	6	2.85	2.89	2.78
	7	2.95	2.90	2.80
	8	3.02	3.02	2.88
	Ortalama	2.80	2.84	2.73
	S.Sapma	0.14	0.12	0.11

Çizelge 5.32b. Nevşehir asidik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı sonik hız deney sonuçları (90 günlük, Devam) (km/sn)

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	2.65	2.67	2.55
	2	2.73	2.75	2.68
	3	2.78	2.80	2.70
	4	2.86	2.90	2.78
	5	2.87	2.93	2.80
	6	2.90	2.95	2.84
	7	2.91	2.96	2.84
	8	3.01	3.06	2.93
	Ortalama	2.84	2.88	2.77
	S.Sapma	0.11	0.13	0.12



Şekil 5.44. Nevşehir asidik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı sonik hız değişim grafiği

Çizelge 5.33a. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı sonik hız deney sonuçları (7, 14 ve 28 günlük) (km/sn)

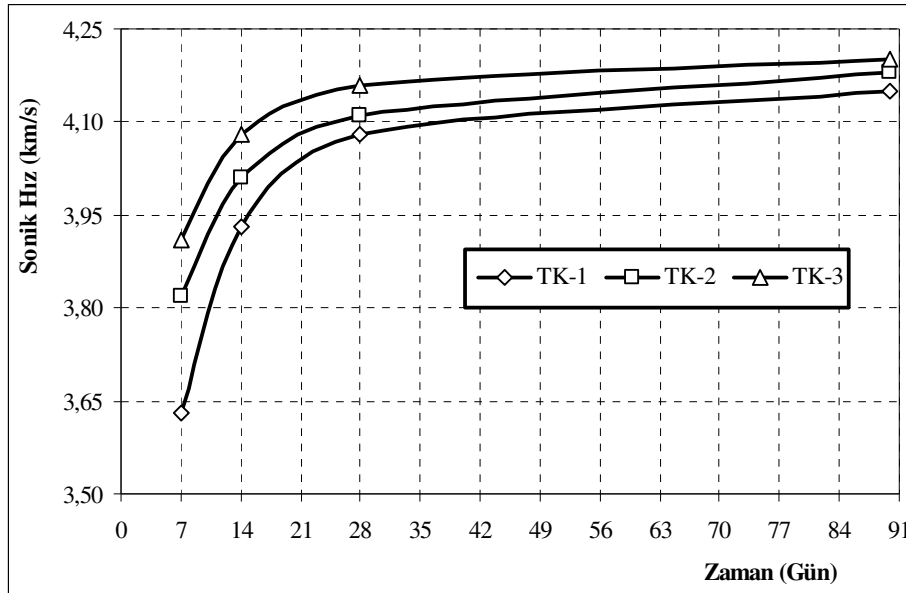
Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	3.47	3.65	3.70
	2	3.50	3.69	3.77
	3	3.61	3.80	3.89
	4	3.65	3.83	3.92
	5	3.67	3.85	3.95
	6	3.67	3.87	3.96
	7	3.71	3.90	4.01
	8	3.72	3.93	4.04
	Ortalama	3.63	3.82	3.91
	S.Sapma	0.09	0.10	0.12

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	3.82	3.89	3.95
	2	3.85	3.94	4.02
	3	3.90	3.99	4.05
	4	3.91	4.01	4.08
	5	3.96	4.03	4.10
	6	3.97	4.05	4.12
	7	3.99	4.08	4.15
	8	4.06	4.10	4.17
	Ortalama	3.93	4.01	4.08
	S.Sapma	0.08	0.07	0.07

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	3.99	3.99	4.04
	2	4.01	4.01	4.07
	3	4.04	4.04	4.11
	4	4.07	4.08	4.14
	5	4.08	4.10	4.17
	6	4.10	4.15	4.20
	7	4.17	4.19	4.25
	8	4.18	4.21	4.27
	Ortalama	4.08	4.10	4.16
	S.Sapma	0.07	0.08	0.08

Çizelge 5.33b. Toprakkale bazik pomzasından mamül beton örneklerinin zamana bağlı sonik hız deney sonuçları (90 günlük, Devam) (km/sn)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	4.01	4.03	4.04
	2	4.10	4.07	4.08
	3	4.10	4.09	4.10
	4	4.11	4.19	4.17
	5	4.13	4.20	4.22
	6	4.21	4.23	4.26
	7	4.22	4.30	4.32
	8	4.30	4.33	4.38
	Ortalama	4.15	4.18	4.20
	S.Sapma	0.09	0.11	0.12



Şekil 5.45. Toprakkale bazik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı sonik hız değişim grafiği

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek sonik hız geçiş değeri, diğer mekanik özelliklerde yüksek değerler sunan karışımlara benzer biçimde olmuştur. Nevşehir asidik pomzası karışımının NK2 nolu karışımla, Toprakkale bazik pomzasında ise TK3 nolu karışımı yüksek sonik hız geçiş değerleri sunmuştur.

5.4.5. Isı İletim Katsayısı

8 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan “Binalarda Isı Yönetmeliği” ve 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren revize edilerek yürürlüğe giren “TS 825 Isı Yalıtım Standardı”, yeni yapılan konutlarda ısısal konforun sağlanma, prensip ve uygulama kriterlerini tanımlamakla birlikte, ısısal konfor açısından kullanılacak tüm malzemelere belirli ısı iletim katsayı standardı getirilmiştir. Avrupa birliğine girme aşamasında olan ülkemizde Avrupa birliği normları neticesinde de evlerde ve işyerlerinde kullanılan yapı, kaplama ve inşaat malzemelerin belirli bir düzeyde ısı kalitesine sahip olması gerekmektedir.

Bu amaçla tez kapsamında hammadde olarak kullandığımız asidik ve bazik pomza örneklerinden hazırlamış olduğumuz 3 farklı karışım reçetesine göre blok kalıplar dökülmüş ve bu kalıpların zaman bağlı ısı iletim katsayı değerleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarla ilgili elde edilen veriler Çizelge 5.34 ve 5.36’da ısı iletim katsayı değerlerinin zamana bağlı değişimleri de Şekil 5.46 ve 5.47’de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Nevşehir asidik pomzasından mamul beton örneklerinin zamana bağlı ısı iletim katsayı sonuçları (7, 14, 28 ve 90 günlük) (kcal/m⁰Ch)

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.64	0.55	0.66
	2	0.67	0.60	0.66
	3	0.60	0.62	0.75
	4	0.65	0.64	0.65
	5	0.70	0.62	0.67
	Ortalama	0.65	0.61	0.68
	S.Sapma	0.04	0.04	0.05

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.42	0.38	0.43
	2	0.45	0.40	0.47
	3	0.39	0.39	0.49
	4	0.42	0.43	0.42
	5	0.47	0.37	0.45
	Ortalama	0.43	0.39	0.45
	S.Sapma	0.03	0.01	0.03

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.35	0.33	0.40
	2	0.39	0.36	0.38
	3	0.36	0.33	0.36
	4	0.33	0.38	0.41
	5	0.40	0.30	0.39
	Ortalama	0.37	0.34	0.39
	S.Sapma	0.02	0.02	0.02

Zaman	Örnek No	NK1	NK2	NK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.35	0.31	0.36
	2	0.35	0.32	0.34
	3	0.34	0.31	0.32
	4	0.29	0.30	0.37
	5	0.35	0.29	0.35
	Ortalama	0.34	0.31	0.35
	S.Sapma	0.01	0.01	0.02

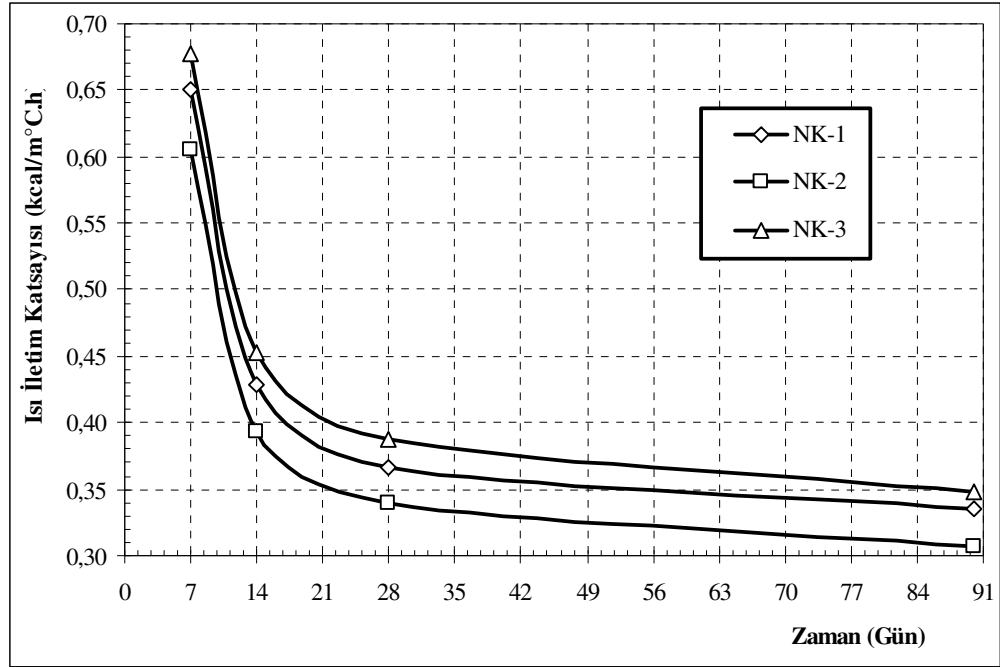
Çizelge 5.35. Toprakkale bazik pomzasından mamul beton örneklerinin zamana bağlı ısı iletim katsayı sonuçları (7, 14, 28 ve 90 günlük) (kcal/m⁰Ch)

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
7.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.46	0.44	0.38
	2	0.46	0.47	0.43
	3	0.53	0.41	0.42
	4	0.45	0.45	0.47
	5	0.47	0.49	0.40
	Ortalama	0.47	0.45	0.42
	S.Sapma	0.04	0.03	0.03

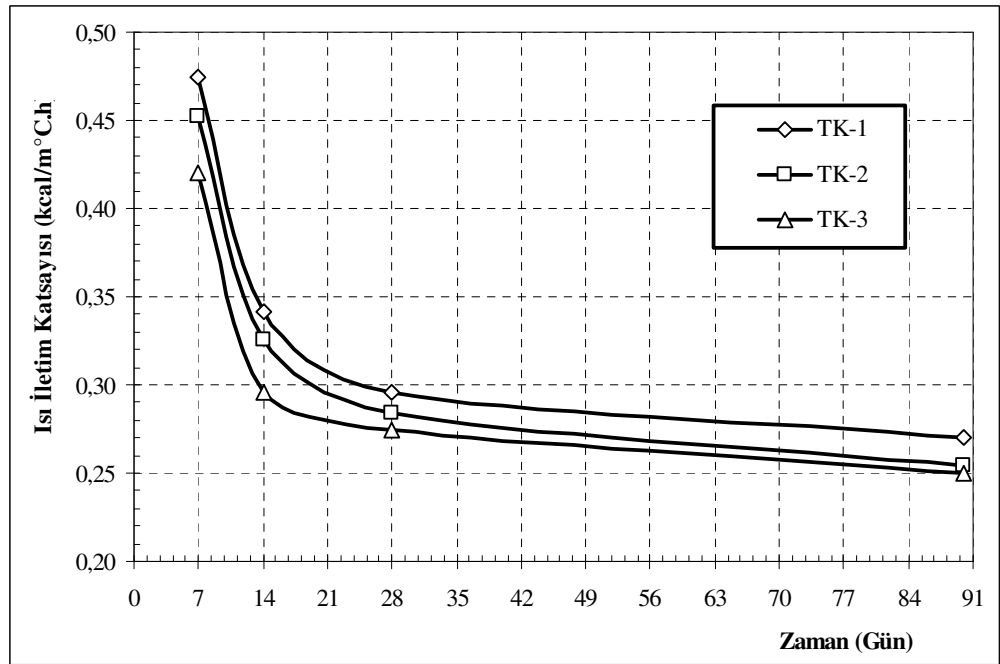
Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
14 GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.33	0.32	0.29
	2	0.33	0.33	0.31
	3	0.38	0.31	0.26
	4	0.32	0.32	0.32
	5	0.35	0.35	0.30
	Ortalama	0.34	0.33	0.30
	S.Sapma	0.03	0.01	0.03

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
28.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.30	0.27	0.27
	2	0.29	0.30	0.28
	3	0.28	0.28	0.27
	4	0.31	0.26	0.29
	5	0.30	0.31	0.26
	Ortalama	0.30	0.28	0.27
	S.Sapma	0.01	0.02	0.01

Zaman	Örnek No	TK1	TK2	TK3
90.GÜNLÜK NUMUNELER	1	0.28	0.24	0.24
	2	0.26	0.27	0.25
	3	0.25	0.26	0.24
	4	0.29	0.23	0.26
	5	0.27	0.27	0.26
	Ortalama	0.27	0.25	0.25
	S.Sapma	0.02	0.02	0.01



Şekil 5.46. Nevşehir asidik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı ısı iletim katsayı değerleri



Şekil 5.47. Toprakkale bazik pomzasından mamul örneklerinin zamana bağlı ısı iletim katsayı değerleri

5.4.6. Ses Yalıtımı

Doğal yapı ve malzemeleri, ses yalıtım özellikleri açısından ele alındığında, fiziksel ve yapısal özelliklerine bağımlı olarak, farklı akustik ve ses absorpsiyon özellikleri gösterdikleri bilinmektedir. Ancak, yapı malzemelerinin farklı oluşumları ve kullanım amaçları doğrultusunda detay inceleme ve araştırma bulgularına yeterince rastlanılamamaktadır. Bu bakımdan, yapı endüstrisinde yapı malzemesi olarak kullanılabilen doğal kayaç oluşumlarının, ses absorpsiyon özelliklerinin detay olarak ve hassasiyetle incelenmesi ve tanımsal ölçeklerle irdelemelerinin yapılabileceği yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bu tez çalışması kapsamında, asidik ve bazik pomzalı beton örneklerinin ses yalıtımı, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği laboratuvarlarında oluşturulan ses yalıtım laboratuvarlarında araştırılmıştır.

Bir yapı elemanının ses yalıtımı, desibel (dB) ölçeğindeki azalım faktörüyle tanımlanmaktadır. Desibel, insan kulağının algılayabileceği yaklaşık olarak en küçük enerji değişim miktarıdır ve ses şiddeti seviyesini ölçmede kullanılır. Mutlak gürültü seviyelerinin ölçülmesinde kullanılan referans ses şiddeti, insan kulağının algılayabileceği en zayıf ses şiddetine karşılık gelmektedir. Yapı elemanlarındaki ses yalıtım konusunda ilgilenilmesi gereken frekans aralığı 100 Hz ile 3150 Hz arasında değişim göstermektedir. 3dB ve daha az farklılıklar, insan kulağının algılama sınırının dışında olduğu için fazla önem taşımamaktadır (Uğur, 2001).

Yapı elemanları, ortalama bir gürültü şiddetine maruz kaldığında, yalıtım frekanslarının tanımlanabilmesi için sınıflandırma niteliği taşıyan bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda, 9 farklı frekans değerinde ölçümlenen ses geçiş kaybı değerlerinin nümerik ortalaması alınmak suretiyle bir sınıflama ortaya konulmuştur. “Ortalama Geçiş Kaybı Sınıflaması” olarak adlandırılan bu sınıflama, duvar, tavan ve taban sistemlerinin seçiminde veya birbirleriyle kıyaslanmasında sıkça kullanılmaktadır (Merritt ve Ricketts, 1994).

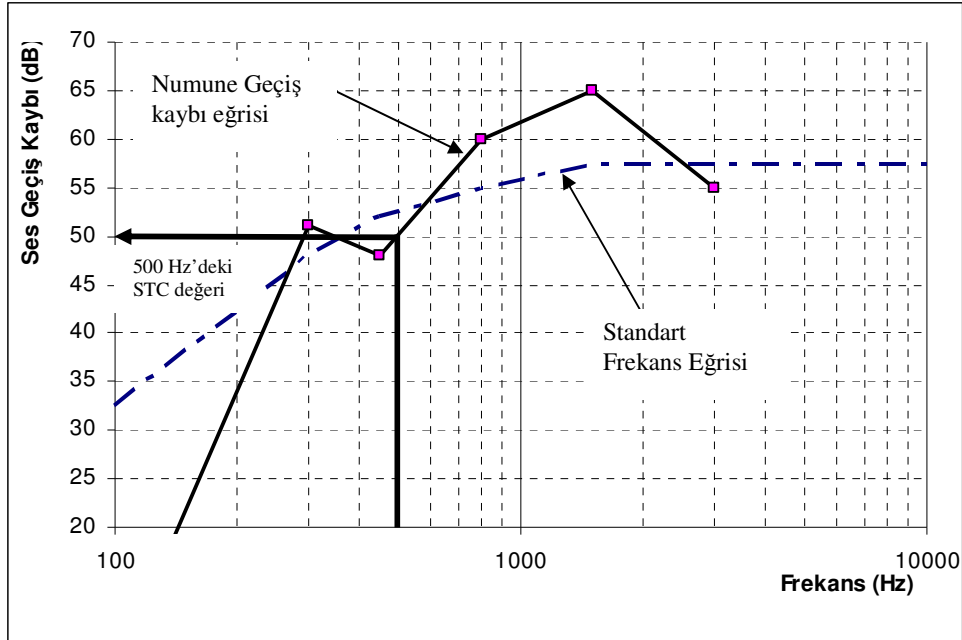
Yaşam koşullarına uygun gürültü düzeyini belirleme amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde, uluslararası kabüllere göre uygun gürültü düzeyi Çizelge 5.36 da verilmiştir.

Son yıllarda önerilen yeni bir sınıflama yönetmi olan “Ses Geçiş Sınıflaması” (STC), 11 farklı frekans değerinde ölçümlenen ses geçiş kaybı değerlerinden herhangi birisinin, belirlenen geçiş kaybı-frekans eğrisinin altında kalmaması gerektiği ilkesine dayanmaktadır (Everest, 1994).

Bu değerlendirme TS 2381, Alman DIN, Avusturya ÖNORM, İngiliz BS Standartları, Amerikan STC eğrileri, Japon ve Belçika standartlarında da küçük farklılıklar ile benzer değerlendirme eğrileri önerilmektedir (Uğur, 2001)

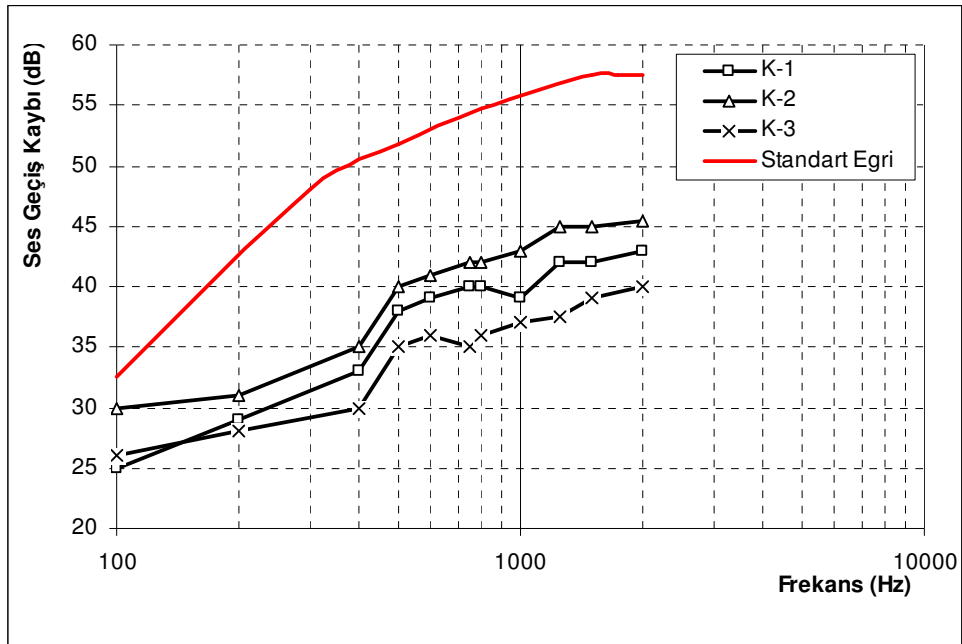
Ses geçiş sınıflaması (STC), yapıların ses yalıtım performanslarının değerlendirmesinde kullanılan yeni bir yöntemdir. Ses geçiş sınıflaması, ASTM standardına uygun olarak yapılan 16 test frekansı değerinde konstruksiyonun ses geçiş kaybı eğrisinin çizdirilmesinden elde edilir. Daha sonra geçiş kaybı test eğrisi, standart frekans eğrisi ile karşılaştırılır.

STC sınıflama değeri, geçiş kaybı test eğrisinin 500 Hz frekans değerine karşılık gelen nümerik değerdir (Şekil 5.48).

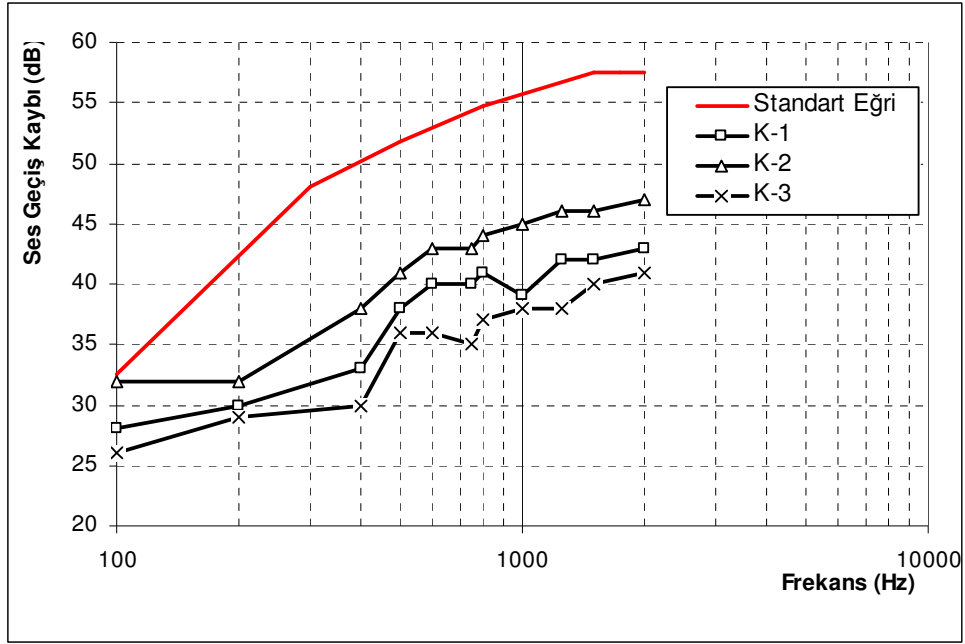


Şekil 5.48. Standart frekans eğrisi ile test eğrisi STC arasında karşılaştırma değerleri (Merritt ve Ricketts, 1994)

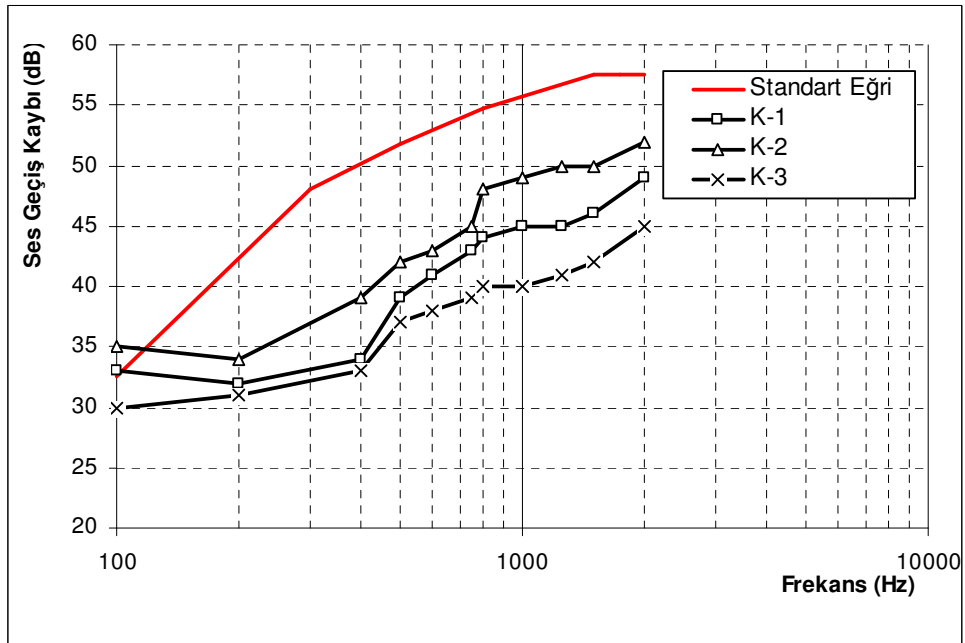
Tez çalışmasında 100, 200, 400, 500, 750, 800, 1000, 1250, 1500 ve 2000 Hz'lik sinus ses dalgalarına karşılık numunelerde oluşan Ortalama Geçiş kaybı dB cinsinden belirlenerek grafikleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada deneyler esnasında denemeleri yapılan beton kalıp numunelerin kalınlığı 10 cm olarak sabit tutulmuştur. Beton kalıp olarak dökülen numunelerin ilk önce 7 günlük ses geçiş kaybı belirlenmiştir. Daha sonra bu numuneler zamana bağlı olarak bekletilerek 14, 28 ve 90 günlük ortalama geçiş kayıpları belirlenerek standartlarda verilen Standart Frekans eğrisi ile karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen grafiksel analizler neticesinde Nevşehir asidik pomzasının Şekilleri, Şekil 5.49, 5.50, 5.51 ve 5.52'de Toprakkale bazik pomzasının şekilleri Şekil 5.53, 5.54, 5.55 ve 5.56'de verilmiştir.



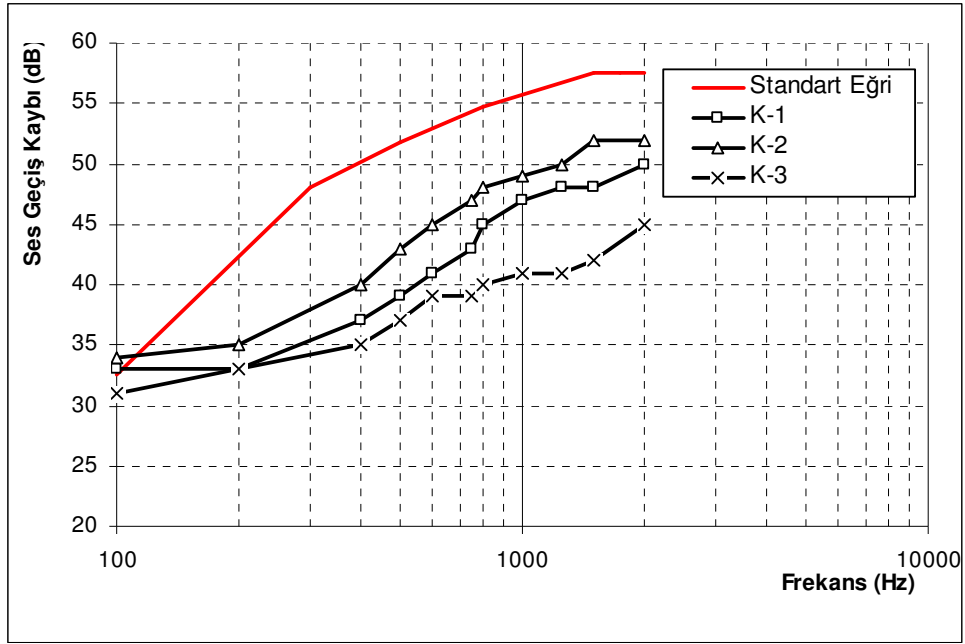
Şekil 5.49. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 7 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



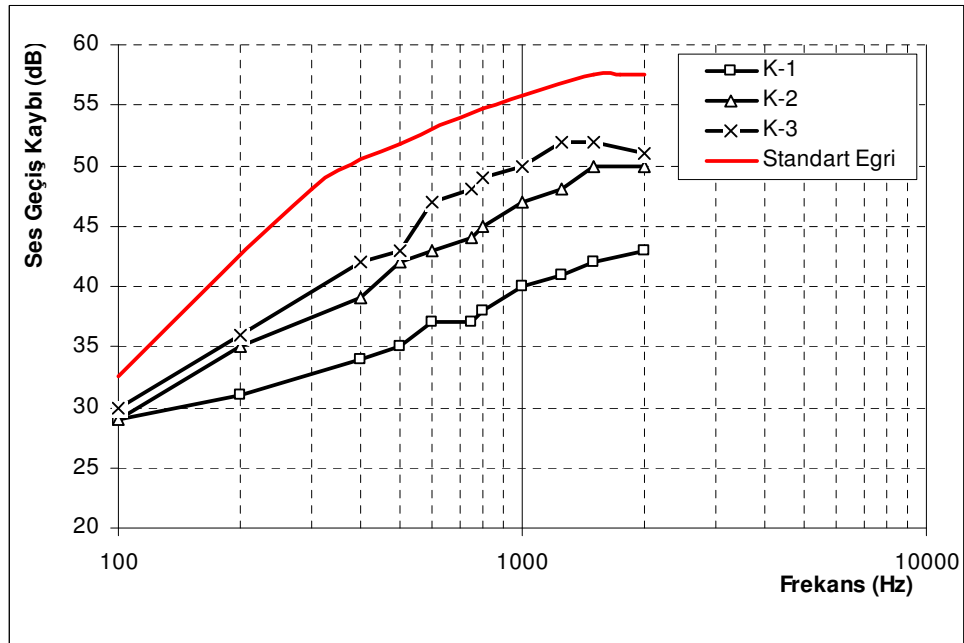
Şekil 5.50. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 14 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



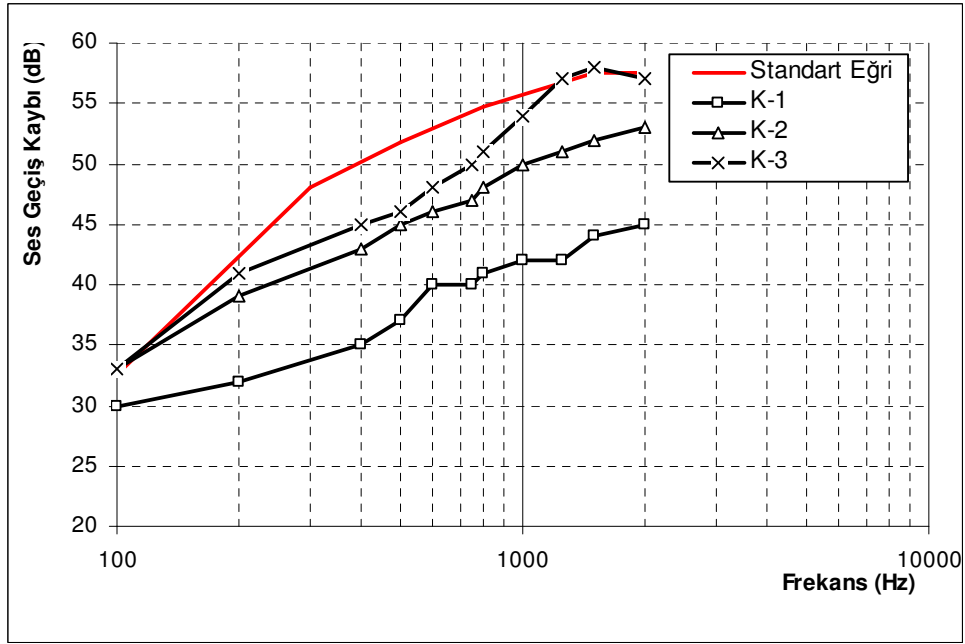
Şekil 5.51. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 28 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



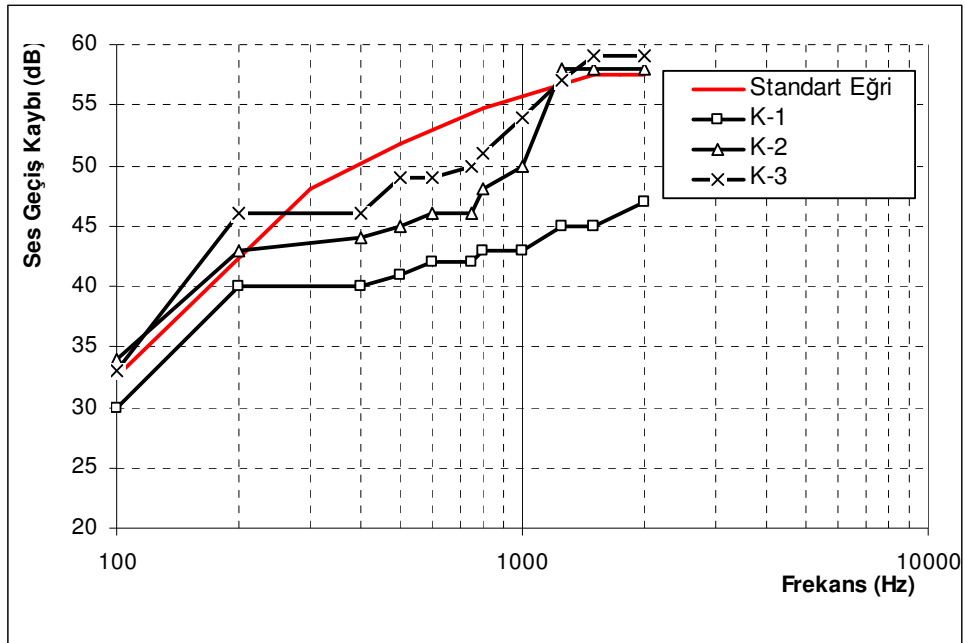
Şekil 5.52. Nevşehir asidik pomzasından oluşturulan NK-1, NK-2 ve NK-3 nolu karışımların 90 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



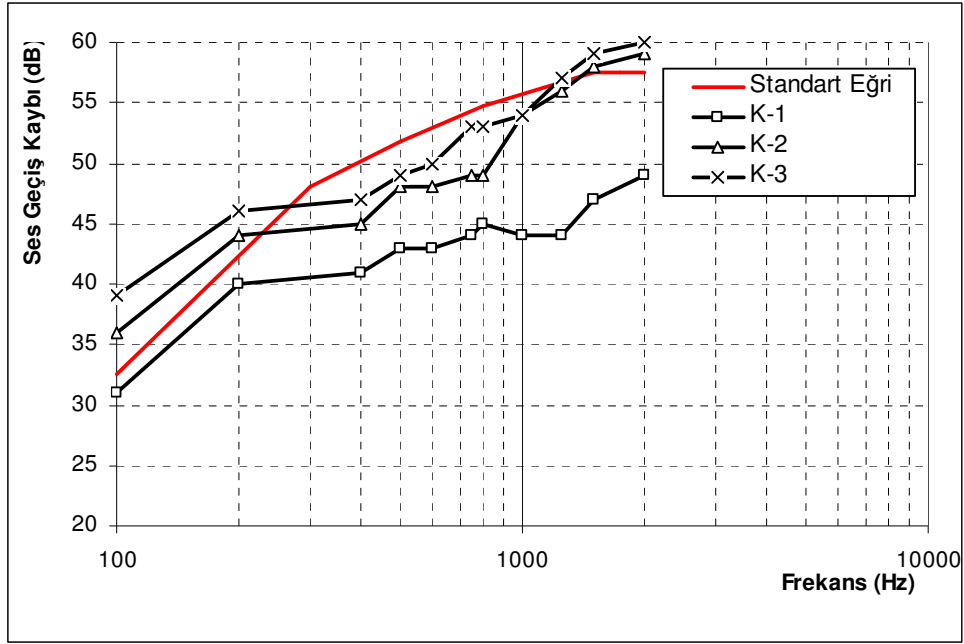
Şekil 5.53. Toprakkale bazik pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 7 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



Şekil 5.54. Toprakkale bazık pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 14 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



Şekil 5.55. Toprakkale bazık pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 28 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi



Şekil 5.56. Toprakkale bazik pomzasından oluşturulan TK-1, TK-2 ve TK-3 nolu karışımların 90 günlük ses geçiş kaybı değerlerinin gösterimi

Hazır beton örneklerinde yapılan ortalama ses geçiş kaybı değerleri incelendiğinde Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton örneklerinin ses yalıtımını daha fazla sağladığı tespit edilmiştir. Bazı frekanslarda ortalama ses geçiş kaybı değerleri standart eğrinin altında olduğu görülmüştür. Fakat bu beton örneklerinin inşaat esnasında kullanıldığında, bu beton kütlelerin üzerine iç ve dış olmak üzere en az 2 şer santim sıva uygulanacaktır. Ayrıca sıvadan sonra iç ve dış kesimlere boya uygulanacağı düşünüldüğünde ses yalıtım değerlerinin hem Nevşehir pomzası hem de Toprakkale pomzası için oldukça uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Birim ağırlığının büyük avantaj sağladığı pomza örneklerinden mamul beton örneklerinin yapılan deneysel analizlerle yüksek miktarda ısı ve ses yalıtımı da sağladığı görülmüştür. Bu pomzaların yapı ve inşaat sektöründe sıklıkla kullanılması gerekmektedir.

5.5. Bimsblok Üretimi ve Kalite Analizi

Doğal ve gözenekli boşluklar içeren hammaddelerin kullanılmasıyla elde edilen yapı malzemeleri bir çok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların arasında kullanım oranı en fazla olan türler olarak, curuf pomza, genleşmiş perlit, volkanik curuf, diatomit, pomza vs. gibi doğal kayaç ve minerallerdir. Saydığımız tüm kayaçlar endüstriyel alanda hafif agrega olarak tanımlanabilmektedir.

Doğal ve hafif özellikler arzeden pomzaların inşaat sektöründe kullanımı, binaların stabilitesi açısından oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Son zamanlarda inşaat sektöründe yüksek mukavemet sağlayan, ısı ses yalıtımı bakımından yüksek değerlere sahip, hafif yapı malzemelerinden üretilen kayaçların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak farklı şekil, boy, standart ve karışım oranlarında üretilen bu malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin muhakkak belirlenmesi gerekmektedir.

Şimdiye kadar yapılan tez çalışmasında asidik ve bazik pomzaların hammadde olarak analizleri yapılmış ve TS'e uygun oldukları belirlenmiştir. Daha sonra pomza agregalarının hafif hazır beton üretiminde kullanılması üzerine farklı karışım oranlarında betonların zamana bağlı mühendislik özellikleri belirlemiştir. Ayrıca yapı malzemelerinin 7 – 14 – 28 ve 90 gün sonunda göstermiş oldukları ısı iletim katsayısı ve ses yalıtım değerleri belirlenmiştir.

Hazır beton denemelerinde elde edilen sonuçlar neticesinde Nevşehir asidik pomzasının bimsblok olarak üretimine ve kalite analizlerinin yapılmasına karar verilmiştir.

Bimsblok olarak Nevşehir asidik pomzasının tercih edilmesinde en büyük neden asidik pomzanın birim hacim ağırlığının düşük olmasıdır. Düşük birim hacim ağırlığına sahip olmasına rağmen yüksek mühendislik parametreleri gösteren asidik pomzanın bimsblok olarak kullanımının da oldukça iyi olacağı düşünülmüştür.

Bu yaklaşımdan yola çıkarak Toprakkale bazaltik pomzasının bimsblok üretimde yüksek mukavemet sağlayacağı aşıkardır. Fakat Nevşehir asidik pomzasına göre daha yüksek birim hacim ağırlığı sağlayacağından bimsblok üretiminde tercih edilmemiştir.

5.5.1. Bimsblokların Genel Özellikleri

TS 406’da öngörülen tanımlamalar neticesinde briketler; kum, çakıl, tuf, cüruf ve bims gibi agreganın, çimento ve su karışımlarının özel kalıplara dökme ve dövme, sıkıştırma veya titreşim verilmesi suretiyle elde edilen bir inşaat malzemesidir. Duvarda kullanılanlar duvar briketi ve döşemede dolgu olarak kullanılanlara da döşeme briketi adı verilir. Briket imal edilecek betonun birim hacim ağırlığı duvar briketlerinde 1600 kg/m^3 ve döşeme briketlerinde ise 1400 kg/m^3 ’den fazla olmamalıdır.

Duvar briketleri, ancak yük taşımayan yerlerde ve bacalarda kullanılır. Genellikle ebatlar $11 \times 6 \times 23$, $10 \times 20 \times 40$, $20 \times 20 \times 40$, $30 \times 20 \times 40$ olmak üzere içi dolu veya delikli olarak dikdörtgen prizma biçiminde olmalıdır.

Döşeme briketlerinde ise, delik eksenini doğrultusunda yapılan net yüzeye göre basınç direnç değeri 15 kg/cm^2 ’den az, su emme değeri % 20’den fazla, don tesirine maruz briketlerde don sonu basınç direncinde % 25’den fazla bir düşüş olmaması istenir. Normal döşeme briketlerinde, boşlukları bütün briket boyunca devam etmesine karşın döşemelerin kenarlarında bir tarafı kapalı briketler kullanılmalıdır. Briketlerin kenarları keskin, istenilen ebatta, yüzleri düzgün, kırık ve çatlakların bulunmaması istenir. Üretilen briketler, hava tesirlerine karşı korunmalı ve 15 gün geçmeden kullanılmaması gerekir.

Şimdiye kadar duvar veya döşemelerde kullanılan ara malzemeler briket yada tuğla ismiyle adlandırılmışlardır. Tez kapsamında üretmiş olduğumuz yapı malzemesinde asidik pomza haricinde başka hiçbir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Bu yüzden üretmiş olduğumuz yapı malzemesine briket yada tuğla demenin yanlış olacağı düşünülerek “Bimsblok” adı endüstriyel alanda da yavaş yavaş kullanılması yüzünden uygun görülmüştür.

5.5.2. Bimsblok Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Nevşehir asidik pomzasından bimsblok üretilmesi için aşağıda maddeler halinde verilen hammadde ve deney ekipmanları kullanılmıştır.

5.5.2.1. Çimento

Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Çimentolar hakkında detaylı bilgiler 3. Bölümde “Beton ve Bimsblok” kısmında verildiğinde detayları burada verilmeyecektir.

Bimsblok üretimi için, üretilen malzemenin endüstriyel alanda kullanılacağı ve uygun sonuçlar alındığında seri üretime geçileceği düşünüldüğünde çok yüksek mukavemet sağlayan yada bağlayıcılık özelliği normal çimentolara nazaran yüksek olan çimentolar kullanılmamıştır.

Bimsblokların üretilmesinde çok rahatlıkla erişilebilecek bileşimi ve kimyasal değerleri belirli olan Adana Çimento Sanayinde üretilen Portland Çimento (PÇ 32.5) kullanılmıştır.

5.5.2.2. Agreg

Yukarıda yazmış olduğumuz gibi hafif yapı malzemesi olarak çok sayıda (curuf pomza, genleşmiş perlit, volkanik curuf, diatomit, pomza vs.) malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerin briket, tuğla yada bimsblok olarak üretilmesi için TS 706 EN 12620'ya uygun olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, tez konumuzda oluşturan Nevşehir asidik pomzası agrega olarak kullanılmıştır. Asidik pomza agregaları Nevşehir'in 5 km. güneyinde faaliyet gösteren pomza üretim ocaklarından getirilmiştir. Bimsblok yapımında Nevşehir asidik pomzasından başka hiçbir katkı malzemesi kullanılmamıştır.

5.5.2.3. Karışım Suyu

Karışım suyu, kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirme ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlama işlevini yerine getirir. Bimsblokların yapılmasında kullanılacak su miktarı oldukça önemlidir. Su miktarının az olduğu bimsbloкта, bimsblok harcının kıvamı susuz olacağından agrega taneleri birbirini tutmaz ve dağılma yaşanır. Aynı şekilde bimsblok harcına fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini düşürmektedir. Optimum su-çimento oranını saptamak için bilimsel niteliği olan çalışmalar incelenmiş ve deneme yanılma yöntemiyle çok sayıda deney yapılarak en uygun su miktarı hesaplanmıştır. Bu çalışmada karışım suyu olarak normal içme suyu şebekesinden alınan 20°C su kullanılmıştır.

5.5.2.4. Kullanılan Deney aletleri

Nevşehir pomzasından üretilen bimsblokların Birim hacim ağırlık deneyi, Tek eksenli basma dayanımı, elastisite modülü, ısı iletim katsayısı ve ses yalıtım değerleri tespit edilmiştir.

Belirtilmiş olan deneylerin yapılması için gerekli olan deney alet ve ekipmanları 3. ve 4. Bölümlerde anlatıldığından tekrar burada değinilmeyecektir.

5.5.3. Bimsblokların Karışım ve Şekil Algoritmasının Belirlenmesi

Araziden alınan tüvenan şeklindeki Nevşehir pomza örnekleri çeneli kırıcıda kırılıp elendikten sonra 0-0.5, 0.5-1, 1-2, 2-4 ve 4-8 mm'lik elek aralıklarına göre sınıflama yapılmıştır. Sınıflama ve kırma işlemleri TS 706 EN 12620 standartlarının öngördüğü şekilde olmuştur. Tüm deneyler oda sıcaklığının 22°C, nem miktarının %65-70 olduğu 1 gün içerisinde uygun oda ve çevre şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Pomzaların genel sınıflandırılmasından sonra fiziksel ve mekanik özellikler

olarak en iyi mühendislik kriterlerini sunan bimsblok su-çimento-agrega karışım oranlarının tespiti için gerek teorik gerekse de pratik olarak çok sayıda karışım hesapları ve deneyleri yapılmıştır (Atış vd, 2000, Yaşar vd, 2004). Yapılan deneme yanılma deneylerinde birim hacim ağırlık ve dayanım değerleri karışım algoritması oluşturulmasında en büyük kriterler olmuştur.

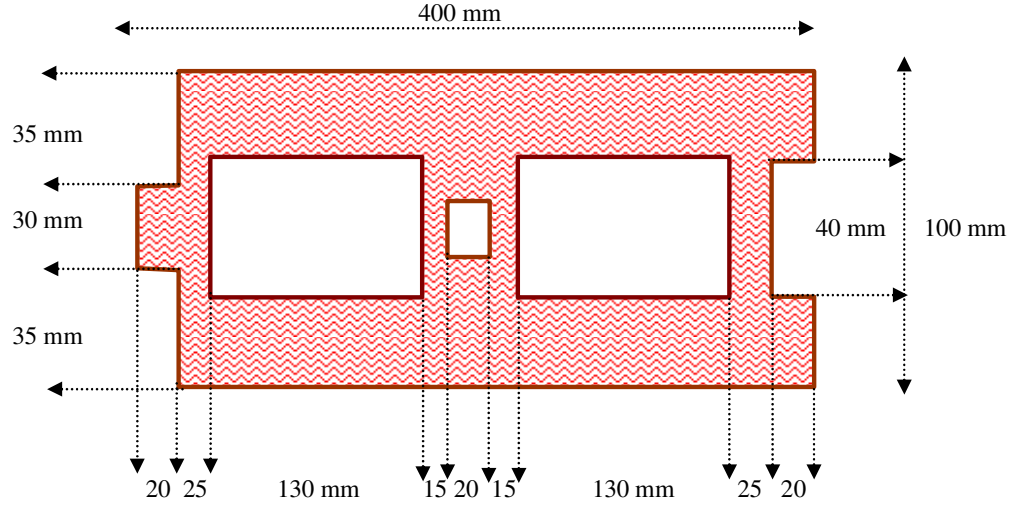
Yapılan deneme yanılma deneysel çalışmaları kapsamında üretilen bimsblokların bazılarının dayanımı yüksek çıkarken birim hacim ağırlığında çok yüksek olduğu görülmüştür. Aynı çalışmalar neticesinde birim hacim ağırlık değerinin düşük bimsblok karışımı sağlayıp ürettikten sonra bu seferde dayanımın değerinin çok düşük çıktığı görülmüştür. Bazı denemelerde çimento miktarının fazla konulması dayanımı artmasını sağlamış fakat çimentonun fazla kullanılması maliyeti arttırdığından endüstriyel alanda uygulanabilirliğini kısıtladığı için kullanılmamıştır.

Aynı deneme yanılma çalışmaları neticesinde su miktarının uygun olmayan miktarlarda kullanılması bimsblok karışım harcında ve slump değerlerinde oldukça büyük sıkıntılar meydana getirmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda Nevşehir Asidik pomzasından üretilen bimsblokların yüksek mukavemet, düşük birim hacim ağırlık ve diğer mühendislik değerlerinde en optimum değerleri sağlayan karışım oranı belirlenerek bu değerler Çizelge 5.36 da verilmiştir.

Çizelge 5.36. Bimsblok karışım oranları

Elek aralığı (mm)	Agrega miktarı (kg/m ³)
8-4	140
4-2	114
2-1	80
1-0.5	94
<0.5	142
Çimento	114
Su	120



Şekil 5.58. TS 2823 standartlarına uygun olarak tasarlanan 100 (genişlik) x 400 (boy) x 190 (yükseklik) ebatlarındaki bir sıra üç boşluklu bimsbloğun geometrik şekil ve boyutlandırmaları (Şekil ölçeksizdir)

Tasarımı yapılan bimsbloğun TS standardında belirtilen kriter ve şartları tıpatıp uyması gerekmemektedir. TS genel olarak boyutlarını ve minimum olması gereken et kalınlıkları belirtmektedir. Ayrıca mekanik özellikler olarak uyulması gereken minimum dayanım değerleri bulunmaktadır. Bu özelliklere uygun bir dizayn yapıldıktan sonra daha yüksek fiziksel ve mekanik özellikleri veren bimsblokların tasarımı yapılabilmektedir. Bu şartlardan yola çıkarak Şekil 5.57 de gösterilen ve tasarımı yapılan bimsbloğun normal tuğla, briket ve bimsbloklara karşı olana avantajlarını aşağıda verilmiştir,

- Tasarlanan bimsblok kilitli geçme sistemine sahip olmaktadır. Ön tarafta kilit ucu arka tarafta da harç cebinin olması duvar örülmesi kolay hale getirmekte ve kilitlerini birbirlerine geçmesi ile daha dayanımlı duvarların oluşmasına imkan kılmaktadır.
- Bimsbloktaki boşluk sayısı Şekil 5.57’de öngörüldüğü gibi 2 adet değil, 2 adet geniş 1 adet de ortada küçük bir boşluk olmak üzere 3 adet olarak tasarlanmıştır. Bu özellik bimsbloğa yüksek dayanım ve küçük ortada bir boşluk olmasından ötürü ısı ve ses yalıtımda yüksek değerler sunmaktadır.

- Normal bimsbloklarda yükseklik 185 mm, boy 390 mm olarak öngörölmüşken, tasarlanan bimsblokta yükseklik 190 mm, boy 400 mm dir. Bu özellik sayesinde sayısal olarak küsuratlı değerler arz etmediğinden duvarlarda bimsblok kırma yada bölme işlemleri olmadan uygun bir şekilde döşenmesi sağlanmaktadır

Tasarlanan bimsbloğun TS normlarına göre öngörölen bimsbloklardan daha iyi özellikler sunması endüstriyel alanda sevindirici bir gelişmedir. Bu yüzden diğer bimsblok örneklerinde de benzer tasarımlar yapılarak endüstriyel anlamda üretimlerinin gerçekleştirilebilmesi için Osmaniye sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren ARDEMİR Şti. ile irtibata geçilmiş ve seri üretimleri sağlanmıştır. Bimsblokların yüksek dayanım vermesi, bimsblok yapısında bulunan hammaddelerin karışım oranlarına, şekil ve boyutuna, tasarımına bağlı olduğu belirlenmiştir. Tüm bu özelliklerin bulunmasına rağmen üretim esnasında kalıbı iyi bir şekilde presleyip sıkıştırma işlemleri gerçekleşmezse bimsblokların dayanım değerlerinin %40 varan oranlarda azaldığı görölmüştür. Bu amaçla yine deneme yanılma yöntemi ile bimsblokların pres vasıtası ile sıkıştırılması esnasında 8 barlık bir basınç değerinin en optimum sıkışma değeri sağladığı gözlenmiştir. Daha sonraki, seri üretim esnasında 8 barlık bir basınç değeri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında dört farklı şekil ve boyutta bimsblok üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Üretilen bimsblokların boyutları,

- 100x400x190 mm (bir sıra üç boşluklu bimsblok),
- 150x400x190 mm (iki sıra altı boşluklu bimsblok),
- 200x400x190 mm (üç sıra dokuz boşluklu bimsblok)
- 250x400x190 mm (üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblok).

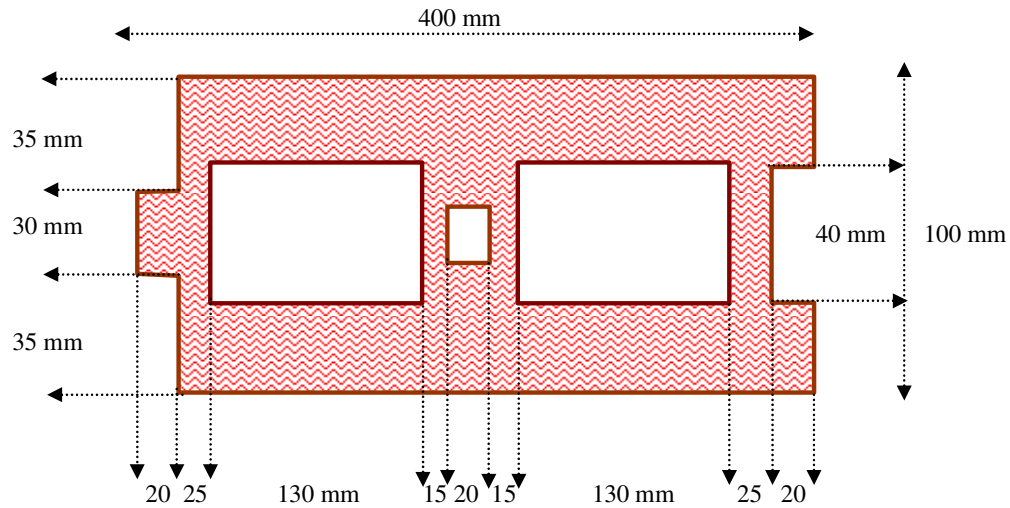
olarak tasarlanmıştır.

Bimsbloklar 4 farklı tip ve boyutta oldukları için ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

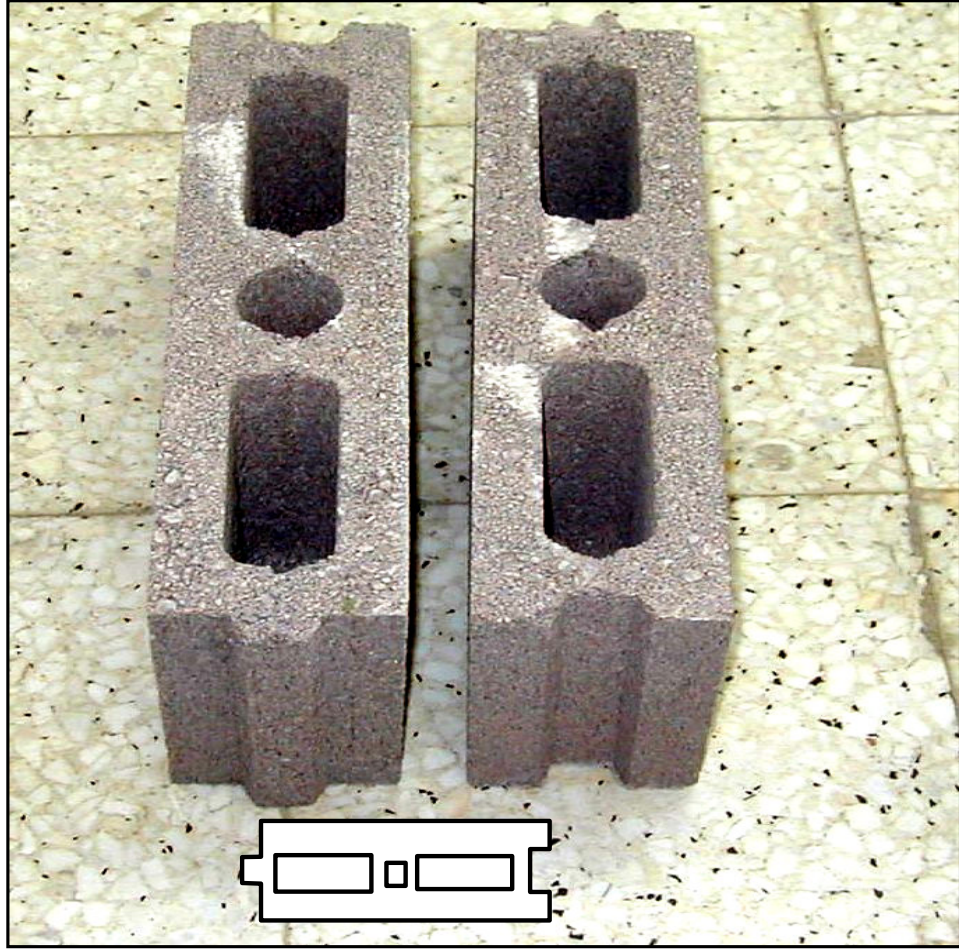
5.5.4. Bir Sıra Üç Boşluklu Bimsblok (100x400x190 mm)

Bir sıra üç boşluklu bimsblok, TS 406 ve TS 2823'de öngörülen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento, ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınçla pres edilmek suretiyle elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle bina içlerindeki duvarlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan 100x400x190 (genişlik, boy, yükseklik) mm boyutları tercih edilmesi bimsbloğun tasarım amacını oluşturmaktadır. Tasarım halindeki boyut ve şekli ile tasarım sonrası nihai üretimde elde edilen şekiller Şekil 5.59 ile 5.60 da verilmiştir.



Şekil 5.59 Bir sıra üç boşluklu bimsbloğun (100x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları (Şekil ölçeksizdir)



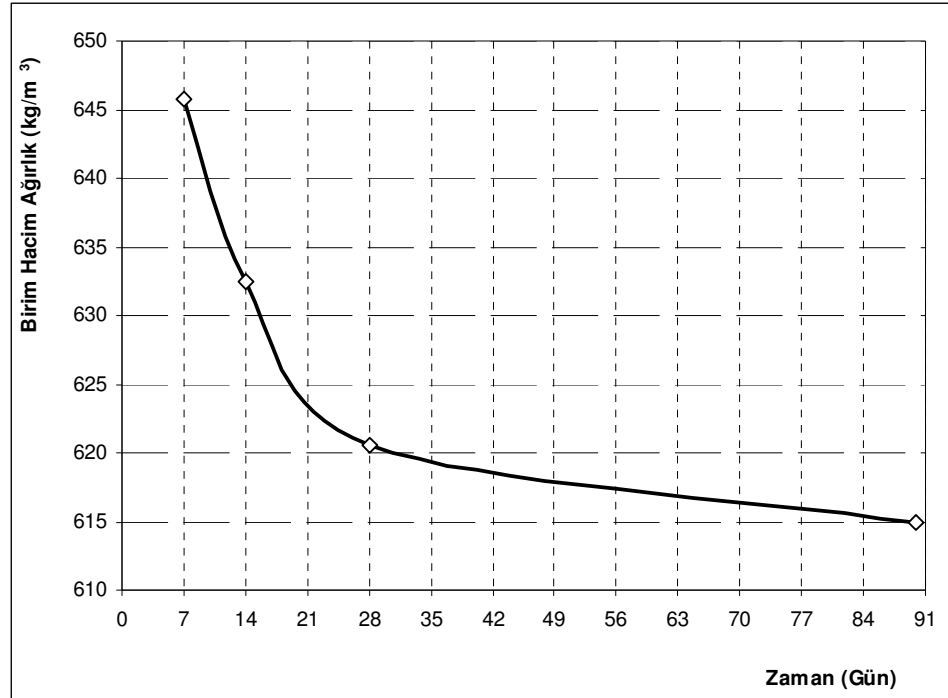
Şekil 5.60. Bir sıra üç boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi

Üretilen bir sıra üç boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda Birim hacim ağırlık Çizelge 5.37, Tek eksenli basma dayanımı Çizelge 5.38, ısı iletim katsayıları Çizelge 5.39 ile 11 farklı frekansta ölçümü yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Şekil 5.63’da verilmiştir.

Çizelge 5.37. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

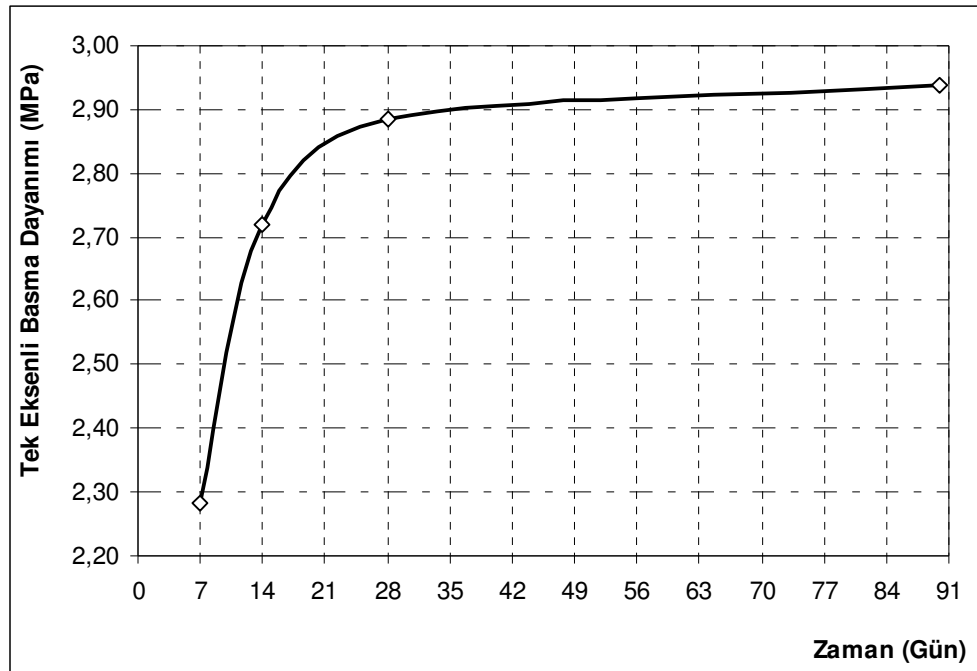
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	680	622	619	621
2	644	630	629	605
3	664	645	598	619
4	633	644	602	643
5	636	620	618	595
6	639	611	612	602
7	642	655	630	632
8	646	618	620	612
9	644	620	633	621
10	630	660	645	599
Ortalama	645.80	632.50	620.60	614.90
Standart Sapma	15.19	17.17	14.33	15.26



Şekil 5.61. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi

Çizelge 5.38. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)

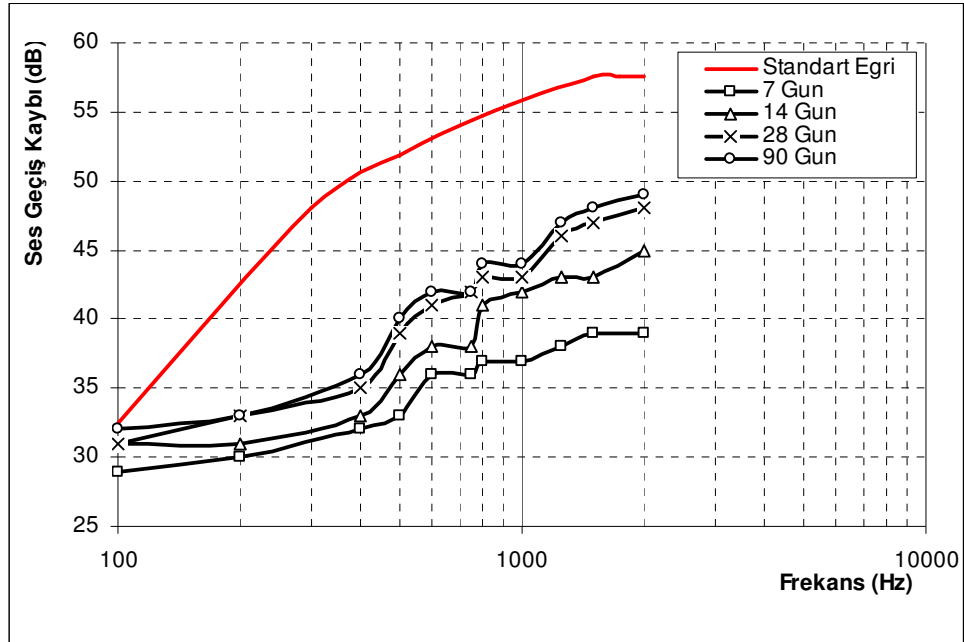
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	2.32	2.22	3.43	2.79
2	2.33	2.90	3.01	2.86
3	2.14	3.23	3.22	3.19
4	2.45	3.19	2.40	3.11
5	2.11	3.05	2.58	2.85
6	2.44	2.59	2.34	3.02
7	2.01	3.33	3.09	3.33
8	2.09	2.24	3.11	3.01
9	2.44	2.34	3.12	2.79
10	2.51	2.12	2.56	2.42
Ortalama	2.28	2.72	2.89	2.94
Standart Sapma	0.18	0.47	0.38	0.25



Şekil 5.62. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların zamana tek eksenli basma dayanım değeri değişimi

Çizelge 5. 39. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük Isı iletim katsayı değerleri (W/m.K)

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	0.191	0.188	0.174	0.172
2	0.194	0.197	0.190	0.181
3	0.203	0.167	0.180	0.179
4	0.177	0.188	0.175	0.166
5	0.189	0.162	0.174	0.170
6	0.170	0.166	0.169	0.173
7	0.166	0.189	0.175	0.165
8	0.175	0.181	0.166	0.170
9	0.170	0.165	0.174	0.182
10	0.173	0.159	0.163	0.160
Ortalama	0.181	0.176	0.174	0.172
Standart Sapma	0.012	0.014	0.007	0.007



Şekil 5.63. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen bir sıra üç boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 645.80 ± 15.19 , 632.50 ± 17.17 , 620.60 ± 14.33 ve 614.90 ± 15.26 kg/m³ olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler incelendiğinde zamana bağlı olarak bimsblokların birim hacimlerinde bir azalma meydana geldiği 28 günden sonraki azalma miktarının ise çok fazla olmadığı optimum birim hacim ağırlığa 28. gününde ulaştığı belirlenmiştir..

Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen bir sıra üç boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.28 ± 0.18 , 2.72 ± 0.47 , 2.89 ± 0.38 ve 2.94 ± 0.25 MPa olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen bir sıra üç boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.181 ± 0.012 , 0.176 ± 0.014 , 0.174 ± 0.007 ve 0.172 ± 0.007 W/m.K olarak bulunmuştur.

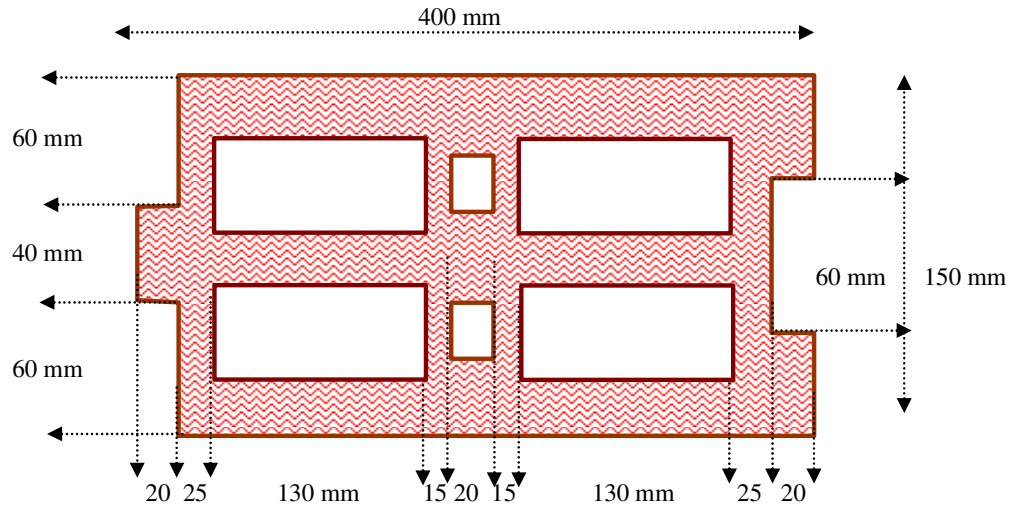
Şekil 5.63'den görüldüğü üzere bir sıra üç boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

5.5.5. İki Sıra Altı Boşluklu Bimsblok (150x400x190 mm)

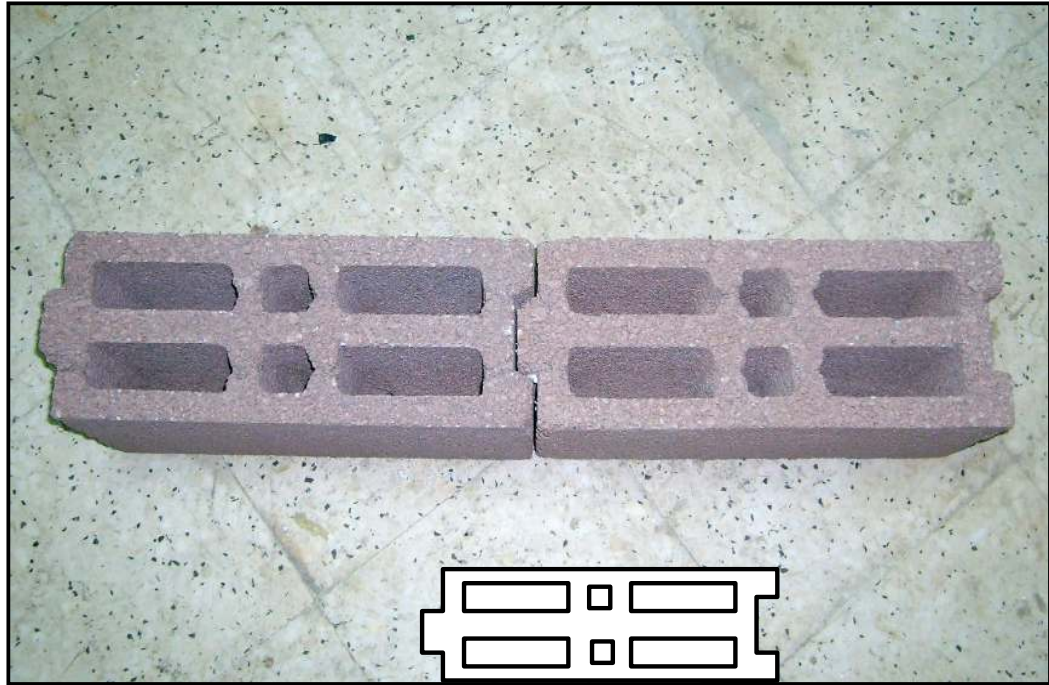
İki sıra altı boşluklu bimsblok, TS 406 ve TS 2823'de öngörülen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento, ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınçla pres edilmek suretiyle elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle bina iç ve dış duvar kaplamalarında, orta ölçekli fabrika ve yurtlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan 150x400x190 mm boyutları tercih edilmesi bimsbloğun diğer bir tasarım amacını oluşturmaktadır. Üretilen iki sıra altı boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Tasarım halindeki boyut ve şekli ile tasarım sonrası nihai üretimde elde edilen şekiller Şekil 5.64 ile 5.65'de verilmiştir.



Şekil 5.64. İki sıra altı boşluklu bimsbloğun (150x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları (Şekil ölçeksizdir).

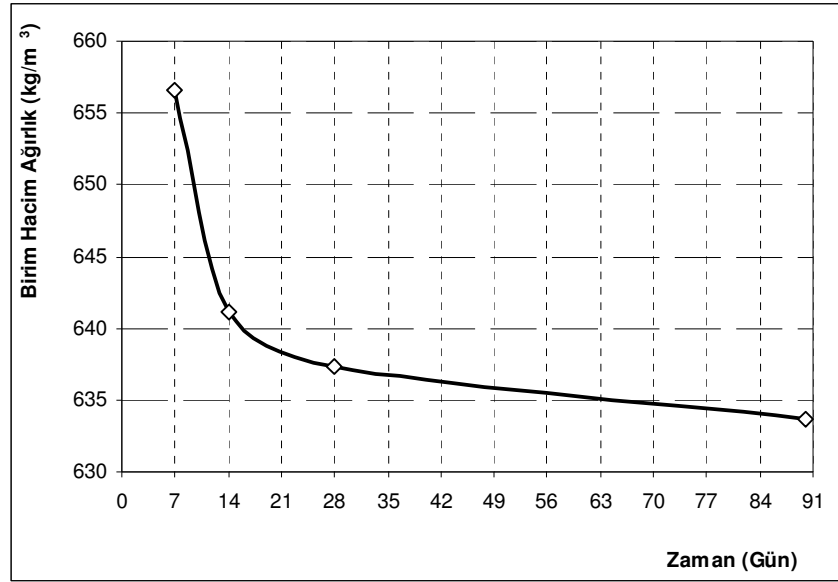


Şekil 5.65. İki sıra altı boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi

Şekil 5.64 ve 5.65’de üretilmiş halde görülen iki sıra altı boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.40, tek eksenli basma dayanımı Çizelge 5.41, ısı iletim katsayıları Çizelge 5.42 ile 11 farklı frekansta ölçümü yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Şekil 5.68’de verilmiştir.

Çizelge 5. 40. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m³)

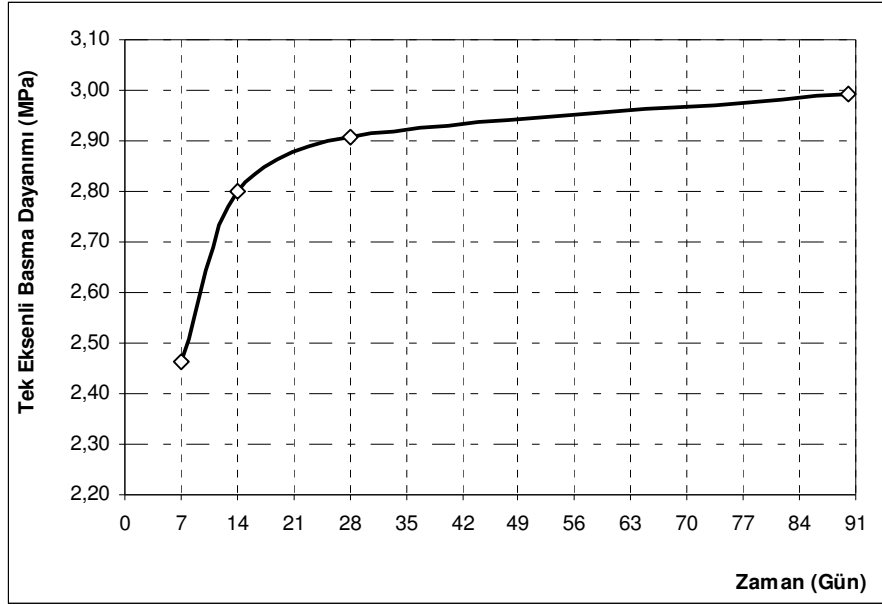
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	682	634	638	621
2	640	629	635	644
3	656	659	622	628
4	660	628	633	634
5	688	644	645	636
6	637	627	636	638
7	666	644	633	649
8	645	629	642	628
9	650	647	650	640
10	642	671	640	619
Ortalama	656.60	641.20	637.40	633.70
Standart Sapma	17.58	14.83	7.66	9.75



Şekil 5.66. İki sıra altı boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi

Çizelge 5. 41. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)

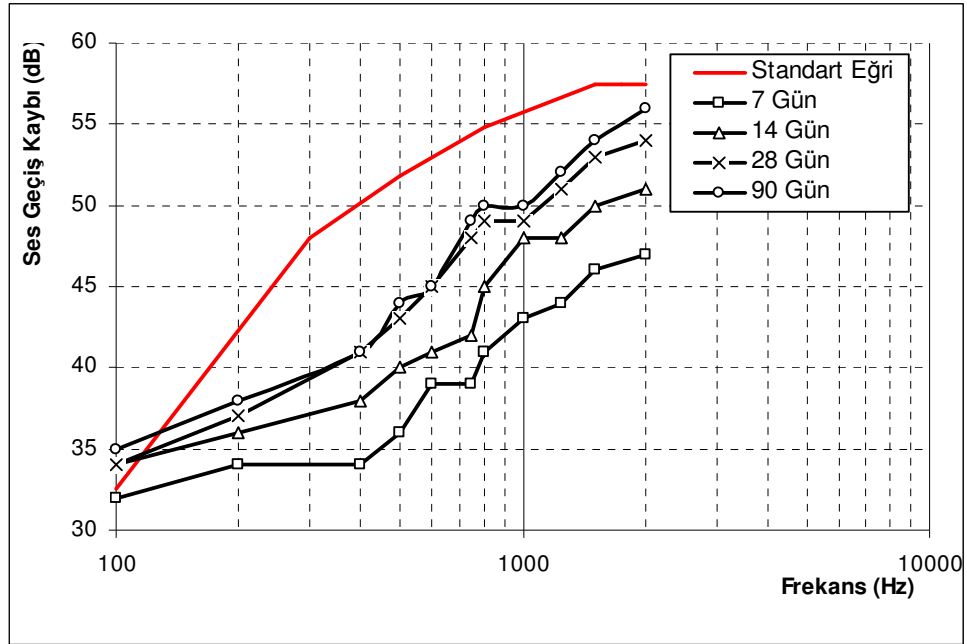
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	2.54	2.89	3.33	2.80
2	2.40	2.45	3.11	2.90
3	2.33	3.12	3.01	3.01
4	2.28	2.56	2.55	2.77
5	2.55	2.98	2.58	3.10
6	2.34	2.75	2.60	3.01
7	2.65	2.95	2.90	3.12
8	2.59	3.10	3.01	3.31
9	2.50	2.76	3.20	2.90
10	2.44	2.43	2.79	3.01
Ortalama	2.46	2.80	2.91	2.99
Standart Sapma	0.12	0.25	0.27	0.16



Şekil 5.67. İki sıra altı boşluklu bimsblokların zamana tek eksenli basma dayanım değeri değişimi

Çizelge 5.42. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ısı iletim katsayı değerleri (W/m.K)

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	0.191	0.183	0.143	0.160
2	0.191	0.195	0.188	0.166
3	0.189	0.188	0.157	0.179
4	0.190	0.168	0.169	0.160
5	0.184	0.170	0.179	0.172
6	0.181	0.166	0.155	0.157
7	0.177	0.170	0.150	0.188
8	0.168	0.189	0.189	0.165
9	0.171	0.159	0.194	0.169
10	0.170	0.160	0.174	0.158
Ortalama	0.181	0.175	0.170	0.167
Standart Sapma	0.009	0.013	0.018	0.010



Şekil 5.68. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen iki sıra altı boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 656.60 ± 17.58 , 641.20 ± 14.83 , 639.20 ± 10.61 ve 630.00 ± 9.76 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen iki sıra altı boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.46 ± 0.12 , 2.80 ± 0.25 , 2.91 ± 0.27 ve 2.99 ± 0.16 MPa olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen iki sıra altı boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.181 ± 0.009 , 0.175 ± 0.013 , 0.170 ± 0.018 ve 0.167 ± 0.010 W/m.K olarak bulunmuştur.

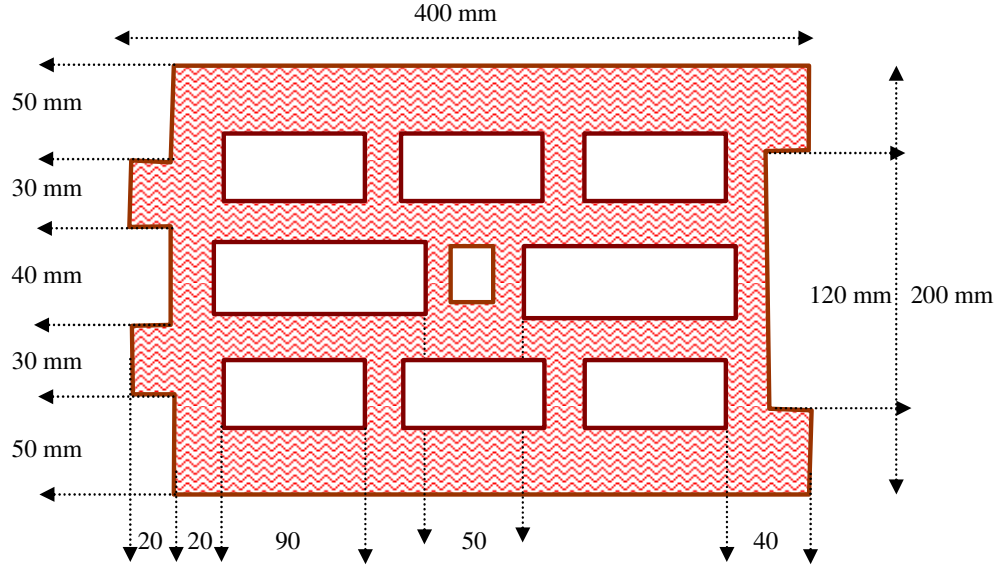
Şekil 5.68'den görüldüğü üzere iki sıra altı boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

5.5.6. Üç Sıra Dokuz Boşluklu Bimsblok (200x400x190 mm)

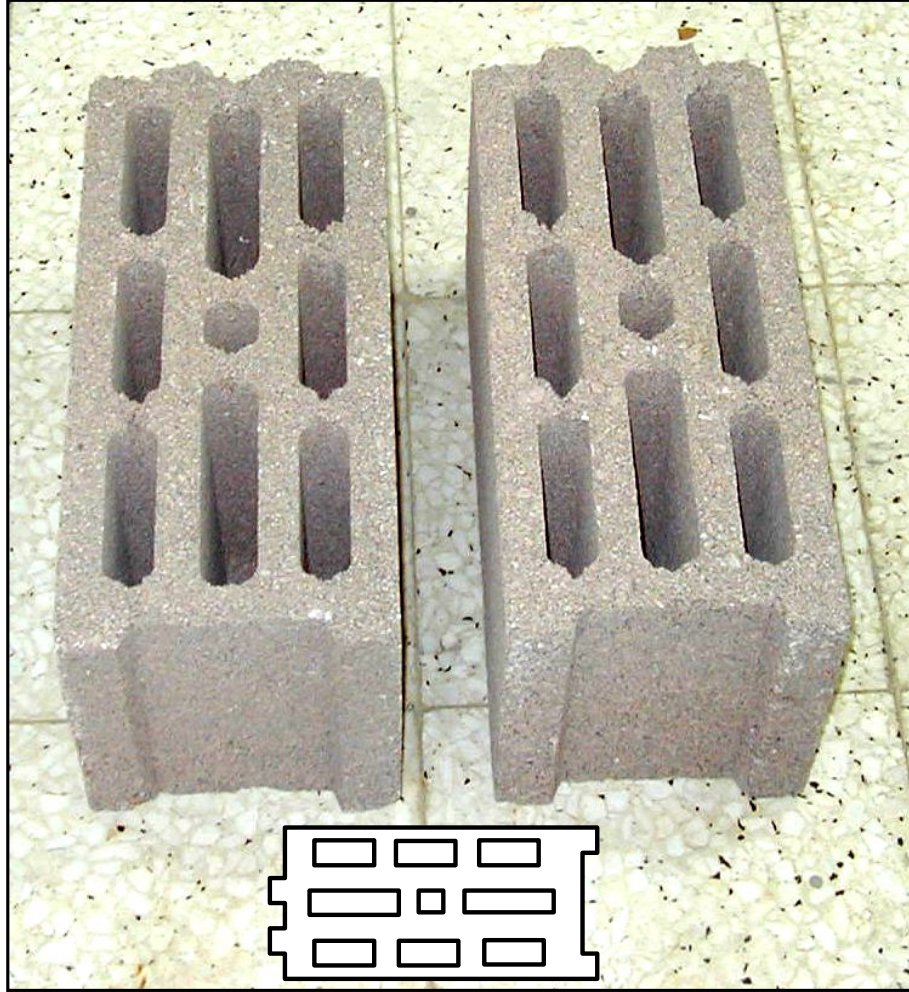
Üç sıra dokuz boşluklu bimsblok, TS 406 ve TS 2823’de öngörülen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar’lık bir basınçla pres edilmek suretiyle elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle otellerde, büyük iş ve alışveriş merkezlerinde, yüksek ısı ve ses konforunun arandığı yerlerde kullanılan bir boyut olan 200x190x400mm’lik bimsblok boyutları tasarlanarak üretilmesi yapılmıştır. Üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Tasarım halindeki boyut ve şekli ile tasarım sonrası nihai üretimde elde edilen şekiller Şekil 5.69 ile 5.70’de verilmiştir.



Şekil 5.69. Üç sıra dokuz boşluklu bimsbloğun (200x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları (Şekil ölçeksizdir)

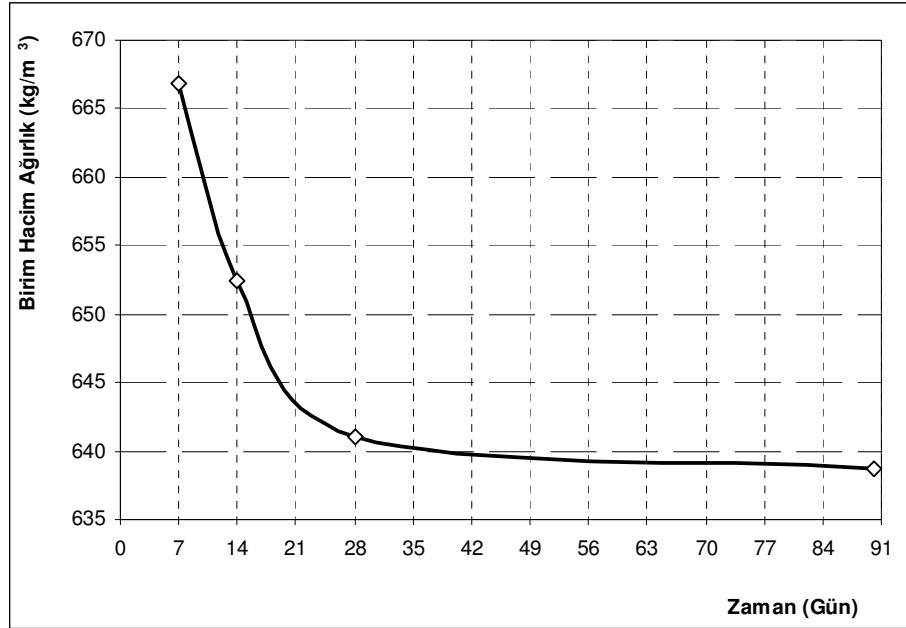


Şekil 5.70. Üç sıra dokuz boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi

Şekil 5.69 ve 5.70’de üretilmiş halde görülen üç sıra dokuz boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.43, tek eksenli basma dayanımı Çizelge 5.44, ısı iletim katsayıları Çizelge 5.45 ile 11 farklı frekansta ölçümü yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Şekil 5.73’de verilmiştir.

Çizelge 5.43. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

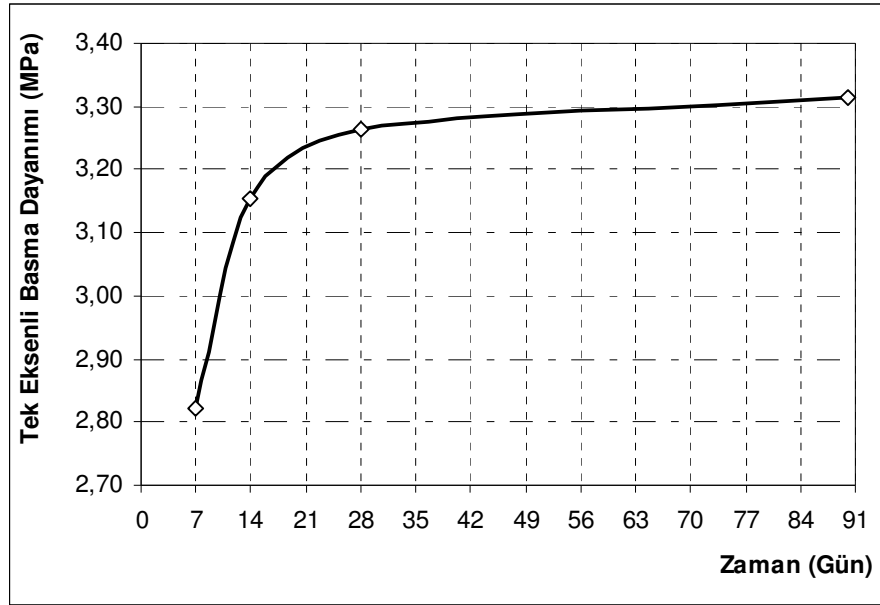
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	691	626	640	622
2	643	649	640	649
3	649	673	630	646
4	667	639	635	630
5	693	656	650	631
6	663	652	640	641
7	650	670	638	650
8	670	651	644	633
9	690	649	660	655
10	653	660	633	630
Ortalama	666.90	652.50	641.00	638.70
Standart Sapma	18.83	13.77	8.72	10.95



Şekil 5.71. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi

Çizelge 5.44. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)

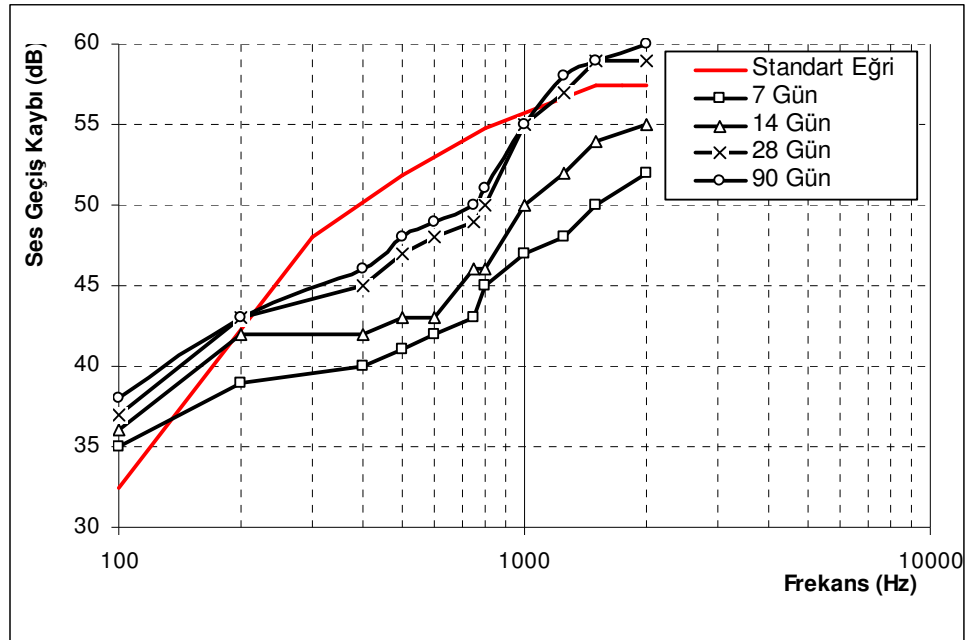
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	3.02	2.99	3.40	3.22
2	3.04	3.25	3.20	3.54
3	2.56	3.41	3.05	3.11
4	2.70	2.89	3.53	2.96
5	2.89	3.02	2.90	3.55
6	2.77	2.89	2.97	3.04
7	2.78	3.38	3.67	3.50
8	2.96	2.96	3.37	3.44
9	2.95	3.55	3.39	3.28
10	2.54	3.21	3.15	3.49
Ortalama	2.82	3.16	3.26	3.31
Standart Sapma	0.18	0.24	0.25	0.22



Şekil 5.72. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların zamana tek eksenli basma dayanım değeri değişimi

Çizelge 5.45. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ısı iletim katsayı değerleri (W/m.K)

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	0.188	0.180	0.173	0.157
2	0.180	0.189	0.162	0.188
3	0.190	0.175	0.164	0.178
4	0.201	0.188	0.162	0.170
5	0.185	0.170	0.186	0.174
6	0.190	0.183	0.193	0.166
7	0.196	0.172	0.178	0.181
8	0.186	0.201	0.187	0.174
9	0.187	0.187	0.175	0.180
10	0.192	0.197	0.166	0.162
Ortalama	0.190	0.184	0.175	0.173
Standart Sapma	0.006	0.010	0.011	0.009



Şekil 5.73. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 666.90 ± 18.83 , 652.50 ± 13.77 , 641.00 ± 8.72 ve 638.70 ± 10.95 kg/m³ olarak bulunmuştur.

Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.82 ± 0.18 , 3.16 ± 0.24 , 3.26 ± 0.25 ve 3.31 ± 0.22 MPa olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.190 ± 0.006 , 0.184 ± 0.01 , 0.175 ± 0.011 ve 0.173 ± 0.009 W/m.K olarak bulunmuştur.

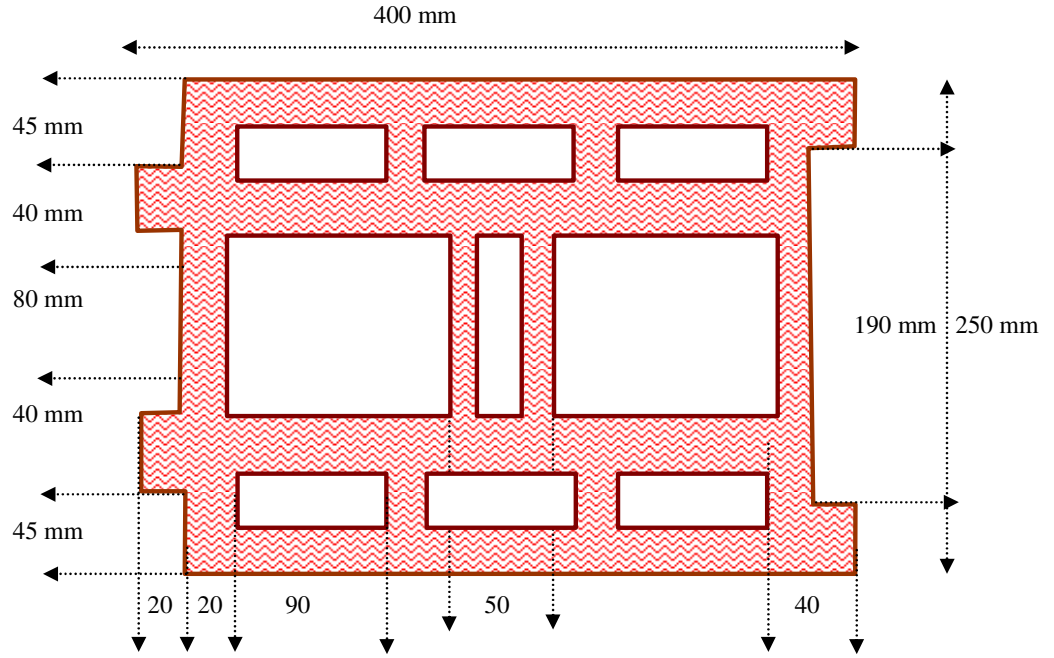
Şekil 5.73'den görüldüğü üzere üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

5.5.7. Üç Sıra Dokuz Geniş Boşluklu Bimsblok (250x400x190 mm)

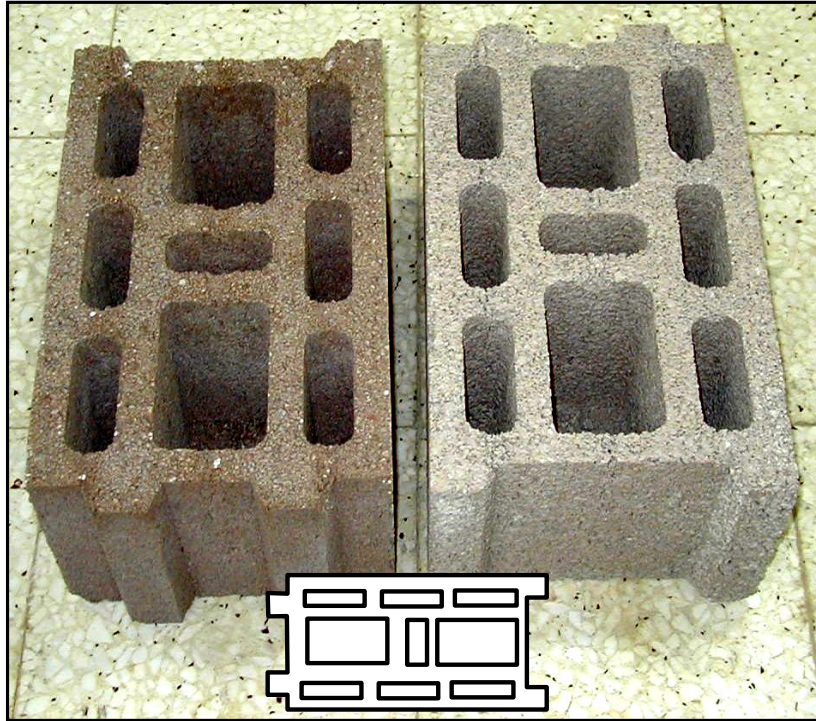
Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblok, TS 406 ve TS 2823'de öngörülen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento, ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınçla pres edilmek suretiyle elde edilmiştir.

Yapı ve inşaat sektöründe dış cephe kaplamacılığında, yüksek ısı ve ses konforu isteyen iş merkezlerinde kullanılan bir boyut olan 250x190x400 mm boyutları tercih edilmesi bimsbloğun tasarım amacını oluşturmaktadır. Üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Tasarım halindeki boyut ve şekli ile tasarım sonrası nihai üretimde elde edilen şekiller Şekil 5.74 ile 5.75'de verilmiştir.



Şekil 5.74. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloğun (250x400x190mm genişlik, boy, yükseklik) tasarım halinde belirlenmiş şekil ve boyutları (şekil ölçeksizdir)

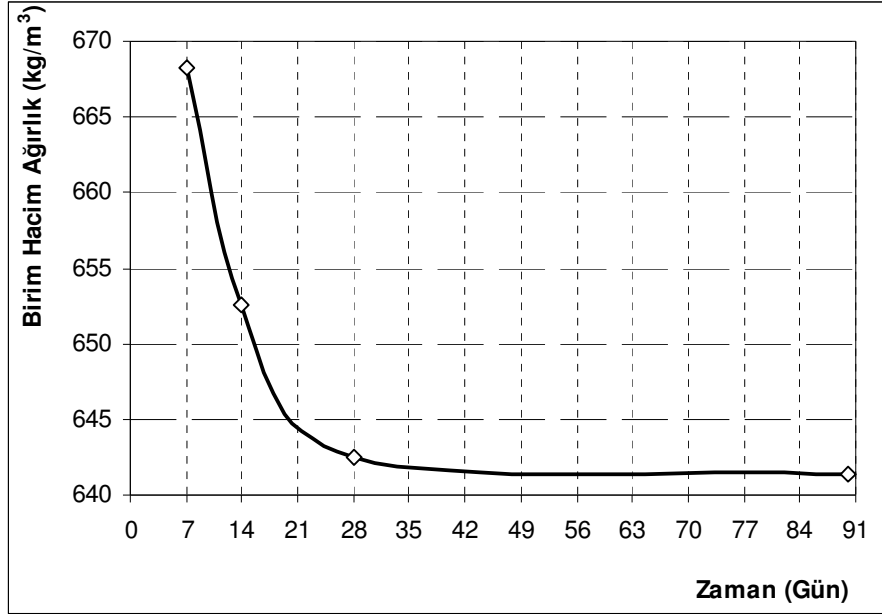


Şekil 5.75. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloğun nihai üretilmiş resmi

Şekil 5.74 ve 5.75’de üretilmiş halde görülen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloğun 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.46, tek eksenli basma dayanımı Çizelge 5.47, ısı iletim katsayıları Çizelge 5.48 ile 11 farklı frekansta ölçümü yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Şekil 5.78’de verilmiştir.

Çizelge 5. 46. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri (kg/m³)

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	677	645	645	627
2	654	667	678	653
3	651	650	642	661
4	670	645	653	627
5	680	670	642	634
6	670	639	629	650
7	690	688	638	644
8	661	648	633	638
9	685	633	627	650
10	645	641	638	630
Ortalama	668.30	652.60	642.50	641.40
Standart Sapma	15.16	17.03	14.65	11.40



Şekil 5.76. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların zamana bağlı birim hacim ağırlıklarının değişimi

Çizelge 5. 47. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basma dayanım değerleri (MPa)

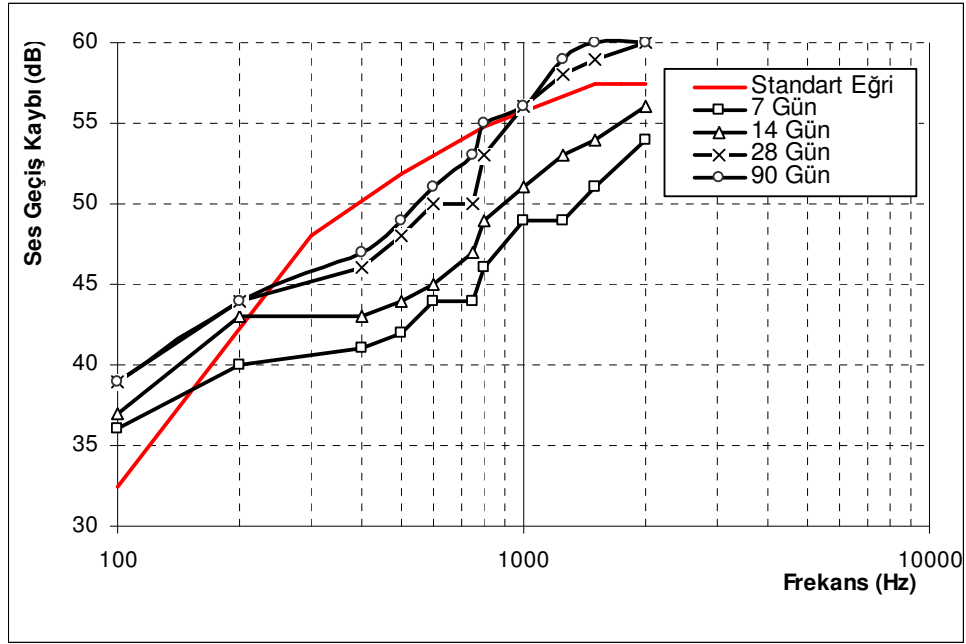
Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	2.70	3.12	2.99	3.01
2	2.56	2.95	3.20	3.23
3	3.01	3.36	3.15	3.20
4	2.66	2.79	3.01	2.99
5	2.89	2.98	2.88	2.90
6	2.77	2.80	2.97	3.00
7	3.00	3.10	3.23	3.22
8	2.87	3.33	3.41	3.19
9	2.56	2.98	3.28	3.41
10	2.45	3.21	2.99	3.01
Ortalama	2.75	3.06	3.11	3.12
Standart Sapma	0.19	0.20	0.17	0.16



Şekil 5.77. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların zamana tek eksenli basma dayanım değeri değişimi

Çizelge 5. 48. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ısı iletim katsayı değerleri (W/m.K)

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	0.189	0.186	0.186	0.186
2	0.199	0.199	0.191	0.188
3	0.189	0.176	0.189	0.183
4	0.190	0.175	0.190	0.170
5	0.188	0.175	0.184	0.175
6	0.197	0.174	0.183	0.184
7	0.180	0.177	0.180	0.180
8	0.173	0.197	0.165	0.173
9	0.187	0.190	0.171	0.179
10	0.196	0.199	0.175	0.164
Ortalama	0.189	0.185	0.181	0.178
Standart Sapma	0.008	0.011	0.009	0.008



Şekil 5.78. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük ortalama ses geçiş kaybı değerlerinin grafiksel gösterimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 668.30 ± 15.16 , 652.60 ± 17.03 , 642.50 ± 14.65 ve 642.10 ± 11.40 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.75 ± 0.19 , 3.06 ± 0.20 , 3.11 ± 0.17 ve 3.12 ± 0.16 MPa olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.189 ± 0.008 , 0.185 ± 0.011 , 0.181 ± 0.009 ve 0.178 ± 0.008 W/m.K olarak bulunmuştur. Şekil 5.78'de görüldüğü üzere üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu çalışmalar neticesinde, Nevşehir asidik pomzasından üretilen bimsblokların yapı sektöründe kullanımının zamanla arttırılmasının gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

5.5.8. Bimsblok Kalite Faktörü Analizi

Pomzadan mamül bir çok bimsblok ürünleri farklı kullanım amaçları için geliştirilebilmektedir. Bu ürünlerin, kalite açısından optimizasyonunun sağlanması önemli bir husus olmaktadır. Ancak, TSE standartlarında bu tarz detay bilgileri içermediği için genelde ürünlerin kalite faktörlerinin tanımlanması ve değerlendirilmesinde uygulamada problemlerle karşılaşmaktadır. Bu tarz problemlere ışık tutmak amacıyla ürünlerin şekil, boyut ve dayanım gibi parametrelerine bağlı olarak kalite faktörü tanımlanarak değerlendirilebilmektedir.

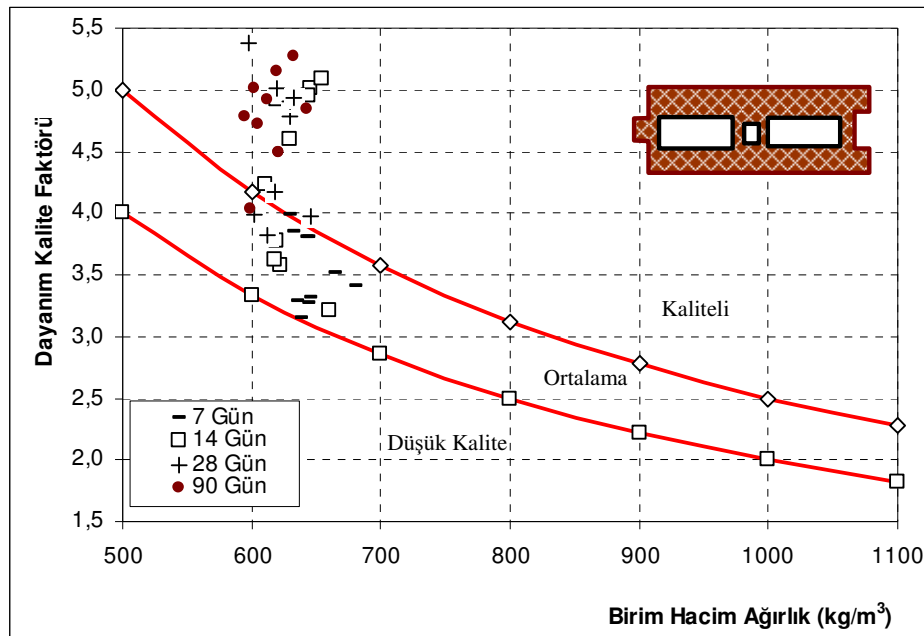
Ürünlerin değerlendirmesinde ele alınan diğer bir inceleme ise, Bimsbloğun geometrisi ve üretim prosesinin rantabil olmasına bağlı, dayanım açısından kalite katsayısının belirlenmesi olmaktadır. Bu incelemede kullanılan bilimsel ve pratik yaklaşım ise, Bimsbloğun basınç dayanım değerinin, bloğun en büyük birim hacim ağırlığa oranı olarak bulunan parametrik değer, Bimsbloğun dayanım kalite faktörü (f_{σ}) olarak tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşıma göre, TSE 2823 standardında belirtilen normlardaki bimsblokların dayanım kalite faktörleri, Bimsbloğun minimum basınç dayanım değeri ile, en büyük birim hacim ağırlıkları değerleri kullanılarak, standart dayanım kalite faktörleri belirlenmiş ve elde edilen veriler

- Bir sıra üç boşluklu bimsbloklar için Çizelge 5.49, Şekil 5.79'de,
- İki sıra altı boşluklu bimsbloklar için Çizelge 5.50, Şekil 5.80'de
- Üç sıra dokuz boşluklu bimsbloklar için Çizelge 5.51, Şekil 5.81'de
- Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsbloklar için Çizelge 5.52, Şekil 5.82'de verilmiştir.

Çizelge 5.49. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	3.41	3.57	5.54	4.49
2	3.51	4.60	4.79	4.73
3	3.31	5.01	5.38	5.15
4	3.80	4.95	3.99	4.84
5	3.28	4.92	4.17	4.79
6	3.80	4.24	3.82	5.02
7	3.15	5.08	4.90	5.27
8	3.29	3.62	5.02	4.92
9	3.85	3.77	4.93	4.49
10	3.98	3.21	3.97	4.04

Çizelge 5.48’de verilen bimsblok ürünlerine ait dayanım kalite faktörleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmenin grafiği Şekil 5.79’de verilmiştir.

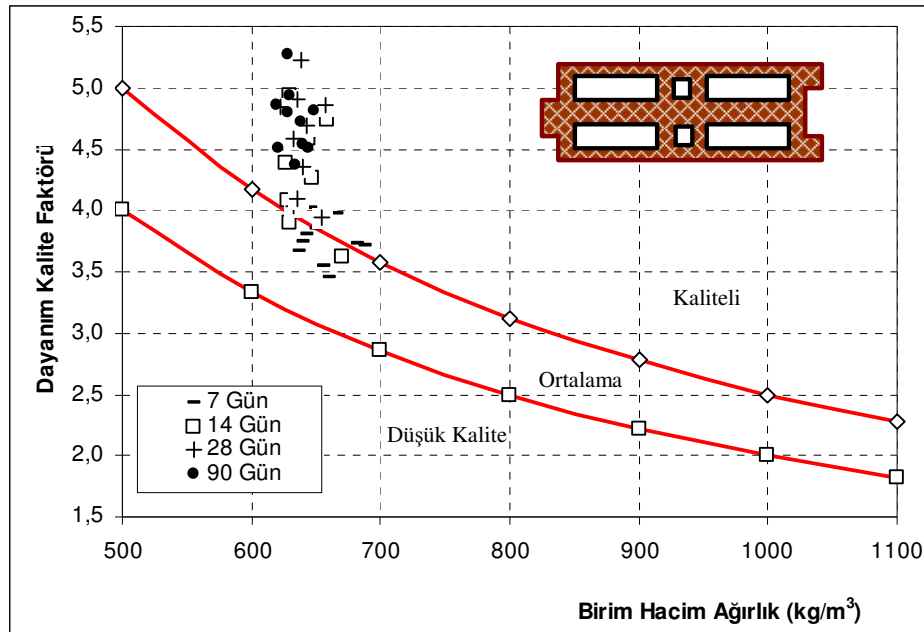


Şekil 5.79. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların kalite analizi

Çizelge 5.50. İki sıra altı boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	3.72	4.56	5.22	4.51
2	3.75	3.90	4.90	4.50
3	3.55	4.73	4.84	4.79
4	3.45	4.08	4.03	4.37
5	3.71	4.63	3.94	4.93
6	3.67	4.39	4.09	4.72
7	3.98	4.58	4.58	4.81
8	4.02	4.93	4.69	5.27
9	3.85	4.27	4.86	4.53
10	3.80	3.62	4.36	4.86

Çizelge 5.49’da verilen bimsblok ürünlerine ait dayanım kalite faktörleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmenin grafiği Şekil 5.80’de verilmiştir.

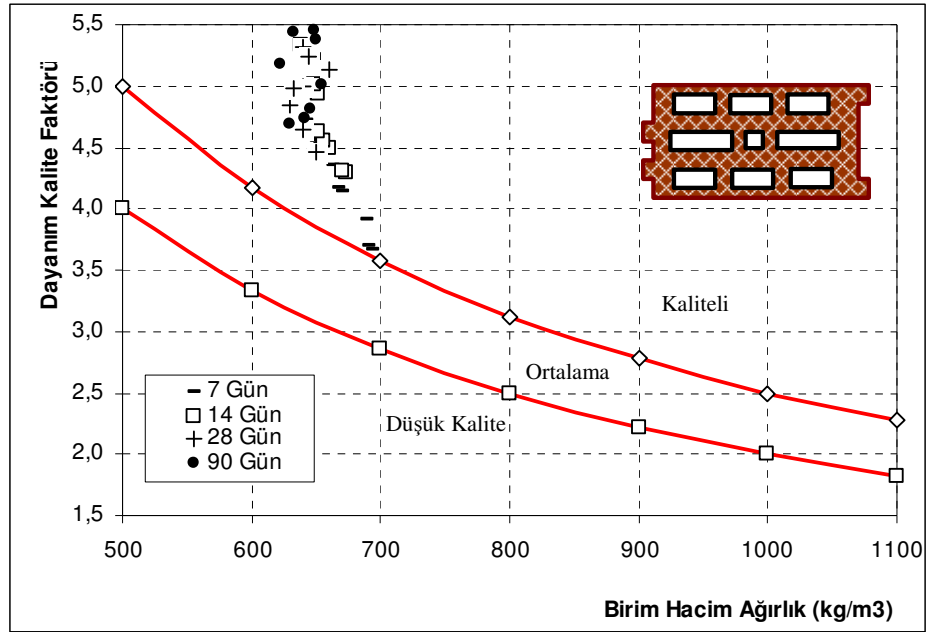


Şekil 5.80. İki sıra altı boşluklu bimsblokların kalite analizi

Çizelge 5.51. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	3.67	4.29	5.31	5.18
2	3.70	4.31	5.00	5.45
3	3.91	4.48	4.84	4.81
4	4.13	4.56	5.56	4.70
5	4.17	4.63	4.46	5.63
6	4.36	4.93	4.64	4.74
7	4.52	5.01	5.75	5.38
8	4.55	5.21	5.23	5.43
9	4.65	5.34	5.14	5.01
10	4.73	5.67	4.98	5.54

Çizelge 5.50’de verilen bimsblok ürünlerine ait dayanım kalite faktörleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmenin grafiği Şekil 5.81’de verilmiştir.

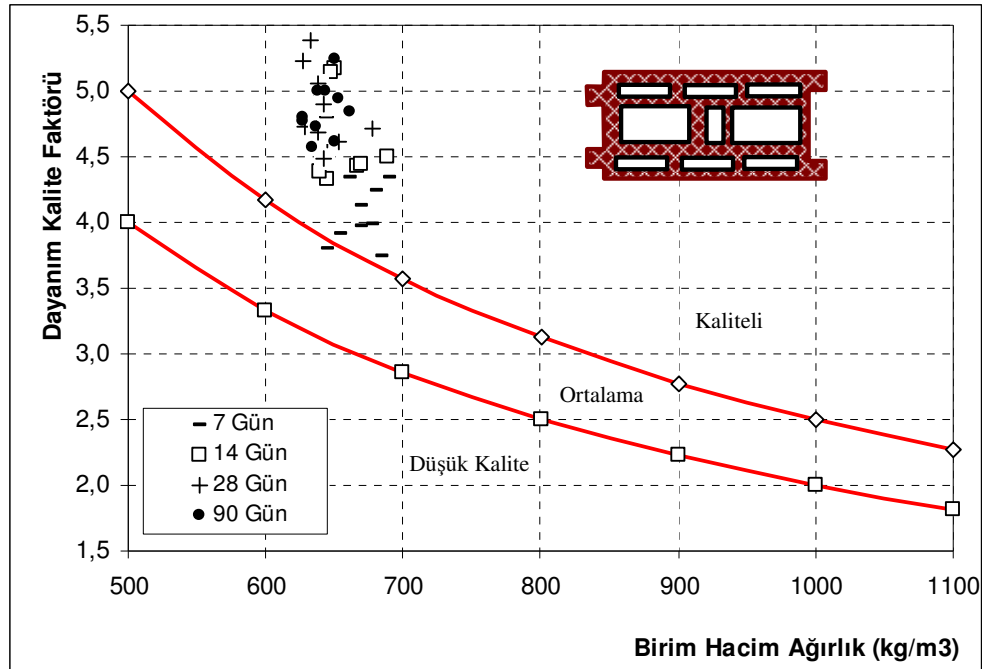


Şekil 5.81. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların kalite analizi

Çizelge 5.52. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonundaki kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün
1	3.72	4.56	5.22	4.51
2	3.75	3.90	4.90	4.50
3	3.55	4.73	4.84	4.79
4	3.45	4.08	4.03	4.37
5	3.71	4.63	3.94	4.93
6	3.67	4.39	4.09	4.72
7	3.98	4.58	4.58	4.81
8	4.02	4.93	4.69	5.27
9	3.85	4.27	4.86	4.53
10	3.80	3.62	4.36	4.86

Çizelge 5.51’de verilen bimsblok ürünlerine ait dayanım kalite faktörleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmenin grafiği Şekil 5.82’de verilmiştir.



Şekil 5.82. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların kalite analizi

Kalite faktörü analizleri neticesinde Nevşehir asidik pomzasından üretilen bimsblokların üretilen Bir sıra üç boşluklu 7 ve 14 günlük numuneler hariç hepsi analizlerin **Kaliteli** kısmında yer almıştır. Endüstriyel alanda ortalama kısmında yer alan briket, tuğla gibi yapı malzemelerin aranılan bir malzeme olarak çokça satıldığı ülkemizde Kaliteli kısımda yer alan yüksek miktarda ısı ve ses yalıtımı sunan Nevşehir pomzasından mamul bimsblokların tanıtılıp kullanılması gerekmektedir.

5.5.9. Duvar Analizi

Yapılan tez çalışması sonunda Nevşehir asidik pomzasından elde edilen beton ve bimsblokların gerek ekonomikliğini gerekse ürünün kalitesini belirlemek amacıyla sektörde kullanılan diğer ürünlerle karşılaştırması ve maliyet analizleri yapılmıştır.

İnşaat sektöründe sıklıkla kullanılan klasik tuğla, sandviç şekliklinde briket tuğla, Gazbeton ve Bimsbloğun maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma tamamen olağan şartlar altında ve inşaat sektöründe çalışan insanlar tarafından test edilerek hazırlanmıştır.

Bu analizde kullanılan tuğla, sandviç tuğla, Gazbeton ve bimsblokların Mersin ili çevresinde temin edilmeye çalışılmış ve 10.08.2006 tarihindeki ortalama veriler kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada <http://www.ponzablok.com.tr> adlı sitenin 2001 yılında yapmış olduğu verilerde baz alınarak çalışmanın belli kısımlarına eklenmiştir.

Analizlerde kullanılan tuğlalar Tarsus ve Yenice bölgelerinden alınarak ortalama fiyat ve nakliyat değerleri yazılmış, gazbetonlar ise sadece Gaziantep’de üretildiğinden Gaziantep’den Mersine geliş fiyatı ve nakliye değerleri yazılmıştır. Yapılan çalışmada Bimsblokların değeri ise Osmaniye Organize sanayi Bölgesinde üretim yapan ARDEMİR adlı firmanın Mersin fiyatları belirlenerek işlenmiştir.

Elde edilen veriler Çizelge 5.53 detaylı olarak yazılar maliyet analiz değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.53. Tuğla, Sandviç tuğla, gazbeton ve Bimsbloklardan oluşan duvar bloklarının karşılaştırmalı maliyet analizleri

Duvar Bloklarının Genel Özellikleri	Birimler	Tuğla Duvar (19 cm)	Sandviç Tuğla Duvar (19cm)	Gazbeton Duvar (19 cm düz)	Bimsblok Duvar (3S 9B 19cm)
Isı Yalıtım Değeri	W/mK	0.43 - 0.65	0.43 - 0.65	0.15 - 0.20	0.15 - 0.21
Ses yalıtım değeri	dB	20-24	20-25	25-35	30-45
1 m ² Duvarın Ağırlığı	Kg/m ²	260	271	152	154
Malzeme m ² Maliyeti	YTL/m ²	3.05	4.2	20.70	8.20
m ² Nakliye Maliyeti	YTL/m ²	0.58	0.55	0.95	0.60
Duvar Harcı m ² Maliyeti	YTL/m ²	2.00	2.50	1.30	1.30
Fire	YTL/m ²	0.18	0.23	0.41	0.23
Duvar Örüm İşçiliği	YTL/m ²	2.00	3.00	3.00	2.00
Dış Sıva Maliyeti	YTL/m ²	2.10	2.10	1.10	1.10
Dış Sıva İşçiliği	YTL/m ²	2.00	2.00	2.00	2.00
İç Sıva Alçı	YTL/m ²	4.00	4.00	2.00	2.00
İç Sıva Saten Alçı	YTL/m ²	0.10	0.10	0.10	0.10
İç Sıva İşçiliği	YTL/m ²	2.00	2.00	2.00	2.00
TOPLAM	YTL/m²	18.01	20.68	33.56	19.53
Tuğlaya Göre Fark	YTL/m²	-	% 12.9	% 46.3	% 7.8

(*Yukarıdaki tablodaki karşılaştırmalı değerler, 10.08.2006 tarih ve Mersin İli için analiz edilmiştir)

Yapılan tez çalışmasında da görüldüğü üzere gerek fiziksel ve mekanik özelliklerin yüksek oluşu gerekse ısı ve ses yalıtım değerlerinin diğer yapı malzemelerine karşı daha üstün özellikler göstermiştir. Yapı ve inşaat sektörü için oldukça uygun bir malzeme olan bimsbloğun bilinen klasik tuğladan sadece % 7.8 oranında daha yüksek maliyet sunmuştur.

Her bakımdan üstün özelliklere sahip bu ürünün inşaat sektöründe hızla kullanılması gerekmektedir.

Diğer bir çalışmada 1m² lik bir yüzey alanında kullanılan farklı tip, şekil ve türdeki tuğla örneklerinin ağırlık olarak oluşturdukları yüklerin analizi yapılmıştır (Çizelge 5.54).

Çizelge 5.54. Duvar Blokların Ağırlık Analizi

Duvar Blokları Değerleri	Tuğla	Sandiviç Tuğla	Gazbeton	Bimsblok
Ebatlar (mm)	19*19*13.5	19*19*8.5	25*60*20	40*19*19
1 m ² ye giden adet	36	50	6.66	12
Birim Ağırlık (kg)	3	2	12	5.8
1 m ² Ağırlık (kg)	108	100	79.92	69.60
Tuğlaya Göre Fark	-	-% 7.4	-% 26.0	-% 35.5

Çizelge 5.54’de de görüldüğü üzere Bimsblok örnekleri normal tuğlaya nazaran % 35.55 daha hafif bir ağırlık sunmaktadır.

Son yıllarda inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine, beton duvarlarının hafif olması ve zemine gelecek yüklerin azalması gibi nedenlerle verilen önem hızla artmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalar neticesinde büyük deprem riski taşıyan ülkemizde yüksek dayanım, ısı ve ses yalıtım özelliklerindeki mükemmel yakın mühendislik verileri düşünüldüğünde Nevşehir bölgesinde üretilen bimsblokların kullanılması ülkemiz adına kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda bimsblokların özelliklerini genel ifadelerle özetlenecek olursa,

Nevşehir asidik pomzalarının kullanılması ile hazırlanan bimsblok örnekleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, bölgede çıkarılan asidik pomzanın yüksek dayanım, düşük yoğunluk, ısı ve ses izolasyon değerlerinde oldukça iyi sonuçlar göstermesinden dolayı Nevşehir asidik pomzasının bimsblok yapımında kullanılabilirliğinin mümkün olduğu görülmüştür. Bimsblokların % 35,55 lik bir değerde binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az yük uygulayacağından bu bimsbloklardan yapılan binaların depreme karşı daha dayanıklı olacağı tahmin edilmektedir. Bunun önemi de son yıllarda ülkemizde gerçekleşen depremlerin ardından daha iyi anlaşılmaktadır. Ayrıca pomzadan üretilen bimsblokların kullanılması ile yapılan binalarda ısı ve ses izolasyonu olarak diğer tuğla ve briketlere nazaran daha iyi bir yalıtım sağladığından ısıtma ve soğutma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Bu da başta enerji tasarrufu sağlaması ve çevre kirliliğini azaltması sebebiyle yurdumuza milyonlarca dolarlık tasarruf sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan doktora tez çalışmasında, Hammadde olarak Nevşehir Bölgesi asidik pomzaları ve Osmaniye Toprakkale Bölgesi bazik pomzaları seçilmiştir.

Bu pomzaların genel jeolojik özellikleri belirlenerek rezerv analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde Nevşehir asidik pomzasının 110 Milyon ton, Toprakkale bazik pomzasının 60 milyon tonluk bir rezerve sahip olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra ince kesitleri alınarak petrografik ve mineralojik analizleri incelenmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Analizlerin sonucunda, asidik pomza yapısında çok sayıda yuvarlak ve dairesel şekilli gözenekler bulunmaktadır. Bu gözeneklerin ebatları çok farklılık göstermektedir. Kimi gözenekler gözle görülebilecek boyutta iken kimileri mikron seviyesinde olduğu görülmektedir. Asidik pomzanın en belirgin karakteristik özelliği gözeneklerin birbirlerinden bağımsız boyut, tip ve şekilde olduğudur. Ayrıca bu gözenekler camsı bir zarla korunmakta olup diğer gözeneklerle bağlantısız durumdadır.

Bazik pomzaların mineralojik analizleri sonucunda, pomza yapısında belli oranlarda alüminyum ve demir oluşumları görülmektedir. Bu metaller pomzanın renk homojenliğini ve matriks yapısını bozmaktadır. Toprakkale bazik pomzasının gözenekler arasındaki kalınlık miktarının değişiminin pomza mukavemeti ile ilişkili olduğu gözlemlenmektedir. Kalınlık miktarının fazla oluşu dayanımı arttırmakta fakat gözenek miktarındaki azalma ile diğer fiziksel özellikler azalmaktadır.

Yapılan kimyasal analizler neticesinde, Nevşehir asidik pomzasında ortalama olarak % 71.12 SiO₂, % 16.30 Al₂O₃, %1.72 Fe₂O₃ ve diğer bileşimler bulunurken Toprakkale bazik pomza numunelerinde ise % 45.94 SiO₂, % 19.95 Al₂O₃, %7.52 Fe₂O₃, % 13.32 CaO ve diğer kimyasal bileşim değerleri bulunmuştur.

Pomza agregalarının fiziksel analizlerinin yapılabilmesi için elek analizine tabi tutulmuş ve < 0.5, 0.5 – 1.0, 1.0 – 2.0, 2.0 – 4.0, 4.0 – 8.0, 8.0 – 16.0, > 16 cm olmak üzere 7 sınıfa ayrılmıştır. Elek analizlerinden sonra pomza numunelerinin birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda Nevşehir asidik pomzasının 7 sınıfa ayrılan elek granülometrisine göre birim hacim ağırlığının 311.45 ile 683.81 kg/m³ arasında değiştiği, Toprakkale bazik pomzasının, 660.38 ile 1317.11 kg/m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Nevşehir asidik pomzasının 7 sınıfa ayrılan elek granülometrisine göre su emme değerleri % 51.75 ile % 17.30 arasında değiştiği, Toprakkale bazik pomzasının ise % 31.70 ile % 6.01 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Yapılan gerçek porozite deneylerinin sonucundan Nevşehir asidik pomzasının gerçek porozite değerleri, %85.41 ile %67.97 arasında değiştiği, Toprakkale bazik pomzasının ise % 73.37 ile %46.89 arasında olduğu belirlenmiştir.

Kompasite deneylerinin sonucunda, Nevşehir asidik pomzası % 14.59 ile % 32.03 arasında değişmekte iken Toprakkale bazik pomzasında % 26.63 ile % 53.11 arasında olduğu belirlenmiştir.

Pomza agregalarının fiziksel özellikleri belirlendikten sonra hafif betona uygunluk deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde agregaların, elek analizleri, ince madde oranı tayini, organik madde içeriği, ince madde oranı, ve kızdırma kaybı analizi gibi betona uygunluk deneyleri yapılmıştır.

TS 1114'e göre yapılan tane boyut elek analizlerinin neticesinde, granülometrik eğrileri verilen, Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale Bazik pomzasının hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılmasında hiçbir sakınca görülmediği tespit edilmiştir.

Beton hammadde olarak kullanılacak pomza agregalarının organik madde içeriğinin varlığı konusunda deneyler yapılmış ve TS 3673'de belirtilen deney kriterlerine göre yapılan deneylerin sonucunda Nevşehir asidik pomzası ile Toprakkale bazik pomzasında organik madde oluşumuna rastlanılmamıştır.

Pomza agregalarının ince malzeme miktarlarını belirlenmiştir yapılan deneyler sonucunda Nevşehir asidik pomzasının ortalama ince malzeme miktarı % 2.86, Toprakkale bazik pomzasının ortalama ince malzeme miktarı % 2.24 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerlerin sonucunda her iki hammaddenin de hafif beton agregası olarak kullanılabilmesi için ince malzeme oranı değerleri açısından bir

sakınca görülmediği ve hafif beton eldesi için oldukça uygun hammaddeler olduğu belirlenmiştir.

Yapılan kızdırma kaybı analizlerinde elde edilen sonuçlara göre, Nevşehir asidik pomzasının kızdırma kaybı % 2.727 olarak bulunmuş ve Nevşehir Asidik pomzasının bileşim olarak 800°C civarında bozunmaya başladığı görülmüştür.

Toprakkale bazik pomzasının kızdırma kaybı % 3.029 olarak bulunmuş ve bazik pomzasının bileşim olarak 970 °C civarında bozunmaya başladığı tespit edilmiştir. Kızdırma kaybı deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar TS 1114'e göre incelendiğinde kızdırma kütle kaybının % 5'den daha az olduğu için hafif beton yapımında agrega hammaddesi olarak rahatlıkla kullanılabileceği belirlenmiştir

Hammadde olarak beton üretiminde uygunluğu belirlenen bu pomzaların beton üretimi için en uygun karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

Beton yapımı için kullanılan malzeme miktarı elek aralıklarına göre belirlenmiş ve deneme karışımlarından ilki olan Karışım 1 (K1) agrega, su ve çimento karışımı hazırlanmıştır. K1 karışımının fiziksel ve mekanik deneyleri yapıldıktan sonra ortaya çıkan sonuçlara göre mühendislik özelliklerinin daha iyi olabileceği karışım oranları ve hesaplamaları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmaların ardından Karışım 2 (K2) ve Karışım 3 (K3) deneme karışımları hazırlanmıştır.

Beton karışım hesaplarında izlenilen yol hem Nevşehir asidik pomza agregaları için hem de Toprakkale Bazik pomzaları için aynı şart ve ekipmanlarla olmuştur. Yapılan karışım miktarları farklı isimlerde adlandırılmıştır. Nevşehir asidik pomzasından yapılan karışımlara NK1, NK2 ve NK3 adı verilmiş, Toprakkale bazik pomzası için ise TK1, TK2 ve TK3 adı verilmiştir.

NK1 adlı karışımında su miktarı su/çimento oranı standartlarının biraz üzerinde kullanılmıştır. Su miktarının NK1'de yüksek olması Nevşehir asidik pomzasının su emme kapasitesinin oldukça yüksek olması ve pomza olarak fazla boşluklar içermesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Daha sonraki yapılan karışımlarda B16 sınıfına göre alınan agrega miktarlarında yüzde bazlı azalma meydana getirilmiş ve su miktarları makul seviyeye çekilmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde

hangi karışımın daha uygun olduğu belirlenen mühendislik parametreleriyle açıklanmaya çalışılmıştır.

Toprakkale bazik pomzasındaki karışım hesaplarında ise su çimento oranı sırasıyla 0.6, 0.5 ve 0.45 oranlarına uygun olarak beton kalıpları dökülmüş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Nevşehir asidik ve Toprakkale bazik pomzalarından hazırlanarak yapılan beton örnekleri zamana bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanması için grafikleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında üretilen farklı karışım miktarlarına sahip beton örnekleri üzerine,

- Yaş ve kuru birim hacim ağırlık deneyi,
- Tek eksenli basma dayanımı deneyi,
- Çekme dayanımı deneyi,
- Sonik hız deneyi ve
- Isı ve ses yalıtım değerleri,

Tüm deneyler, Nevşehir asidik pomzası karışımları (NK1, NK2 ve NK3) ile Toprakkale bazik pomzası karışımları (TK1, TK2 ve TK3) için 7, 14, 28, 90 günlük zaman dilimlerinde aynı şart ve ekipmanlarla yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda Nevşehir asidik pomzasından üretilen beton numunelerinin 1, 7, 14, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde ortalama birim hacim ağırlıklar,

- 1 günlük, NK-1, 1802.9, NK-2, 1512.0 ve NK-3, 1410.1 kg/m³,
- 7 günlük, NK-1, 1650.3, NK-2, 1400.9 ve NK-3, 1326.5 kg/m³,
- 14 günlük, NK-1, 1525.7, NK-2, 1309.7 ve NK-3, 1264.4 kg/m³,
- 28 günlük, NK-1, 1437.5, NK-2, 1241.8 ve NK-3, 1215.2 kg/m³,
- 90 günlük, NK-1, 1403.5, NK-2, 1215.3 ve NK-3, 1198.3 kg/m³ olduğu belirlenmiştir.

Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton numunelerinin ortalama birim hacim ağırlık değerleri,

- 1 günlük, TK-1, 1786.9, TK-2, 1928.8 ve TK-3, 1902.7 kg/m³,
- 7 günlük, TK-1, 1695.3, TK-2, 1845.0 ve TK-3, 1813.9 kg/m³
- 14 günlük, TK-1, 1655.4, TK-2, 1805.9 ve TK-3, 1787.1 kg/m³,

- 28 günlük, TK-1, 1630.3, TK-2, 1785.9 ve TK-3, 1770.9 kg/m³,
- 90 günlük, TK-1, 1618.9, TK-2, 1777.4 ve TK-3, 1765.9 kg/m³ olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda 7, 14, 28 ve 90 günlük Nevşehir asidik pomzasından üretilen beton numunelerinin tek eksenli basma dayanım değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde zamana bağlı ortalama dayanımlar,

- 7 günlük, NK-1, 5.87, NK-2, 6.90 ve NK-3, 5.23 MPa,
- 14 günlük, NK-1 9.28, NK-2, 10.75 ve NK-3, 8.58 MPa,
- 28 günlük, NK-1 13.32, NK-2, 14.02 ve NK-3, 12.05 MPa,
- 90 günlük, NK-1, 13.86, NK-2 14.47 ve NK-3, 12.87 MPa olarak bulunmuştur.

Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton numunelerinin ortalama tek eksenli basma dayanım değerleri,

- 7 günlük, TK-1, 12.41, TK-2, 19.37 ve TK-3, 23.39 MPa,
- 14 günlük, TK-1, 25.19, TK-2, 27.70 ve TK-3, 31.10 MPa,
- 28 günlük, TK-1, 28.55, TK-2, 31.04 ve TK-3, 34.77 MPa,
- 90 günlük, TK-1, 31.05, TK-2, 31.88 ve TK-3, 34.91 MPa olarak bulunmuştur.

7, 14, 28 ve 90 günlük Nevşehir asidik pomzasından üretilen beton numunelerinin çekme dayanım değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde zamana bağlı ortalama çekme dayanım değerleri,

- 7 günlük, NK-1, 0.98, NK-2, 1.35 ve NK-3, 0.71 MPa,
- 14 günlük, NK-1 2.22, NK-2, 2.52 ve NK-3, 1.92 MPa,
- 28 günlük, NK-1 3.22, NK-2, 3.40 ve NK-3, 2.90 MPa,
- 90 günlük, NK-1, 3.42, NK-2, 3.61 ve NK-3, 3.12 MPa olarak bulunmuştur.

Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton numunelerinin ortalama çekme dayanım değerleri,

- 7 günlük, TK-1, 2.04, TK-2, 2.97 ve TK-3, 4.16 MPa,
- 14 günlük, TK-1, 4.89, TK-2, 5.56 ve TK-3, 6.13 MPa,
- 28 günlük, TK-1, 6.13, TK-2, 7.01 ve TK-3, 7.65 MPa,

- 90 günlük, TK-1, 7.02, TK-2, 7.35 ve TK-3, 8.01 MPa olarak bulunmuştur.

7, 14, 28 ve 90 günlük Nevşehir asidik pomzasından üretilen beton numunelerinin sonik hız değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde zamana bağlı ortalama sonik hız değerleri,

- 7 günlük, NK-1, 2.46, NK-2, 2.54 ve NK-3, 2.42 km/s,
- 14 günlük, NK-1 2.67, NK-2, 2.74 ve NK-3, 2.60 km/s,
- 28 günlük, NK-1 2.80, NK-2, 2.84 ve NK-3, 2.73 km/s,
- 90 günlük, NK-1, 2.84, NK-2, 2.88 ve NK-3, 2.77 km/s olarak bulunmuştur.

Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton numunelerinin ortalama sonik hız değerleri,

- 7 günlük, TK-1, 3.63, TK-2, 3.82 ve TK-3, 3.91 km/s,
- 14 günlük, TK-1, 3.93, TK-2, 4.01 ve TK-3, 4.08 km/s,
- 28 günlük, TK-1, 4.08, TK-2, 4.10 ve TK-3, 4.16 km/s,
- 90 günlük, TK-1, 4.15, TK-2, 4.18 ve TK-3, 4.20 km/s olarak bulunmuştur.

7, 14, 28 ve 90 günlük Nevşehir asidik pomzasından üretilen beton numunelerinin ısı iletim katsayı değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde zamana bağlı ortalama ısı iletim katsayı değerleri,

- 7 günlük, NK-1, 0.65, NK-2, 0.61 ve NK-3, 0.68 kcal/m[°]Ch,
- 14 günlük, NK-1 0.43, NK-2, 0.39 ve NK-3, 0.45 kcal/m[°]Ch,
- 28 günlük, NK-1 0.37, NK-2, 0.34 ve NK-3, 0.39 kcal/m[°]Ch,
- 90 günlük, NK-1, 0.34, NK-2, 0.31 ve NK-3, 0.35 kcal/m[°]Ch olarak bulunmuştur.

Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton numunelerinin ortalama ısı iletim katsayı değerleri

- 7 günlük, TK-1, 0.47, TK-2, 0.45 ve TK-3, 0.42 kcal/m[°]Ch,
- 14 günlük, TK-1, 0.34, TK-2, 0.33 ve TK-3, 0.30 kcal/m[°]Ch,
- 28 günlük, TK-1, 0.30, TK-2, 0.28 ve TK-3, 0.27 kcal/m[°]Ch,

- 90 günlük, TK-1, 0.27, TK-2, 0.25 ve TK-3, 0.25 kcal/m²Ch olarak bulunmuştur.

Beton numunelerin laboratuvar ortamında oluşturulan ses izolasyonu laboratuvarında denemeleri yapılarak 11 farklı frekansta ölçümü yapılan ortalama ses geçiş kaybı değerleri belirlenmiştir.

Beton örnekleri üzerine ses yalıtımlarının hesaplanabilmesi için 100, 200, 400, 500, 750, 800, 1000, 1250, 1500 ve 2000 Hz'lik sinus ses dalgalarına karşılık numunelerde oluşan Ortalama Geçiş kaybı dB cinsinden belirlenerek grafikleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada deneyler esnasında denemeleri yapılan beton kalıp numunelerin kalınlığı 10 cm olarak sabit tutulmuştur. Beton kalıp olarak dökülen numunelerin ilk önce 7 günlük ses geçiş kaybı belirlenmiştir. Daha sonra bu numuneler zamana bağlı olarak bekletilerek 14, 28 ve 90 günlük ortalama geçiş kayıpları belirlenerek standartlarda verilen Standart Frekans eğrisi ile karşılaştırması yapılmıştır.

Hazır beton örneklerinde yapılan ortalama ses geçiş kaybı değerleri incelendiğinde oldukça olumlu sonuçlar alındığı elde edilen grafiklerden görülmüştür.

Toprakkale bazik pomzasından üretilen beton örneklerinin ses yalıtımını Nevşehir asidik pomzasına göre daha fazla sağladığı görülmüştür. Bazı frekanslarda ortalama ses geçiş kaybı değerleri standart eğrinin altında olduğu görülmüştür. Fakat bu beton örneklerinin inşaat esnasında kullanıldığında, bu beton kütlelerin üzerine iç ve dış olmak üzere en az 2 şer santim sıva uygulanacaktır. Ayrıca sıvadan sonra iç ve dış kesimlere boya uygulanacağı düşünüldüğünde ses yalıtım değerlerinin hem Nevşehir pomzası hem de Toprakkale pomzası için oldukça uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Beton olarak üretimi yapılan ve oldukça olumlu mühendislik değerleri sunan pomza örneklerinin yapı ve inşaat sektöründe sıklıkla kullanılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Hazır beton uygunluk deneylerinden sonra bimsblok üretiminde birim hacim ağırlık değerinin düşük olmasından ötürü Nevşehir asidik pomzasının uygun olduğu

belirlenerek deneme yanılma yöntemiyle en uygun bimsblok karışım oranı belirlenmiştir.

Daha sonra bimsblok üretimi için 4 farklı tip, boyut, şekil ve ağırlıkta bimsblok tasarımı yapılmış ve bunların seri üretimine geçilmiştir. Tasarımı yapılan bimsbloğun normal tuğla, briket ve bimsbloklara karşı olana avantajlarını aşağıda verilmiştir,

- Tasarlanan bimsblok kilitli geçme sistemine sahip olmaktadır. Ön tarafta kilit ucu arka tarafta da harç cebinin olması duvar örülmesi kolay hale getirmekte ve kilitlerini birbirlerine geçmesi ile daha dayanımlı duvarların oluşmasına imkan kılmaktadır.

- Bimsbloktaki boşluk sayısı 2 adet değil, 2 adet geniş 1 adet de ortada küçük bir boşluk olmak üzere 3 adet olarak tasarlanmıştır. Bu özellik bimsbloğa yüksek dayanım ve küçük ortada bir boşluk olmasından ötürü ısı ve ses yalıtımda yüksek değerler sunmaktadır.

- Normal bimsbloklarda yükseklik 185 mm, boy 390 mm olarak öngörülmüşken, tasarlanan bimsblokta yükseklik 190 mm, boy 400 mm dir. Bu özellik sayesinde sayısal olarak küsuratlı değerler arz etmediğinden duvarlarda bimsblok kırma yada bölme işlemleri olmadan uygun bir şekilde döşenmesi sağlanmaktadır.

Bimsblokların yüksek dayanım vermesi, bimsblok yapısında bulunan hammaddelerin karışım oranlarına, şekil ve boyutuna, tasarımına bağlı olduğu belirlenmiştir. Tüm bu özelliklerin bulunmasına rağmen üretim esnasında kalıbı iyi bir şekilde presleyip sıkıştırma işlemleri gerçekleşmezse bimsblokların dayanım değerlerinin %40 varan oranlarda azaldığı görülmüştür. Bu amaçla yine deneme yanılma yöntemi ile bimsblokların pres vasıtası ile sıkıştırılması esnasında 8 barlık bir basınç değerinin en optimum sıkışma değeri sağladığı gözlenmiştir. Daha sonraki, seri üretim esnasında 8 barlık bir basınç değeri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında dört farklı şekil ve boyutta bimsblok üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen bimsblokların boyutları,

- 100x400x190 mm (bir sıra üç boşluklu bimsblok),
- 150x400x190 mm (iki sıra altı boşluklu bimsblok),

- 200x400x190 mm (üç sıra dokuz boşluklu bimsblok)
- 250x400x190 mm (üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblok) olarak tasarlanmıştır. Bimsbloklar 4 farklı tip ve boyutta oldukları için ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

İnşaat sektöründe özellikle bina içlerindeki duvarlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan *bir sıra üç boşluklu bimsbloklar*, 100x400x190 (genişlik, boy, yükseklik) mm boyutlarında üretimi yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen bir sıra üç boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 645.80 ± 15.19 , 632.50 ± 17.17 , 620.60 ± 14.33 ve 614.90 ± 15.26 kg/m³ olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler incelendiğinde zamana bağlı olarak bimsblokların birim hacimlerinde bir azalma meydana geldiği 28 günden sonraki azalma miktarının ise çok fazla olmadığı optimum birim hacim ağırlığa 28. gününde ulaştığı görülmüştür. Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen bir sıra üç boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.28 ± 0.18 , 2.72 ± 0.47 , 2.89 ± 0.38 ve 2.94 ± 0.25 MPa olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen bir sıra üç boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.181 ± 0.012 , 0.176 ± 0.014 , 0.174 ± 0.007 ve 0.172 ± 0.007 W/m.K olarak bulunmuştur. Bir sıra üç boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle bina iç ve dış duvar kaplamalarında, orta ölçekli fabrika ve yurtlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan *iki sıra altı boşluklu bimsbloklar* 150x400x190 mm boyutlarında üretimi yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen iki sıra altı boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 656.60 ± 17.58 , 641.20 ± 14.83 , 639.20 ± 10.61 ve 630.00 ± 9.76 kg/m³ olarak bulunmuştur. Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen iki sıra altı boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.46 ± 0.12 , 2.80 ± 0.25 , 2.91 ± 0.27 ve 2.99 ± 0.16 MPa olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen iki sıra altı boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.181 ± 0.009 , 0.175 ± 0.013 , 0.170 ± 0.018 ve 0.167 ± 0.010 W/m.K olarak bulunmuştur. İki sıra altı boşluklu

bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle otellerde, büyük iş ve alışveriş merkezlerinde, yüksek ısı ve ses konforunun arandığı yerlerde kullanılan *üç sıra dokuz boşluklu* bimsblok 200x190x400mm'lik boyutları esas alınarak üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 666.90 ± 18.83 , 652.50 ± 13.77 , 641.00 ± 8.72 ve 638.70 ± 10.95 kg/m³ olarak bulunmuştur. Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.82 ± 0.18 , 3.16 ± 0.24 , 3.26 ± 0.25 ve 3.31 ± 0.22 MPa olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.190 ± 0.006 , 0.184 ± 0.01 , 0.175 ± 0.011 ve 0.173 ± 0.009 W/m.K olarak bulunmuştur. Üç sıra dokuz boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

Yapı ve inşaat sektöründe dış cephe kaplamacılığında, yüksek ısı ve ses konforu isteyen iş merkezlerinde kullanılan *üç sıra dokuz geniş boşluklu* bimsblok 250x190x400 mm'lik boyut esas alınarak üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 668.30 ± 15.16 , 652.60 ± 17.03 , 642.50 ± 14.65 ve 642.10 ± 11.40 kg/m³ olarak bulunmuştur. Ayrıca, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 2.75 ± 0.19 , 3.06 ± 0.20 , 3.11 ± 0.17 ve 3.12 ± 0.16 MPa olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların ısı iletim katsayıları değerleride, 0.189 ± 0.008 , 0.185 ± 0.011 , 0.181 ± 0.009 ve 0.178 ± 0.008 W/m.K olarak bulunmuştur. Üç sıra dokuz geniş boşluklu bimsblokların ses yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu çalışmalar neticesinde Nevşehir asidik pomzasından mamul bimsblokların yapı sektöründe kullanımının zamanla arttırılması gerekmektedir.

Bimsblokların fiziksel özellikleri belirlendikten sonra kalite faktörü analizleri yapılmıştır. Dört farklı bimsbloğun kalite faktörü analizleri neticesinde Nevşehir asidik pomzasından üretilen bimsblokların üretilen Bir sıra üç boşluklu 7 ve 14 günlük numuneler hariç tüm bimsblok numuneleri 7, 14, 28 ve 90 günlük ürünler için analizlerin **Kaliteli** kısmında yer almıştır. Endüstriyel alanda ortalama kısmında yer alan briket, tuğla gibi yapı malzemelerin aranılan bir malzeme olarak çokça satıldığı ülkemizde Kaliteli kısımda yer alan yüksek miktarda ısı ve ses yalıtımı sunan Nevşehir pomzasından mamul bimsblokların tanıtılıp kullanılması gerekmektedir.

Üretilen Bimsblokların endüstriyel alanda sıkça kullanılmakta olan klasik tuğla, sandviç şekliklinde briket tuğla, Gazbeton ve Bimsbloğun maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma tamamen olağan şartlar altında ve inşaat sektöründe çalışan insanlar tarafından test edilerek hazırlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar neticesinde, bimsblokların gerek fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından diğer ürünlerden oldukça iyi mühendislik özelliği gösterdiği anlaşılmıştır. Yapı ve inşaat sektörü için oldukça uygun bir malzeme olan bimsbloğun bilinen klasik tuğladan sadece % 7.8 oranında daha yüksek maliyet sunmuştur. Her bakımdan üstün özelliklere sahip bu ürünün inşaat sektöründe hızla kullanılması gerekmektedir.

Diğer bir çalışmada 1m² lik bir yüzey alanında kullanılan farklı tip, şekil ve türdeki tuğla örneklerinin ağırlık olarak oluşturdıkları yüklerin analizi yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde bimsblok örnekleri normal tuğlaya nazaran % 35.55 daha hafif bir ağırlık sunduğu görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar neticesinde pomza örneklerinin daha fazla kullanılması amacıyla bazı öneriler bulunmaktadır.

Araştırması yapılan pomza rezervlerinin, gelecek 100 yıl içerisinde artan trende rağmen inşaat sektörüne yeteceği görülmüştür. Görünür rezervlere, sondaj çalışmaları yapılarak daha fazla miktarda rezervlerin eklenmesi gerekmektedir.

Asidik ve bazik pomzaların hammadde olarak yapılan analizlerinin neticesinde bu malzemelerin yapı ve inşaat sektöründe çok rahatlıkla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde oldukça iyi sonuçlar alınan beton mukavemet değerleri elde edilmiştir. Günümüzde beton agregası olarak kullanılan kırmataşların yanı sıra pomzadan üretilen hafif beton, yapı ve inşasına olanak sağlanmalıdır.

Asidik ve bazik pomzaların gözenekli doğal yapısı ve hazır betona uygunluk deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar neticesinde, 8 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan “Binalarda Isı Yönetmeliği” ve 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren revize edilerek yürürlüğe giren “TS 825 Isı Yalıtım Standardı”, nda yer alan ısısal konforun sağlanma, prensip ve uygulama kriterlerine çok uygun olduğu, ısısal konforun arandığı her yerde rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür. Bu sonuçla ısı ve ses konforu aranan tüm yapı sektöründe pomzaların kullanılması gerekmektedir.

Asidik pomza kullanılarak yapılan hafif betonlar binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az ölü yük uygulayacağından depreme karşı daha dayanıklı olacaktır.

Pomzadan üretilen bimsblokların binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az yük uygulayacağından bu bloklardan yapılan binaların depreme karşı daha dayanıklı olacağı hesaplanmaktadır. Bunun önemi de son yıllarda ülkemizde gerçekleşen depremlerin ardından daha iyi anlaşılmaktadır. Ayrıca pomzadan üretilen bimsblokların kullanılması ile yapılan binalarda ısı ve ses izolasyonu olarak diğer tuğla ve briketlere nazaran daha iyi bir yalıtım sağladığından ısıtma ve soğutma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Bu da başta enerji tasarrufu sağlaması ve çevre kirliliğini azaltması sebebiyle yurdumuza milyonlarca dolarlık tasarruf sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AÇIKGÖZ, F., ÖZ, M., 1980. Nevşehir Ürgüp, Kaymaklı Çevrelerinin Pomza Prospeksiyon Raporu, MTA, Ankara.
- AKÇAÖZOĞLU, K., 2001. Yüksek Dayanımlı Beton Karışım Dizaynı. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Adana.
- ALTEN, S., 1986. Audio in Media, Wardsworth Pub. 18-175p.
- ANIL, M., 1995. Mersin-Adana-Gaziantep ve Hatay Bölgelerindeki Mermerlerin Petrografik Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi (Münferit), Ç.Ü. Arş. Fonu . MMF-95-1. Adana.
- ASTM-C 127-42, Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates.
- ASTM C 128-57, Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates.
- ATIŞ, C.D., AKÇAÖZOĞLU, K., ÖZCAN, F., 2000. Su - Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, S.91-98.
- ATIŞ, C.D., 2000. Beton Katkı Malzemeleri, Ders Notu (yayımlanmamış). Çukurova Üniv. MMF. Adana.
- BAŞYİĞİT, C., 1993. Yüksek Oranda Yüksek Kalsiyumlu Uçucu Kül Katılmasının Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, S.D.Ü. Isparta.
- BATUM, İ., 1978. Nevşehir'in Güneybatısındaki Güllüdağ, Acıgöl Yöresi Volkanitlerinin Jeoloji Ve Petrografisi, Yer Bilimleri, C:4, no:1, 2, 50-69.
- BİLGİN, A.Z., ERCAN, T., 1981. Ceyhan-Osmaniye Yöresindeki Kuvaterner Bazaltlarının Jeolojisi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülten., 42/1, 21-30.
- CENGİZKAN, K., ERSOY, U., 1999. Betonarmede Bims Kullanımı, İnşaat Müh. Odası, İzmir Şubesi Yayın No: 31, İzmir.
- COOK, E.F., 1966. Tufflavas and Ignimbrites, American Elsevier Publishing Company, New York, USA.
- DAĞSÖZ, A.K., 1976. Isı İzolasyonu, İTÜ Yayınları, Sayı, 1069, İstanbul
- DOYURAN, V., 1980. Erzin-Dört Yol Ovalarının Hidrojeolojisi ve Yer Altı Suyu İşletme Çalışmaları, ODTÜ Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Doçentlik Tezi,

- 885 s. (Yayınlanmamış).
- ERDOĞAN, M., 1986. Nevşehir-Ürgüp Yöresi Tüflerinin Malzeme Jeolojisi Açısından Araştırılması. Doktora Tezi, İ.T.Ü. (Yayınlanmamış)
- ERDOĞAN, M., 1997. Nevşehir-Ürgüp dolayısı sünger taşı yatakları ve özellikleri, 1. Isparta Pomza Sempz. 213-218.
- ERDOĞAN, T.Y., 1995. Agregalar, Türkiye Hazır Betonlar Birliği, 162s, İstanbul.
- ERDOĞAN, T.Y., 1995. Çimentolar, Türkiye Hazır Betonlar Birliği, 120s, İstanbul.
- ERDOĞAN, T.Y., 1995. Karışım ve Bakım Suları, Türkiye Hazır Betonlar Birliği, 67s, İstanbul.
- ERDOĞAN, T.Y., 1997. Admixtures for Concrete. Middle East Technical University, ISBN 975-429-113-6, 188s. Ankara.
- ERDOĞAN, Y., YAŞAR, E., 2005. Nevşehir Pomzasından Üretilen Briketlerin Isı ve Ses İletkenlikleri Açısından Değerlendirilmesi, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kong. ve Fuarı IMCET2005, TMMOB Maden M. O., İzmir.
- ERGÜL, R.R., 1998. Ses, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir, 1-64s.
- ERSOY, U., 1985. Betonarme. Evrim Yayınevi, Cilt:1, 643 s, İstanbul.
- EVEREST, F.A., 1994. The Master Handbook of Acoustics, Tab Boks Imprint of McGraw Hill. Inc, 67-230p, New York.
- GÜNDÜZ, L., 2001. Gözenekli ve Hafif Doğal Kayaçlardan Elde Edilen Blok Malzemelerin Kaya Mekaniği Açısından İrdelenmesi, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi, Ankara.
- GÜNDÜZ, L., 2001. Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Müh. Odası İzmir Şubesi, S 59-68, İzmir.
- GÜNDÜZ, L., SARIŞIK, A., DAVRAZ, M., UĞUR, İ., ÇANKIRAN, O., 1998a. Pomza Teknolojisi Cilt I (a), SDÜ Yayını, Isparta.
- GÜNDÜZ, L., SARIŞIK, A., DAVRAZ, M., UĞUR, İ., ÇANKIRAN, O., 1998b. Pomza Teknolojisi Cilt II (b), SDÜ Yayını, Isparta.
- GÜNER, M.S., SÜMER, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi, 333s, Erzurum.
- HUNTINGTON, W.C., 1963. Building Construction, John Wiley & Sons, Inc. USA.

- KAKAÇ, S., 1998. Örneklerle Isı Transferi, Tıp & Teknik Yayınları, 358s, Ankara.
- KANCA, A.C., 1980. Yapılarda Isı Yalıtımı, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Sıra No: 649, Seri No:57/1, Ankara.
- KETİN, İ., 1963. 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Kayseri Paftası, MTA Yayınlarından.
- KNUDSEN, V.O., HARRIS, C.M., 1988. Acoustical Designing in Architecture, 41-350p, Acoustical Society of America.
- MERRITT, F.D., RICKETTS, J.T., 1994. Building Design and Construction Handbook, Mc Graw Hill, New York.
- MOORE, J.E., 1978. Design for Good Acoustic and Noise Control, Macmillan Pres Ltd, 55-135p, London.
- NEVILLE, A.M., 1995. Properties of Concrete. Longman Group Limited. UK.
- NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J., 1993. Concrete Tekhnology, Longman Scientific and Technical, USA
- OZKUL, H., TAŞDEMİR, M.A., TOKYAY, M., UYAN, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Betonlar Birliği, 119s, İstanbul.
- ÖZDEMİR, Ö., 1991. Vakumlu Beton. Türkiye İnşaat Müh. XI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s 137-148, İstanbul.
- ÖZER, M., 1979. Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı, İstanbul, 15-90s.
- ÖZKAN, Ş.G., TUNCER, G., 2001. Pomza Madenciliğine Genel bir Bakış, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Müh. Odası İzmir Şubesi, s 200-207, İzmir.
- PELEN, N., İŞLER, F., 1996. Deli Halil ve Yöresi (Ceyhan) Kuvaterner Bazaltlarının Petrografik ve Hidrojeolojik Özellikleri, Ç.Ü. M.M.F. Dergisi, C:11, S:1, 221-232 s.
- POPOVICS, S., 1992. Concrete Materials Properties Specifications and Testing. Noyes Publications, ISBN 0-8155-1308-9, USA.
- POSTACIOĞLU, B., 1986. Beton. Matbaa Teknisyenleri Bsm. C:1, 171s, İstanbul.
- POSTACIOĞLU, B., 1986. Beton. Matbaa Teknisyenleri Bsm. C:2, 404s, İstanbul.
- SURI, R.L., 1966. Acoustics, Acoustical Society of America, 68-182p, New York.
- ŞİMŞEK, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

- TS 1114 EN 13055-1, 2004. Hafif Agregalar – Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette kullanım için, Ankara
- TS 12350-2, 2002. Beton, Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi
- TS 12350-4, 2002. Beton, Taze Beton Deneyleri- Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik derecesi
- TS 130, 1978. Agregalar Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot. TSE, Ankara.
- TS 1477 EN ISO 266, 2000. Akustik- Tercih Edilen Frekanslar, TSE, Ankara.
- TS 2381, 1976. Konutlarda Ses Yalıtımı Değerlendirmesi, 5s.
- TS 2382, 1976. Havada Oluşan Ses ve Darbe Geçişlerinin Laboratuvar ve Binalarda Ölçülmesi, 6s.
- TS 2511, 1977. Taşıyıcı Hafif Beton Karışım Hesap Esasları, 10s.
- TS 3114 ISO 4012, 1998. Beton Basınç Mukavemet Tayini, TSE. Ankara.
- TS 3234, 1978. Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları, TSE, Ankara
- TS 3289 EN 1354, 1996. Gözenekli Beton, Hafif Agregalı Basınç Mukavemeti Tayini, TSE, Ankara.
- TS 3526, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Ankara.
- TS 406, 1988. Beton bloklar, “Briketler-Duvarlar için”, 17s, Ankara.
- TS 4694, 1981. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Oranı Tayini Metodu, TSE, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- TS 5929 ISO 1920, 1999. Beton Deneyleri, Boyutlar, Toleranslar ve Deney Numunelerinin Uygunluğu.
- TS 699, 1987. Muayene ve Deney Metotları.
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, Ankara, Türkiye.
- TS 825, 1998. Binalarda ısı yalıtım kuralları, 81s, Ankara.
- TS EN 771 - 3, 2005. Bimsbetondan Mamul Yapı Elemanları, TSE, Ankara
- TS EN 1744-1, 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz
- UĞUR, İ., 2001. Doğal Yapı ve Kaplama Taşlarının Ses Akustiği ve Kayaç

Parametreleri İle İlişkisinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, Isparta.

UZ, B., KUZU, C., YILDIRIM, H., 1997. İmraniye - Hamatepe (Erzin-Hatay) Civarındaki Bazaltik Pomzaların Petrografik ve Teknolojik Etüdü, 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 153-161 S. Isparta.

www.kalitekontrol.org

www.mta.gov.tr

www.ponzablok.com.tr

YAŞAR, E., ERDOĞAN, Y., 2001. Toprakkale Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri, 4. Endüstriyel Hammaddeler Semp. İzmir.

YAŞAR, E., ERDOĞAN, Y., 2005. Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2005, TMMOB Müh. M. Odası, İzmir.

YAŞAR, E., ERDOĞAN, Y., KILIÇ, A., 2004. Effect of Limestone Aggregate Type and Water – Cement Ratio on Concrete Strength, Materials Letters, Volume 58, Issue 5, Pages 772-777.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Artvin'in Borçka ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Borçka'da tamamladı. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1997 yılında bu bölümden mezun olarak Maden Mühendisi unvanını kazandı. 22 Aralık 1997 yılında Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora eğitime başladı. 12 Aralık 2006 tarihinde MTA Ankara Genel müdürlüğüne atandı. İngilizce, Fransızca ve Gürcü dillerini bilen Yasin ERDOĞAN evli ve bir çocuk babasıdır.