

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Kamuran ARI

**DOLGULU DUVAR BLOKLARI İMALİ VE
ISI İLETİM KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLGULU DUVAR BLOKLARI İMALİ VE
ISI İLETİM KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Kamuran ARI

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez / / 2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza:.....İmza:.....İmza:.....

Yrd.Doç.Dr. Ali H.TANRIKULU Prof. Dr. Mustafa TOKYAY Prof. Dr.Tefaruk HAKTANIR
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

İmza:.....

Prof. Dr. Cengiz D. ATİŞ
ÜYE

İmza:.....

Doç. Dr. Alaettin KILIÇ
ÜYE

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve DPT Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF2006D7 ve DPT-05-03 Devlet Planlama Teşkilatı

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.

**Öncelikle Sevgili eşim, oğlum, ailemin tüm fertlerine
ve gerçek dostlara...**

ÖZ

DOKTORA TEZİ

DOLGULU DUVAR BLOKLARI İMALİ VE ISI İLETİM KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Kamuran ARI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Hamza TANRIKULU
Yıl : 2009, **Sayfa:** 245
Jüri : Yrd.Doç. Dr. Hamza TANRIKULU
Prof. Dr. Mustafa TOKYAY
Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR
Prof. Dr. Cengiz D.ATİŞ
Doç. Dr. Alaettin KILIÇ

Dünyada enerji kaynakları günden güne azalırken, bir yandan alternatif enerji kaynakları araştırılmakta, bir yandan da mevcut enerji kaynaklarını kullanırken tasarrufa gidilmeye çalışılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde yapılarda enerji tasarrufu için yalıtıma büyük önem verilmekte ve yalıtımla ilgili yeni yönetmelik ve standartlar sürekli geliştirilmektedir. Yapılarda yalıtım ve tasarruf için seçilen malzemelerin önemi büyüktür. Yapılarda yaygınlıkla kullanılan bimsbetondan imal edilen duvar bloklarının muhtelif desenlerde boşluklu kısımları bulunmaktadır. Bu çalışmada, TSE belgesine sahip, bimsbetondan mamul duvar bloğu üreten bir firmadan temin edilen, D=100, 150 ve 200 mm kalınlıklarında ve farklı boşluk konfigürasyonlarında bimsbeton duvar blokları kullanılmıştır. İlk aşamada, orijinal haldeki referans numunelerin brüt birim ağırlığı, basınç mukavemeti ve ısı iletkenlik özellikleri ilgili standartlara uygun deneylerle belirlenmiştir. İkinci aşamada, duvar bloklarının boşlukları, alçı ile karılan perlit ve diyatomit harcı ile doldurularak, numunelerin özellikleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, 20, 30 ve 40 kg/m³ diyatomit dozlu ve 20, 25 ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkı bimsbeton ile üretilen duvar bloklarının aynı özellikleri belirlenmiştir. Böylece, diyatomit ve perlit, boşluklarına doldurularak ve ayrıca üretim harcına bir agrega gibi ilave ederek, bimsbetondan mamul duvar bloklarının ısı iletkenliği daha düşük bir yapı malzemesi haline dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Referanslar da dahil olmak üzere üretilen bütün numunelerle 500x500xD mm boyutlarında bloklar örülerek ısı iletim katsayıları, ilgili standartlara uygun bir sıcak plaka düzeneği ile deneysel olarak ölçülmüş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ANSYS paket programı kullanılarak, duvar blokları sonlu elemanlar metoduyla modellenmiş ve kararlı haldeki ısı geçiş özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, perlit dolgu blokların ısı iletkenlik katsayısında, referans bloklarinkine göre yaklaşık %25, diyatomit dolgu bloklarinkinde ise yaklaşık %20 düşüş (iyileşme) görülmüştür. Katkılı numunelerde ise, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik özelliği açısından en iyi sonuçları 25 kg/m³ perlit katkı numuneler ve bunlara yakın olarak 30 kg/m³ diyatomit katkı numuneler göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Enerji tasarrufu, bimsbeton, ısı geçirgenlik katsayısı, diyatomit, perlit

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

PRODUCTION OF WALL BRICKS WITH INFILLS AND COMPARISON OF THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENTS

Kamuran ARI

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

Supervisor : Asis.Prof.Dr. Hamza TANRIKULU
Year : 2009, **Page** : 245
Jüri : Asist. Prof. Dr. Hamza TANRIKULU
Prof. Dr. Mustafa TOKYAY
Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR
Prof. Dr. Cengiz D.ATİŞ
Assoc. Prof. Dr. Alaettin KILIÇ

Because of depletion and the resultant decrease of global energy resources, along with the ongoing arduous search for alternative energy sources, a sincere effort is also being put worldwide for frugal and economical usage of the existing energy sources. In developed countries great care is given for thermal insulation of dwelling structures, which is mainly related to the materials used, and the relevant standards and regulations are continuously being updated. Wall brick units are the widely used materials for the outer walls. These wall bricks, which are commonly produced using the light-weight pumice aggregates, have hollow parts of various patterns. In this study, wall bricks of thicknesses of $D = 100, 150, 200$ mm, having various hole configurations produced by commercial firms, whose plants are certified by the Turkish Standards Institute, are used. In the first phase of the study, the gross unit weight, compressive strength, and thermal conductivity peculiarities of the reference specimens are determined by experiments in compliance with the relevant standards. In the second phase, the same peculiarities of the modified specimens, whose hollow parts are filled separately by perlite and diatomite mortars mixed using plaster of Paris, are determined. In the third phase, the same peculiarities of other specimens, which are produced by adding perlite to the concrete as an aggregate at three different dosages of $20, 25, 30 \text{ kg/m}^3$, and separately adding diatomite to the concrete as an aggregate at three different dosages of $20, 30, 40 \text{ kg/m}^3$, are determined. Wall elements of dimensions of $500 \times 500 \times D$ mm are formed using all these wall bricks including the original reference units and using ordinary masonry plaster, and their thermal conductivity coefficients are experimentally measured by a hot-plate set-up which is in compliance with the relevant standards and the values are compared. Next, using the package program ANSYS, these wall elements are modeled by the finite-element method and the heat transfer peculiarities at the steady state are analyzed. In conclusion, along with an average drop (improvement) of 25% in thermal conductivity coefficient with the wall bricks whose hollow parts are filled by perlite and of 20% with those bricks whose hollow parts are filled by diatomite is observed. With the other bricks produced by either perlite or diatomite added directly to the concrete, the best result is obtained with perlite used at a dosage of 25 kg/m^3 and closely with diatomite at a dosage of 30 kg/m^3 .

Keywords: Energy Resources, pumice, thermal conductivity, diatomite, perlite.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda beni yönlendiren ve yardımlarıyla bana destek olan danışman hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Hamza TANRIKULU ve yardımcı danışmanım Prof.Dr. Tefaruk HAKTANIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana çalışmalarımnda yardım eden Sayın Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ'e, modelleme aşamasında bilgilerini esirgemeyen Yrd.Doç. Dr. Recep GÜNEŞ'e, yanımda olan ve beni destekleyen Doç.Dr. Fatih ALTUN, Yrd.Doç.Dr. Okan KARAHAN'a, Arş.Gör.Dr. Murat ÇOBANER'e, deneyler aşamasında emek harcayan yüksek lisans öğrencileri İnş.Müh. Recep MOR, İnş.Müh. Hakan ÖZTÜRK ve İnş.Müh. Ömer ÇANAKÇIOĞLU'na teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince bana destek olan eşime, ARI ve EMRE ailesinin tüm fertlerine ve gerçek dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışmanın Önemi	2
1.3. Materyalin Durumu, Çalışma Yeri ve Cihazlar	4
1.4. Çalışma Programı.....	5
2. MALZEMELER ve ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
2.1. Malzemelerle İlgili Tanımlar	6
2.1.1. Pomza (Bims) Tanımı, Çeşitleri ve Özellikleri.....	7
2.1.1.1. Pomzanın Oluşumu.....	9
2.1.1.2. Pomza Kullanım Alanları.....	11
2.1.1.3. Pomza ve TSE Standartları	18
2.1.2. Diyatomitin Tanımı ve Özellikleri.....	23
2.1.3. Perlitin Tanımı ve Özellikleri	29
2.1.3.1. Perlitin Üretim Yöntemi ve Teknolojisi	35
2.1.3.2. Perlitin Tüketim Alanları	36
2.2. Hafif Beton Tanımı ve Özellikleri	41
2.2.1. Hafif Betonların Kullanım Yerine Göre Sınıflandırılması	45
2.2.2. Hafif Betonların Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılması.....	45
2.2.3. Hafif Betonların İmalat Yöntemine Göre Sınıflandırılması.....	46
2.3. Bimsbetondan Mamul Yapı Elemanları ve Özellikleri.....	48
2.3.1. Birim Ağırlık.....	50
2.3.2. Mukavemet Değerleri.....	50
2.3.3. Rötire	50
2.3.4. Sıva Tutma Özelliği	51

2.3.5. Isıya Karşı İzolasyon Değerleri	51
2.3.6. Nemlenme ve Buhar Difüzyonu.....	51
2.3.7. Isı Depo Etme Yeteneği	52
2.3.8. Ses İzolasyonu.....	52
2.3.9. Yangına Karşı Dayanım	52
2.3.10. Yapı Biyolojisi Açısından Bimsblok.....	52
2.4. Bimsblok Kullanımının Avantajları.....	53
2.5. Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri	55
2.5.1. Isı İletkenlik Katsayısı.....	57
2.5.2. Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı	57
2.5.3. Yangın Sınıfı	58
2.5.4. Toksisite	58
2.5.5. Korozyon Riski	58
2.6. Termodinamik, Kararlı Halde Isı İletkenlik Katsayısının ve İlgili Özelliklerin Tayini, TS ISO 8302 ve Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı.....	59
2.6.1. Termodinamik Değişkenler.....	59
2.6.2. Termodinamik Yasaları.....	60
2.6.2.1. Sıfırıncı Yasa.....	60
2.6.2.2. Birinci Yasa.....	60
2.6.2.3. İkinci Yasa.....	60
2.6.2.4. Üçüncü Yasa	61
2.6.3. Isı Transfer Mekanizmaları.....	61
2.6.3.1. Isı İletimi (Kondüksiyon).....	62
2.6.3.2. Isı Taşınımı (Konveksiyon).....	64
2.6.3.3. Isı Işınımı (Radyasyon)	64
2.6.4. TS ISO 8302 ve Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı	65
2.7. Bimsbetondan Mamul Duvar Bloklarının Isı İletkenlik Hesap Değerleri.....	84
2.8. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM – Finite Element Method).....	85
2.8.1. İşlem öncesi.....	86
2.8.2. Çözüm (Solution).....	87

2.8.3. Çözüm Sonrası İşlemler	88
3.1. Materyal	90
3.1.1. Diatomit Malzemesinin Temini	90
3.1.1.1. Diatomit Numunelerinin Öğütülmesi.....	92
3.1.1.2. Elek Analizi.....	92
3.1.2. Perlit Malzemesinin Temini.....	94
3.1.2.1. Perlit ve Diatomit Malzemesinin Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri	96
3.1.3. Çimento Temini ve Kullanımı	97
3.1.4. Su Temini.....	97
3.1.5. Kireç Temini	98
3.1.6. Hafif Agrega Temini ve Deneyleri.....	98
3.1.6.1. Agrega Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı.....	98
3.1.6.2. Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı	99
3.1.6.3. Agregada İnce Madde Oranı Analizi	99
3.1.6.4. Agrega Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlıkları.....	102
3.2. Metod	107
3.2.1. Duvar Bloğu Numunelerinin Üretimi ve Deneyler İçin Hazırlanması... 107	
3.2.2. Duvar Bloklarının Boşluklarının Diatomit Harcıyla Doldurulması.....	113
3.2.3. Duvar Bloklarının Boşluklarının Perlit Harcıyla Doldurulması	114
3.2.4. Birim Hacim Ağırlık Tayini.....	116
3.2.5. Duvar Bloklarının Basınç Dayanımının Belirlenmesi	117
3.2.6. Duvar Bloklarının Dayanım Kalite Faktörü Analizi.....	118
3.2.7. Duvar Bloklarının 500x500 mm Boyutlarında Örülmesi	119
3.2.8. Isı İletim Katsayısı Değeri Tayini	125
3.2.9. Duvar Bloklarının Sonlu Elemanlar Metoduyla Modelleme	131
3.2.9.1. Boşluklu Duvar Bloklarının Modellenmesi	131
3.2.9.2. Dolgulu Duvar Bloklarının Modellenmesi	137
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	143
4.1. Kontrol D.B. Kalınlığa Göre Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	143

4.2. Diyatomit Dolgulu D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	149
4.3. Perlit Dolgulu D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	155
4.4. 20 kg Diyatomit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	161
4.5. 30 kg Diyatomit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	167
4.6. 40 kg Diyatomit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	173
4.7. 20 kg Perlit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	179
4.8. 25 kg Perlit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	185
4.9. 30 kg Perlit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	191
4.10. Duvar Bloklarının D. Kalite Faktörleri Bakımından Değerlendirilmesi.	197
4.11. Duvar Bloklarının Isı İletim Katsayıları Bakımından Değerlendirilmesi	199
4.12. Dolgulu D. Bloklarının Dolgu Malzemesine Göre Değerlendirilmesi ...	200
4.13 Dolgulu Duvar Bloklarının Kalınlıklarına Göre Değerlendirilmesi	201
4.14. (1-DB)-Katkılı Duvar Bloklarının Değerlendirilmesi.....	202
4.15. (2-DB)-Katkılı Duvar Bloklarının Değerlendirilmesi.....	203
4.16. (3-DB)-Katkılı Duvar Bloklarının Değerlendirilmesi.....	204
4.17. Sonlu Elemanlar Metodunun Sonuçları ve Karşılaştırılmalı Analiz.....	205
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	214
5.1. Sonuçlar	214
5.1.1. Birim Ağırlıklar İle İlgili Sonuçlar	214
5.1.2. Basınç Dayanımı İle İlgili Sonuçlar	216
5.1.3. Isı İletim Katsayısı İle İlgili Sonuçlar	217
5.1.4. Sonlu elemanlar Metodu İle İlgili Sonuçlar	219
5.1.5. Genel Sonuçlar.....	219
5.2. Öneriler	221
KAYNAKLAR.....	223
ÖZGEÇMİŞ	231

ÇİZELGELER

SAYFA

Çizelge 2.1. Asidik ve Bazik Pomzaların Kimyasal Bileşimi.....	8
Çizelge 2.2. Bazı Ülkelerin Rezervleri Ve Üretimleri	18
Çizelge 2.3. Pomza ve Ürünleri İle İlgili Türk Standartları	22
Çizelge 2.4. Perlitin Fiziksel Özellikleri.....	31
Çizelge 2.5. Perlitin Kimyasal Birleşimi.....	32
Çizelge 2.6. İçerisinde Ham ve Genleştirilmiş Perlit Geçen TSE Standartları	40
Çizelge 2.7. Hafif Agregalı Taşıyıcı Betonların Sınır Değerleri.....	47
Çizelge 2.8. Yapılarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri ve Standartlar	56
Çizelge 2.9. Bazı Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayıları	57
Çizelge 2.10. Isı Transfer Katsayısının Değerleri	64
Çizelge 2.11. Birim Hacim Ağırlık İle Isı İletkenlik Hesap Değeri	84
Çizelge 3.1. Hırka Köyü Diatomitin Özellikleri	91
Çizelge 3.2. Değirmende Öğütülen Diatomitin Ort. Dane Boyutu Dağılımları	94
Çizelge 3.3. Perlitin Kimyasal Birleşimi.....	95
Çizelge 3.4. Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	97
Çizelge 3.5. Karışık Agregalı Granülometrisi ve TS 706 Sınırları (TS 706, 1980).....	99
Çizelge 3.6. Agregalardaki İnce Madde Oranı Sınırları (TS 1114 EN 13055-1).....	101
Çizelge 3.7. Hafif Agregalardaki İnce Madde Oranları	101
Çizelge 3.8. İnce ve İri Hafif Agreganın Gevşek Birim Ağırlığı	102
Çizelge 3.9. İnce ve İri Hafif Agreganın Sıkışık Birim Ağırlığı	102
Çizelge 3.10. Deney programında kullanılacak numune kodları	103
Çizelge 3.11. Üretilen Duvar Bloklarının Karışım Oranları (130 kg/m ³ Çimento). 104	
Çizelge 3.12. Kullanılan Duvar Bloklarının Özellikleri	105
Çizelge 3.13. Dayanım Kalite Faktörleri.....	118
Çizelge 4.1. (1-DBK-100)-Deney Sonuçları.....	144
Çizelge 4.2. (2-DBK-150)-Deney Sonuçları.....	144
Çizelge 4.3. (3-DBK-200)-Deney Sonuçları.....	144
Çizelge 4.4. (1-DBK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	145

Çizelge 4.5. (2-DBK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	146
Çizelge 4.6. (3-DBK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	147
Çizelge 4.7. (1-DB-DD-100)-Deney Sonuçları.....	150
Çizelge 4.8. (2-DB-DD-150)-Deney Sonuçları.....	150
Çizelge 4.9. (3-DB-DD-200)- Deney Sonuçları.....	150
Çizelge 4.10. (1-DB-DD-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	151
Çizelge 4.11. (2-DB-DD-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	152
Çizelge 4.12. (3-DB-DD-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	153
Çizelge 4.13. (1-DB-PD-100)-Deney Sonuçları	156
Çizelge 4.14. (2-DB-PD-150)-Deney Sonuçları	156
Çizelge 4.15. (3-DB-PD-200)-Deney Sonuçları	156
Çizelge 4.16. (1-DB-PD-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	157
Çizelge 4.17. (2-DB-PD-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	158
Çizelge 4.18. (3-DB-PD-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	159
Çizelge 4.19. (1-DB-20DK-100)-Deney Sonuçları.....	162
Çizelge 4.20. (2-DB-20DK-150)-Deney Sonuçları.....	162
Çizelge 4.21. (3-DB-20DK-200)-Deney Sonuçları.....	162
Çizelge 4.22. (1-DB-20DK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	163
Çizelge 4.23. (2-DB-20DK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	164
Çizelge 4.24. (3-DB-20DK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	165
Çizelge 4.25. (1-DB-30DK-100)-Deney Sonuçları.....	168
Çizelge 4.26. (2-DB-30DK-150)-Deney Sonuçları.....	168
Çizelge 4.27. (3-DB-30DK-200)-Deney Sonuçları.....	168
Çizelge 4.28. (1-DB-30DK-100) Isı İletim Katsayısı Değerleri	169
Çizelge 4.29. (2-DB-30DK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	170
Çizelge 4.30. (3-DB-30DK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	171
Çizelge 4.31. (1-DB-40DK-100)-Deney Sonuçları.....	174
Çizelge 4.32. (2-DB-40DK-150)-Deney Sonuçları.....	174
Çizelge 4.33. (3-DB-40DK-200)-Deney Sonuçları.....	174
Çizelge 4.34. (1-DB-40DK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	175

Çizelge 4.35. (2-DB-40DK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	176
Çizelge 4.36. (3-DB-40DK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri	177
Çizelge 4.37. (1-DB-20PK-100)-Deney Sonuçları	180
Çizelge 4.38. (2-DB-20PK-150)-Deney Sonuçları	180
Çizelge 4.39. (3-DB-20PK-200)-Deney Sonuçları	180
Çizelge 4.40. (1-DB-20PK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	181
Çizelge 4.41. (2-DB-20PK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	182
Çizelge 4.42. (3-DB-20PK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	183
Çizelge 4.43. (1-DB-25PK-100)-Deney Sonuçları	186
Çizelge 4.44. (2-DB-25PK-150)-Deney Sonuçları	186
Çizelge 4.45. (3-DB-25PK-200)-Deney Sonuçları	186
Çizelge 4.46. (1-DB-25PK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	187
Çizelge 4.47. (2-DB-25PK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	188
Çizelge 4.48. (3-DB-25PK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	189
Çizelge 4.49. (1-DB-30PK-100)-Deney Sonuçları	192
Çizelge 4.50. 2-DB-30PK-150)-Deney Sonuçları.....	192
Çizelge 4.51. 3-DB-30PK-200-Deney Sonuçları	192
Çizelge 4.52. 1-DB-30PK-100-Isı İletim Katsayısı Değerleri	193
Çizelge 4.53. 2-DB-30PK-150-Isı İletim Katsayısı Değerleri	194
Çizelge 4.54. 3-DB-30PK-200-Isı İletim Katsayısı Değerleri	195
Çizelge 4.55. Duvar Bloklarının Dayanım Kalite Faktörleri	198
Çizelge 4.56. Dolgulu Duvar Bloklarının Karşılaştırılmalı Deney Sonuçları.....	200
Çizelge 4.57. Dolgulu Duvar Bloklarının Kendi İçerisindeki Deney Sonuçları	201
Çizelge 4.58. 1-DB-100 Kodlu Numunelerin Deney Sonuçları.....	202
Çizelge 4.59. 2-DB-150 Kodlu Numunelerin Deney Sonuçları.....	203
Çizelge 4.60. 3-DB-200 Kodlu Numunelerin Deney Sonuçları.....	204
Çizelge 4.61. 100'lük Numunelerin Modelleme Sonuçları	211
Çizelge 4.62. 150'lik Numunelerin Modelleme Sonuçları	212
Çizelge 4.63. 200'lük Numunelerin Modelleme Sonuçları	213

ŞEKİLLER LİSTESİ

SAYFA

Şekil 2.1. Hava İle Dolu Gözenek İçeren Amorf Yapılı Pomza	7
Şekil 2.2. Pomza Oluşum Evreleri	10
Şekil 2.3. Pomzanın Poroz Yapısının Görünümü	11
Şekil 2.4. Nevşehir Pomza Ocağı Görünümü	15
Şekil 2.5. Türkiye’deki Volkanik Malzeme Potansiyeli	16
Şekil 2.6. Türkiye’deki Pomza Yatakları Haritası	17
Şekil 2.7. Tek hücreli, Mikroskobik Algler	23
Şekil 2.8. Diyatomit Ocağı Görünümü-Hırka Köyü-Kayseri.....	24
Şekil 2.9. Ham Diyatomitin Görünümü	25
Şekil 2.10. Diyatomitin Atıksu Arıtmada Kullanılması.....	26
Şekil 2.11. Ham Perlitin Taş ve Toz Halde Görünümü	29
Şekil 2.12. Genleştirilmiş Perlitin Görünümü-(4-8 mm)	30
Şekil 2.13. Duvarlarda Blok Elemanlarda Perlit Dolgu Uygulaması.....	33
Şekil 2.14. Ham ve Genleştirilmiş Perlitin Görünümü	35
Şekil 2.15. Türkiye’nin Perlit Üretimine Yıllara Göre Dağılımı	39
Şekil 2.16. Hafif Betonun Görünümü (Betonsa, 2007).....	41
Şekil 2.17. Hafif Betonların Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramları.....	47
Şekil 2.18. Bimsbetondan Mamul Duvar Blokları.....	48
Şekil 2.19. Yapıda Bölme Duvarlarda Kullanılan Duvar Blokları	49
Şekil 2.20. Bimsbetondan Mamul Duvar Blokları Örnekleri-Isparta	53
Şekil 2.21. Atom ve Moleküllerin Titreşimi	62
Şekil 2.22. Yalıtım Malzemelerinin I.İ.K. Sıcaklıkla Değişimi	63
Şekil 2.23. Cihazın Yapım Aşamasında Kontrol Ünitesinin Testleri	66
Şekil 2.24. Cihazın Numune Yerleştirme Kasasının Ünitesinin İmalatı.....	67
Şekil 2.25. Isıtma ve Soğutma Ünitelerinin İmalat Aşaması	68
Şekil 2.26. Sıcaklık Değerlerinin 5 Ayrı Noktadan Termoçiftlerle Ölçülmesi	69
Şekil 2.27. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı Grafik Konfigürasyonu.....	70
Şekil 2.28. Cihazın Genel Görünümü	71

Şekil 2.29. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazının İş Akış Şeması	74
Şekil 2.30. Hot Box Cihazı Konfigürasyonu.....	78
Şekil 2.31. Zweig ve Ark Geliştirdiği Vakumlu I.İ.K. Ölçüm Cihazı.....	80
Şekil 2.32. Tasarlanarak İmal Edilen VGHP Cihazı.....	80
Şekil 2.33. Yalıtımlı ve Yalıtımsız Duvarda Sıcaklık Dağılımı	81
Şekil 2.34. I.İ.K. Düşük Yapı Malzemeleriyle Üretilmiş Yalıtımsız Duvar Kesiti....	82
Şekil 2.35. I.İ.K. Yüksek Yapı Malzemeleriyle Üretilmiş Yalıtımlı Duvar Kesiti	83
Şekil 2.36. TS 825, Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Katsayıları (TS 825, 2000)...	84
Şekil 3.1. Hırka diyatomit yatağı.....	90
Şekil 3.2. Diyatomit Numunelerinin Öğütülmesi.....	92
Şekil 3.3. Diyatomit Numunesi İçin Elek Analizi Deneyinin Yapılışı	93
Şekil 3.4. Perlit Malzemesinin Kaplara Doldurulması.....	95
Şekil 3.5. 500x500xD mm Boyutlarındaki Özel Duvar Blokların Ölçüleri.....	106
Şekil 3.6. Duvar Bloğu Numunelerinin Üretildiği Tesis.....	107
Şekil 3.7. Karışımın Hazırlandığı Mikser	108
Şekil 3.8. Diyatomitin Karışıma İlave Edilmesi	108
Şekil 3.9. Perlitin Karışıma İlave Edilmesi.....	109
Şekil 3.10. Numunelerin Üretildiği Vibrasyonlu Baskı Makinesi	109
Şekil 3.11. Baskı Makinesi İçerisindeki Perlit Katkılı Bims Malzemesi	110
Şekil 3.12. Duvar Bloklarının Paletten Alınması.....	111
Şekil 3.13. Duvar Bloklarının Kamaralarda Kürü.....	111
Şekil 3.14. Diyatomit Harcı Karışımının Hazırlanması	114
Şekil 3.15. Perlit Harcı Karışımının Hazırlanması.....	115
Şekil 3.16. Duvar Bloklarının Görünümü	116
Şekil 3.17. Duvar Bloklarının Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi	117
Şekil 3.18. Duvar Bloklarının Standart Dayanım Faktörleri.....	119
Şekil 3.19. Duvar Bloklarının 500x500xD mm Boyutlarına Göre Ayarlanması	120
Şekil 3.20. Duvar Bloklarının Derzlerinin Oluşturulması	121
Şekil 3.21. Duvar Bloklarının 500x500xD mm Boyutlarında Örülmesi.....	121
Şekil 3.22. Duvar Bloklarındaki Harç Tabakalarının Düzlenmesi.....	122

Şekil 3.23. Hazırlanan Bir Kısım Duvar Bloklarının Kurumaya Bırakılması.....	123
Şekil 3.24. Dolgulu Duvar Bloklarının Laboratuar Ortamında Kurutulması.....	124
Şekil 3.25. Hazırlanan Duvar Bloklarının Etüvde Kurutulması	124
Şekil 3.26. Termoçiftlerin Olduğu Folyonun Yerleştirilmesi	125
Şekil 3.27. Numunenin Soğutucu Plaka Üzerine Yerleştirilmesi	126
Şekil 3.28. Sıcak Folyonun Yerleştirilmesi.....	127
Şekil 3.29. Sıcak Plakanın Yerleştirilmesi.....	127
Şekil 3.30. Muhafaza Levhasının Yerleştirilmesi	128
Şekil 3.31. Mahfazalı Plaka Cihazının Kararlı Halinin Grafıksel Görünümü	130
Şekil 3.32. 2-DBK-150 Kodlu Yarım ve Tam Duvar Bloklarının Modeli	131
Şekil 3.33. 250x500x150 mm Boyutundaki Duvar Bloklarının Modeli.....	132
Şekil 3.34. 500x500x150 mm Boyutundaki Duvar Bloklarının Modeli.....	132
Şekil 3.35. 2-DBK-150 kodlu Modelde Hacimlerin Görünümü.....	133
Şekil 3.36. 2-DBK-150 Kodlu Modelin Meshlere Ayrılması	133
Şekil 3.37. DBK-100 Kodlu Duvar Bloklarının Modeli	134
Şekil 3.38. DBK-150 Kodlu Duvar Bloklarının Modeli	135
Şekil 3.39. DBK-200 Kodlu Duvar Bloklarının Modeli	136
Şekil 3.40. ANSYS’de Dolgulu Yarım ve Tam Duvar Bloklarının Modeli	137
Şekil 3.41. Dolgulu Duvar Bloklarının Modeli.....	137
Şekil 3.42. Dolgulu Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-1	138
Şekil 3.43. Dolgulu Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-2	138
Şekil 3.44. (1-DB-DD) Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-1	139
Şekil 3.45. (2-DB-DD) Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-2	140
Şekil 3.46. (3-DB-DD) Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması	141
Şekil 3.47. Katkılı ve Katkısız Harçların İ.İ.K. Tespiti İçin Numune Üretimi	142
Şekil 3.48. Perlit ve Diatomit Harçların İ.İ.K. Tespiti İçin Numune Üretimi	142
Şekil 4.1. (DBK)-TS 825 Madde 5.3.3’e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri	148
Şekil 4.2. (DB-DD)-TS 825 Madde 5.3.3’e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri	154
Şekil 4.3. (DB-PD)-TS 825 Madde 5.3.3’e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri.....	160
Şekil 4.4. (DB-20DK)-TS 825 Madde 5.3.3’e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri	166

Şekil 4.5. (DB-30DK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri	172
Şekil 4.6. DB-40DK-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri...	178
Şekil 4.7. (DB-20PK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri.	184
Şekil 4.8. (DB-25PK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri.	190
Şekil 4.9. (DB-30PK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri.	196
Şekil 4.10. Üretilen Numunelerin Dayanım Kalite Faktörleri	197
Şekil 4.11. Üretilen Numunelerin Dayanım Kalite Faktörleri	198
Şekil 4.12. Üretilen Numunelerin TS 825'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri ...	199
Şekil 4.13. Dolgulu D. Bloklarının I.İ.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-1...	200
Şekil 4.14. Dolgulu D. Bloklarının I.İ.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-2...	201
Şekil 4.15. Katkılı D. Bloklarının I.İ.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-1.....	202
Şekil 4.16. Katkılı D. Bloklarının I.İ.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-2	203
Şekil 4.17. Katkılı D. Bloklarının I.İ.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-3	204
Şekil 4.18. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi.....	206
Şekil 4.19. Duvar Bloklarının Bölgesel Sıcaklık Değişimi-1	207
Şekil 4.20. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi-2	208
Şekil 4.21. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi-3	209
Şekil 4.22. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi-4	210
Şekil 4.22. 100'lük Numunelerin Model Grafiği	211
Şekil 4.23. 150'lik Numunelerin Model Grafiği	212
Şekil 4.24. 200'lük Numunelerin Model Grafiği	213

SİMGELER VE KISALTMALAR

A_g	: Boşluk alanı
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
ASTM	: American Society For Testing And Materials
A_y	: Isının akış yönüne dik olan gerçek yüzey alanı (m^2)
c_p	: Plakanın özgül ısı kapasitesi
c_s	: Deney parçasının özgül ısı kapasitesi
d	: Deney parçasının ortalama kalınlığı
D	: Malzeme içinde ısının aktığı kısmın uzunluğu, malzeme kalınlığı (m)
$d_1, d_2, \dots, d_5$	: $s_1, s_2, \dots, s_5$ olarak adlandırılan deney parçasının kalınlıkları
D_i	: İzotermal yüzeyler arasındaki cismin kalınlığı
DB	: Boşluklu Duvar bloğu
DBK	: Kontrol Boşluklu Duvar bloğu
DB-DD	: Diatmoit Dolgulu Duvar bloğu
DB-PD	: Perlit Diatmoit Dolgulu Duvar bloğu
DB-DK	: Diatmoit Katkılı Duvar bloğu
DB-PK	: Perlit Katkılı Duvar bloğu
D.K.F.	: Dayanım Kalite Faktörü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
g	: Boşluk genişliği
h_t	: Birim sıcaklık farkı için ısı akış oranı yoğunluğu
I_m	: Elekten geçen agreganın yüzdesi, (%)
I.İ.K.	: Isı İletim Katsayısı
ISO	: International Organization for Standardization
k	: Hesaplanması istenen malzemenin ısı iletim katsayısı
K.Y.D.	: Kuru Yüzey Doygun
M_1	: Kurutmadan sonraki kütle
M_2	: Şartlandırmadan sonraki kütle
M_3	: Deneyden sonraki kütle

M_4	: Deneyden önceki kütle
MTA	: Maden Teknik Arama
Q	: Geçen toplam ısı miktarı,(kcal)
q	: Isı akış hızı yoğunluğu
q_e	: Isı akış hızı kenar yoğunluğu
R	: ısı direnç
r	: ısı öz direnç
R_e	: Kenar yalıtımı ısı direnci
t	: Zaman
T_1	: Deney parçasının sıcak yüzeyinin sıcaklığı
t_1	: Sıcak yüzeyin sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_2	: Deney parçasının soğuk yüzeyinin sıcaklığı
t_2	: Soğuk yüzeyin sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_a	: Ortam sıcaklığı (deney parçasının etrafındaki sıcaklık)
T_e	: Deney parçasının kenarındaki sıcaklık
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
V	: Hacim
VYP	: Vakumlu Yalıtım Panelleri
y	: Isıtma ünitesi kalınlığı
Z	: Isının akış süresi (saat)
W	: Yıkama öncesi kuru malzeme ağırlığı, (gr),
W_a	: Yıkama sonrası toplam elek üstü malzeme ağırlığını (gr)
ΔT	: Sıcaklık farkı ($T_1 - T_2$)
λ	: Isı iletkenlik katsayısı
λ_t	: Isıl öz geçirgenlik
τ	: Aktarım faktörü
Φ_e	: Kenar ısı kayıpları nedeniyle ısı akış hızı
Φ_o	: Birim sıcaklık dengesizliği başına boşluk ısı akış hızı
Φ_T	: Deney parçasındaki ısı akış hızı

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Dünyada enerji kaynakları hızla azalırken, bir yandan alternatif enerji kaynakları araştırılmakta, bir yandan da mevcut enerji kaynaklarını kullanırken tasarrufa gidilmeye çalışılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde etkin bir enerji tasarrufu için yapılarda yalıtıma büyük önem verilmekte ve yalıtımla ilgili yeni yönetmelik ve standartlar sürekli geliştirilmektedir. Bu yönetmelik ve standartlar ışığında uygulanan çeşitli ısı yalıtımı yöntemleriyle, tüketilen enerji miktarında büyük oranlarda tasarruf yapmak mümkün olabilmektedir.

Tüketilen yıllık toplam enerjinin, ortalama %41'i konutların ve yapıların ısıtılmasında, %33'ü sanayide, %20'si ulaşımda, %5'i tarımda ve %1'i diğer alanlarda kullanıldığı düşünülürse konutlarda yapılacak tasarruf büyük önem kazanmaktadır (Devlet İstatistik Enstitüsü, 2009). Yapılardaki bu tasarruf yalıtım ile sağlanabilir. Bilindiği gibi binalar, ısıtılmayan hacimlerden, dış duvarlardan, tavanlardan, zemine oturan döşemelerden, pencerelerden ısı kaybetmekte ve bu yüzden ısınma için gerekenden daha fazla enerji harcanmaktadır. Özellikle son yıllarda yapılarda yalıtımın uygulanıp uygulanmaması ve yıllık yakıt tüketiminin az olması insanlar tarafından tercih sebebi olmaktadır. Bundan dolayı günümüzde bilim adamları ve araştırmacılar yapılar için enerji tasarrufu sağlayan ürünler ve yöntemler hakkında çok fazla bilimsel çalışma gerçekleştirmektedir. Bu çalışma da bunlardan birisidir.

Yapılarda enerji tasarrufu için sorunsuz bir yalıtım oluşturulmalıdır. Bu yalıtımla yapı, en sıcak mevsimde minimum ısı kazanırken, en soğuk mevsimde de minimum ısı kaybetmelidir. Değerlendirme yaparken sadece soğuk mevsimdeki veriler değil, sıcak mevsimdeki veriler de göz önünde bulundurulmalıdır. Isıtma veya soğutma maliyetini düşürebilmek için, ısı kayıplarını minimum düzeye indirmek şarttır. Bu ancak ısı iletim katsayısı düşük yapı malzemelerin üretilmesi ve kullanılmasıyla mümkün olacaktır.

Bu çalışmada ısı iletim katsayısı düşük yapı malzemeleri üretebilmek için farklı malzemelerle alternatif ürünler üretilmeye çalışılmıştır. Bu malzemelerin üretilmesi ve kullanılması sadece tasarruf açısından değil çevre ve insan sağlığı açısından da olumlu katkılar ortaya koyacaktır. Yapılarda kışın ısıtma, yazın soğutma enerjisinden tasarruf yapılarak, daha az enerji tüketilmesiyle, atmosfere yayılan zararlı gazlar azalacak, böylece atmosferde oluşan sera etkisi, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede de önemli adımlar atılmış olacaktır. Bütün bu faktörler yalıtımla ilgili çalışmaların önemini daha da arttırmaktadır.

1.2. Çalışmanın Önemi

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı transferini azaltmak için yapılan işleme “ısı yalıtımı” denir. Diğer bir deyişle ısı yalıtımı, kışın ısınmak, yazın da serinlemek için harcadığımız enerjiyi azaltmak ve daha konforlu ortamlarda yaşamak amacıyla binaların dış cephe duvarları, cam ve doğramaları, çatıları, döşemeleri ve tesisatlarında, ısı geçişini azaltan önlemlerin alınmasıdır. Bunu sağlayan malzemelere, ısı yalıtım malzemeleri adı verilmektedir. Yapıda kullanılacak ısı yalıtım malzemelerin özelliklerinin araştırılması ve incelenmesi deneysel ve gözlemsel bulgularla sağlanabilmektedir (Kulaksızoğlu, 2006).

Isı yalıtım malzemelerini birbirinden ayıran en temel özellik ısı iletim katsayılarıdır. ISO 8302 Standardına göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanırken diğer malzemeler yapı malzemesi kapsamına girmektedir (TS ISO 8302, 1991).

Yapıların uzun yıllar boyunca değerini koruması, fiziki projesinin iyi tasarlanması ve uygulanmasına bağlıdır. Fiziki projesinin iyi tasarlanması yapının iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunması demektir. Yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunması ise ancak yalıtım ile sağlanabilmektedir.

Günümüzde yalıtım sistemlerinin esas amacı; yapının zararlı boyutlardaki etkilere maruz kalması sonucu zaman içinde yapı hasarlarının ortaya çıkmasını önlemektir. Dolayısıyla yapılarda yalıtım, bakım masraflarını sınırlı düzeyde tutarak, yaşanan iç ortamın konfor şartlarına uygun, kışın ısıtma, yazın soğutma enerjisinden

tasarruf sağlayarak aile ve ulusal ekonomiye katkı sağlar. Bina içerisinde sağlıklı ve konforlu yaşam koşullarının oluşturulması insan sağlığı için ne kadar önemli ise yapının dış etkenlere karşı korunması da yapılar için o kadar önemlidir.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye’de 8 milyon bina, 16 milyon konut bulunmaktadır. Bugün ülkemizde ciddi ve tutarlı yaklaşımlarla, ısı yalıtımı yapılmadan inşa edilmiş yaklaşık 12 milyon dolayında yapının olduğu tahmin edilmektedir (TÜİK, 2009).

Yalıtımsız binalarda uygulanacak basit yalıtım uygulamalarıyla ve yeni yapılacak binalarda yalıtıma önem verilmesiyle ısınma için sarf ettiğimiz enerjinin asgari %50’sinin geri kazanılması mümkün görülmektedir. Büyük oranda enerji tüketiminin olduğu yapılarda, bölgesel mevsim şartları göz önüne alınarak, yalıtımın zorunlu tutulması artık kaçınılmaz olmaktadır. Bundan dolayı yalıtım malzemelerin çeşitliliği ve mevcut malzemelerin kalitelerinin artırılması ülke ekonomileri için büyük önem taşımaktadır.

Bir başka açıdan bakılacak olursa, yapılarda harcanan ısınma enerjisinin azalması hava kirliliğini de olumlu şekilde etkileyecektir. Hava kirliliği artık sadece ülkelerin bir sorunu olmayıp, evrensel boyut kazanmıştır. Fosil yakıtların giderek daha fazla tüketilmesi sonucu, doğanın temizleyebileceğinden çok daha fazla kirlilik atmosfere yayılmaktadır. Katı, sıvı ve gaz yakıtların yanması sonucu yakacağın türüne ve yanma işlemine bağlı olarak çeşitli miktarlarda değişen, azot oksitler, karbon monoksitler, hidrokarbonlar, klor, halojenli bileşikler partikül halindeki katı maddeler atmosfere yayılmaktadır. Bunlar insan sağlığına, doğal hayata ve dolayısıyla ulusal ekonomiye çeşitli etkilerde bulunmakta ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışma bu yönüyle de önem arz etmektedir.

Yalıtımın bu derecedeki önemi, bu çalışmanın konusuna da ışık tutmuştur. Böylelikle bu deneysel çalışmada, yapılarda en fazla kullanılan malzemelerden birisi olan, duvar bloklarının yalıtım özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir.

1.3. Materyalin Durumu, Çalışma Yeri ve Cihazlar

Ülkemizde duvar bloğu olarak, gazbeton, delikli tuğla, kireç bazlı tuğla gibi çeşitli yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu duvar blokları arasında en avantajlı olanı bimsbetondan imal edilen ve bimsblok da denilen duvar bloklarıdır. Bims agregaları ülkemizin birçok yerinde, özellikle volkanik aktivitenin yaşandığı bölgelerde, büyük miktarda bulunmaktadır. Bundan dolayı, bimsbetondan imal edilen duvar bloklarının maliyeti oldukça düşük ısı yalıtım özelliği ise yüksektir. Bimsbetondan mamul duvar bloklarının yalıtım özelliğinin yüksek olması, gözenekli ve içinde hava bulunan boşluklara sahip agregalardan imal edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu özelliklerden dolayı deneysel çalışmada bimsbetondan mamul duvar bloklarının kullanması tercih edilmiştir. Yapılacak çalışmalarla sahip olduğu olumlu özellikleri geliştirerek bimsbetondan mamul duvar bloklarının kullanımını yaygınlaştırmak, ülkemizdeki potansiyel kaynakların değerlendirilmesini teşvik etmek amaçlanmıştır.

Bu çalışmada deney programı Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı gerçekleştirirken öncelikle kaynak sağlamak amacıyla Devlet Planlama Teşkilatına proje yazılmış ve projemiz **DPT-05-03 koduyla Devlet Planlama Teşkilatı'**ndan onay alarak kabul edilmiştir. İlk önce deney sisteminin oluşturulması planlanmıştır. Bunun için gerekli olan cihazın kaliteli bir yerli versiyonunun bulunmadığı ön araştırmalardan belirlenmiştir. İthal cihazın oldukça pahalı olduğu bilindiğinden, cihazın yerli versiyonunun imal ettirilmesi projenin ilk aşaması olarak belirlenmiştir. Araştırmalarımız sonucu izleyeceğimiz yöntemle ilgili tüm standart, yönetmelik, bilgi ve dokümanlar toplanarak incelenmiştir. Elde edilen bilgilerle teknolojik altyapıya sahip Ankara-Ostim'deki firmalar ziyaret edilerek, alt yapıları ve imkânları tespit edilmiştir. Bu firmalardan teknik olarak en uygununun Atom Teknik-Ankara firması olduğu kanaatine varılmış ve firmayla protokol imzalanarak cihazın üretimine 2004 yılında başlanmıştır. 10 ay boyunca cihazın üretim aşamaları yerinde tarafımızdan kontrol edilirken bir yandan da numunelerin üretimine başlanmıştır. Sonrasında 2 ay süren deneme ölçümlerinde referans bir strafor bloğunun ölçüm

değerleri, güvenilirlik testleri için Afet İşleri Genel Müdürlüğü-Ankara’da bulunan ithal cihazın ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada cihazın ölçme hassasiyetinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Güvenilirlik testlerinin ikinci aşamasında ise, çeşitli yalıtım malzemeleri test edilmiş ve üretici firmalar tarafından beyan edilen ve literatürde geçen ısı iletim katsayısı değerleriyle tutarlı sonuçlara ulaşılmıştır. Cihazın güvenilirliği ve ölçüm hassasiyetine emin olduktan sonra 2005 yılında cihaz tarafımızdan teslim alınmıştır. Tamamıyla yerli bir firma ve çoğunlukla yerli malzemeler kullanılarak tasarlanan cihaz, TS ISO 8302 “Plaka Metodu ile Isı İletkenliğinin Tayini” standardında belirtilen şartlar altında ısı iletim katsayısını belirleyen yeni ve güncel bir cihazdır.

Üretilen blokların basınç mukavemetlerini belirlemek için 300 ton yükleme kapasitesili, Alşa marka TSE-Sojultest kalibrasyon belgeli, Klas 1 sınıfında tek eksenli basınç presi kullanılmıştır.

1.4. Çalışma Programı

Bimsbetondan imal edilen duvar bloklarının muhtelif desende boşluklu kısımları bulunmaktadır. Bu çalışmada, 100x330x240 mm, 150x330x240 mm ve 200x330x240 mm boyutlarında ve farklı boşluk konfigürasyonunda özel duvar blokları üretilmiştir. İlk aşamada üretilen duvar bloklarının mevcut boşlukları, perlit ve diyatomit malzemeleri ile doldurularak numunelerin özellikleri incelenmiştir. İkinci aşamada ise diyatomit ve perlit malzemesi karışım harcına farklı oranlarda katılarak katkılı numuneler üretilmiştir. 20, 30 ve 40 kg diyatomit, 20, 25 ve 30 kg perlit katkılı duvar bloklarının özellikleri incelenmiştir. Üretilen numunelerle 500x500xD mm boyutlarında bloklar örülmüş, ısı iletim katsayıları deneysel olarak ölçülmüş ve bu değerler kontrol duvar bloklarının ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılmıştır. Duvar bloklarının boşluklu, dolgulu ve katkılı halleri ANSYS paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak modellenmiş ve termal analizleri yapılmıştır. Deneysel ve teorik analizler sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, mühendislik uygulamalarında kullanılmak üzere gerekli öneriler sunulmuştur.

2. MALZEMELER ve ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Malzemelerle İlgili Tanımlar**

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan, bimsbetondan mamul duvar bloklarının ana bileşenlerini ve kullanılan dolgu malzemelerin temel özelliklerinin ayrıntılı olarak anlatılması yararlı olacaktır. Kullanılan ana bileşenlerden birincisi, hafif agregalar olarak geçmektedir.

Hafif agregaları mineral ve organik kökenli olarak ikiye ayırmak mümkündür. Ayrıca hafif agregalar doğal veya yapay oluşlarına ve kırılma, eleme, yıkanma dışında bir işlem görüp görmediklerine bakılarak da sınıflandırılabilir.

Buna göre hafif agregalar 4'e ayrılır:

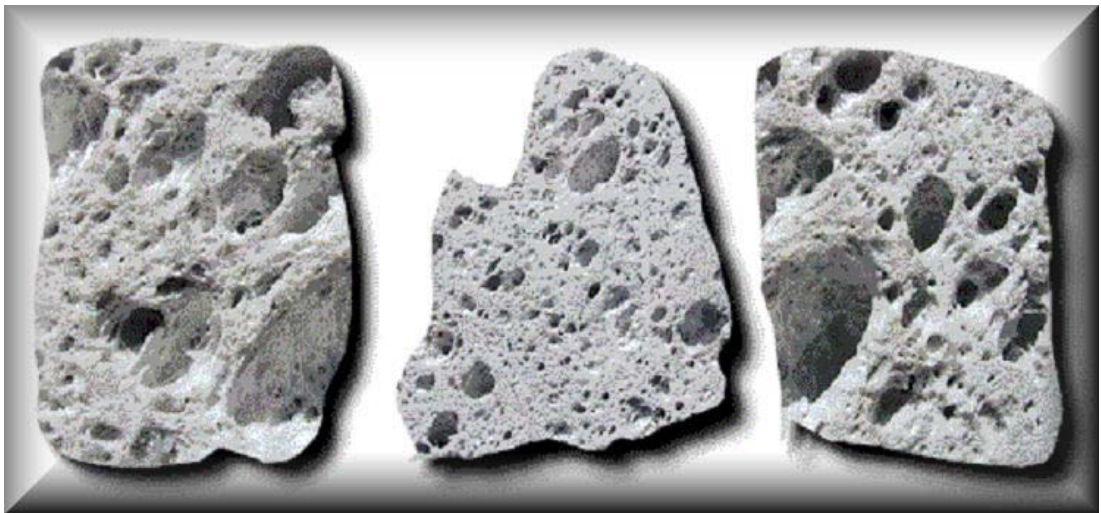
- **Doğal hafif agregalar:** Genellikle volkanik kökenli ve tortul olan doğal hafif agregalar, doğada bulunan bims, tuf, volkanik curuf, scoria ve diotamit gibi volkanik kayaların parçalanması sonucu meydana gelmekte olup, çok fazla miktarda boşluk içermektedir. Özgül ağırlıkları $500-1500 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir.
- **İşlenmiş doğal hafif agregalar:** Doğadaki kil, perlit ve vermikülit gibi kayaların özel bir ısıtma işlemine tabi tutularak işlenmesi ile elde edilmektedir. Döner fırınlarda veya hareketli ızgaralar üzerinde 1000°C sıcaklığa kadar ısıtılan doğal taşların, kapalı gözenekleri içerisinde oluşan gazlar veya su buharı genişleyerek yumuşamış olan taşın hacmini büyütme ve boşluk oranını arttırmaktadır. Genleştirilmiş kil, en yaygın kullanılan işlenmiş doğal hafif agregalar olup, özgül ağırlığı $600-900 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Genleştirilmiş perlit ve vermikülitin özgül ağırlıkları ise 240 kg/m^3 'ün altındadır.
- **Yapay hafif agregalar:** Çeşitli endüstriyel fırınlardan elde edilen, eriyerek toprak haline gelmiş curuflar genellikle gözenekli olduklarından hafif agregalar olarak kullanılabilirler.
- **İşlenmiş yapay hafif agregalar:** Sanayi yan ürünü olarak elde edilen malzemeyi bir kademe daha işleyerek üretilen genleştirilmiş curuf, sinterleştirilmiş uçucu kül işlenmiş yapay hafif agregalardır. Yüksek fırından çıkan curufun üzerine su püskürtülerek veya curuf su ile hızla karıştırılarak oluşturulan su buharı, curufun

genleşerek gözenekli bir hal almasına yol açmaktadır. Genleştirilmiş yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığı $300-1100 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Kömür yakan termik santrallerden elde edilen uçucu kül ıslatılıp, toprak halinde fırınlandığında içerisindeki karbon yanmakta ve yuvarlak taneli sinterleştirilmiş uçucu kül elde edilmektedir (Duran, 2003).

2.1.1. Pomza (Bims) Tanımı, Çeşitleri ve Özellikleri

Pomza (bims) volkanik esaslı doğal bir puzolandır. Görünümü süngere benzeyen, içerisinde birbirinden bağımsız ve içi en iyi yalıtkan olan ve hava ile dolu çok sayıda gözenek içeren, amorf yapılı pomzanın kimyasal yapısı, silikat esasludur. Şekil 2.1’de hava ile dolu gözenek içeren pomza örnekleri görülmektedir.

Pomza taşı teknik terimolojide “doğal hafif agrega” olarak nitelendirilmekte olup, “bims” olarak da adlandırılmaktadır. Pomza taşının kırma, eleme ve boyutlandırma ile elde edilmiş farklı tane boyutlarındaki malzeme haline, bims veya pomza agregası adı verilmektedir. Halen yürürlükteki TS 3234 standardına göre de pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm^3 ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 5-6 olan volkanik bir madde olarak tanımlanmaktadır (TS 3234, 1978)



Şekil 2.1. Hava İle Dolu Gözenek İçeren Amorf Yapılı Pomza

Pomza; volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiş silikat esaslı, gözeneklerinin birbirleriyle bağlantılı olmadığı, amorf, camsı en önemlisi doğal bir kayadır. Dilimizde, sünger taşı, hışır taşı, topuk taşı, gibi adlar alan bu kayadır. Fransızca'da ponce, İngilizce'de iri taneli olanına pumice, ince tanelisine pumicite, Almanca'da iri tanelisine bims, ince tanelisine bimstein adı verilmektedir. Pomza asidik ve bazik olarak ikiye ayrılmakla beraber en yaygın ve en çok kullanılan asidik pomzadır (Köse ve ark, 1997).

Asidik magma, bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Volkanik aktivite durduğunda magma akışı da durarak asidik kayalar oluşur. Volkandan basınçla püsküren asidik malzeme ve erimiş gazlar ani basınç azalması sonucu genişler ve uçucu bileşenlerin kaçmasına neden olur. Atmosferle temas eden erimiş küresel parçalar hızla soğuyarak pomzayı oluşturur (Gündüz, 2001).

Pomza taşının yapısında bulunan SiO_2 , agrega kompozisyonunun asidik ve/veya bazik karakteristik gösterdiğini sembolize etmektedir. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı kayaca asidik özellik kazandırmaktadır. Kayacın bünyesindeki SiO_2 oranı arttıkça, kayacın asidik özelliği artmakta ve agrega dayanımı daha yüksek olmaktadır. Kayacın kimyasal bileşiminde bulunan Al_2O_3 oranının yüksek olması ise ateşe ve yüksek ısıya dayanım özelliği kazandırır. İnşaat sektörü açısından, pomza taşının asidik karakterde olması, Fe_2O_3 oranının düşük, Al_2O_3 oranının ise yüksek olması istenilmektedir (Hossain, 2004). Asidik ve Bazik Pomzaların Kimyasal Bileşimi Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Asidik ve Bazik Pomzaların Kimyasal Bileşimi (Çiftçi, 2003).

<i>Bileşen (%)</i>	<i>Asidik Pomza</i>	<i>Bazik Pomza</i>
SiO_2	70	45
Al_2O_3	14	21
Fe_2O_3	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0.6	7
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	9	8
Kızdırma Kaybı	3	1

2.1.1.1. Pomzanın Oluşumu

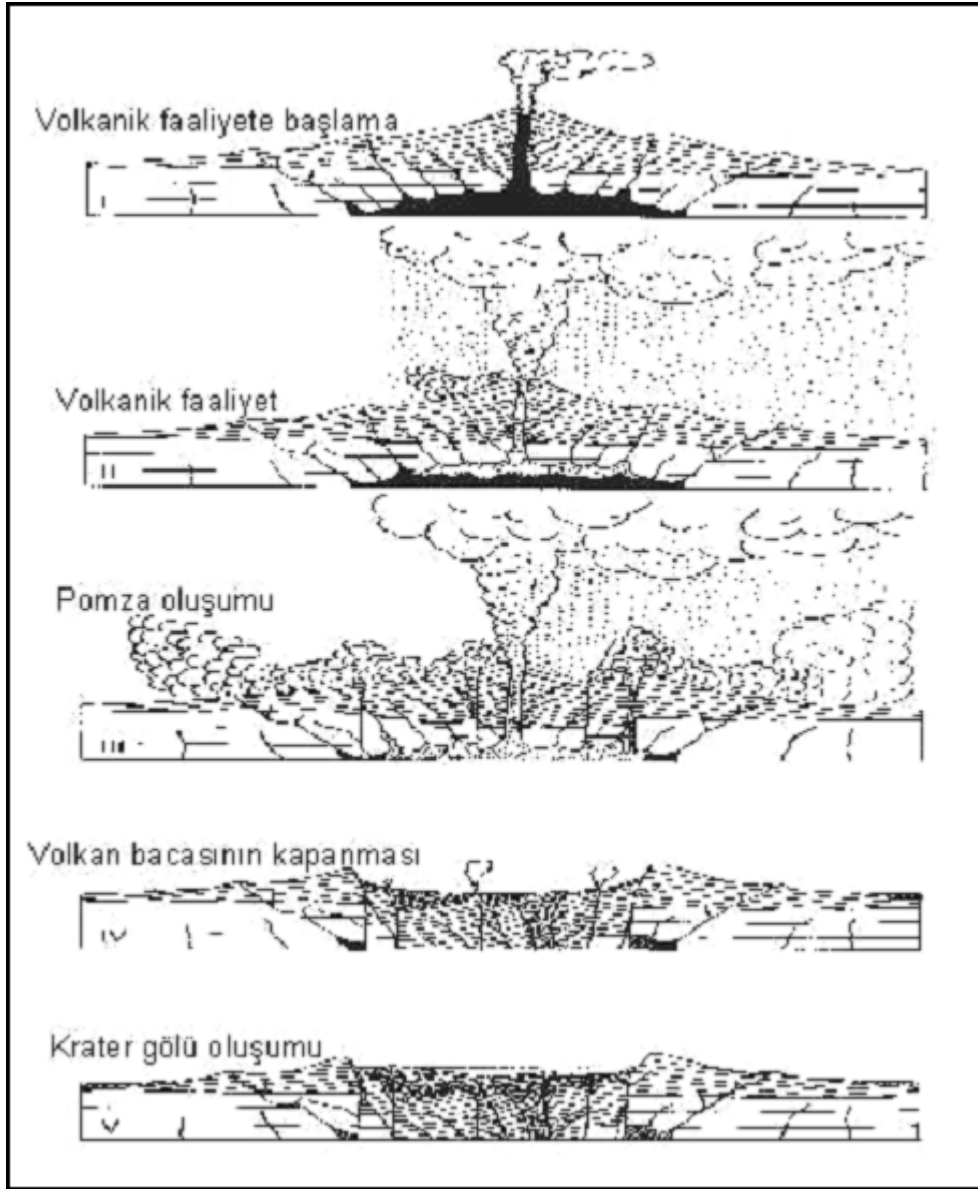
Basıncın artmasıyla asidik malzemeye birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç sertleşmesi ani genişmeleri oluşturur. Bu genişmeler, bünyedeki uçucu bileşenlerin ani olarak uzaklaşmasına neden olur.

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, magmanın ısısı, magmadaki erimiş gaz miktarı, püsküren malzemenin soğuma zamanıdır.

Bu oluşan pomza parçaları volkan bacalarının yakınından itibaren uzaklara doğru hava akımının da etkisiyle, eski yüzey şekline uygun olarak depolanır. Bu durumdaki pomza yatakları oluşmuş olup, bu yataklar zamanla akarsular tarafından taşınarak uygun havzalarda depolanabilir. Pomzada taşınma mekaniği, basitleştirilmiş olarak 3 ana grupta ele alınabilmektedir.

- 1) Düşme (buluttan çökelme) 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, cm ve dm ile simgelenebilmektedir. 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 görülmektedir. Akma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza yataklarında ise, genel olarak masif bir yapı, tabakalarda yoğun kötü bir ayrışma ve boyut sınıflandırması yok denilecek kadar az bir olgu izlenebilmektedir. Bu oluşumun açık göstergesi ise gang mineralleri alt katmanda kalırken, pomzanın ise serbest halde üst katmanda yer almasıdır (Köse ve ark, 1997). Pomza Oluşum Evreleri Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Pomza Oluşum Evreleri (Rittmann, 1976).

Pomza agregası örnekleri makroskopik özellikleri itibarıyla incelendiğinde, süngerimsi ve boşluklar içeren bir yapıda olduğu gözlenir. Agregası tanelerinde yüksek oranda görülen gözeneklerin bir kısmının açık gözenek bir kısmının da kapalı gözenek karakterli olduğu gözlenir. Makroskopik olarak yapılan incelemelerde ise agregası yapısının volkanik cam matrisinden oluştuğu görülür. Boşluklar Şekil 2.3’de görüldüğü gibi çoğunlukla küçük-orta boyutlu yer yerde iri boyutlu olarak görülmektedir (Gündüz, 2005).



Şekil 2.3. Pomzanın Poroz Yapısının Görünümü

2.1.1.2. Pomza Kullanım Alanları

Pomza, hammadde olarak birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Kullanımı, endüstriyel amacına göre ana hammadde olarak veya katkı malzemesi biçimindedir. En yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ses ve ısı izolasyonu, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat ve yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Günümüzde pomzanın kullanım alanları çok geniş olmakla birlikte ana sektörü inşaat sektörüdür. Kullanıldıkları yerlere göre tekstil, tarım, kimya, endüstri-teknoloji ve inşaat sektörü olmak üzere 5 ayrı grupta değerlendirilebilir (Yanık, 2007).

- **Tekstil Sektöründe Pomza:** Tekstil sektörü, günümüzde ülkemiz endüstrisinde önemli paya sahip sektör olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında pomza, aranan ve azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur. Tekstil sektöründe pomza kot taşılama, kot kumaşlarının renklerinin açılması-ağartılması ve kumaşın yumuşatılması işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sektörde pomzanın belirli fiziko-kimyasal özellikleri taşıması aranır.

- **Tarım Sektöründe Pomza:** Pomza gelişmiş ülkelerin çoğunda tarımda kuraklığa çare olarak başvuru alan seçeneklerden bir tanesidir. Bünyesine aldığı suyu uzun müddet muhafaza ederek sürekli olarak nemli bir ortamın oluşmasını temin ettiğinden yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bugün su kaynakları yetersiz olan İsrail, Suudi Arabistan, Kuveyt gibi ülkelerde, iklimin sıcak olması ve sulama suyunun da aşırı buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne geçilebilmesi için, toprağın altına belirli bir derinlikte ve belirli bir kalınlıkta pomza tabakası serilmektedir. Yastıklama adı verilen bu yöntemle bitkilerin ihtiyacı olan suyun direkt olarak köklere ulaşması sağlanmakta ve buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne geçilmektedir.

- **Kimya Sektöründe Pomza:** Günümüzde pomza kimya endüstrisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarım ilaçları sanayisinde taşıyıcı olarak, gübre sanayisinde gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde, diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak, temizlik ve deterjan sanayisinde katkı malzemesi olarak, özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

- **Endüstriyel ve Teknolojik Alanlarda Pomza:** Kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayinde abrasif (aşındırıcı), televizyon tüpleri, elektronik devre ve çiplerin üretiminde hassas temizleme maddesi, yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı, asfalt kaplamalarda (özellikle sıcak iklimli bölgelerde) yüzeye bitüm kusmayı engelleyici katkı maddesi, karayollarında; buzlanmaları kontrol altına almada, dekoratif ve yalıtımlı hafif tavan kaplama malzemeleri gibi pek çok sektörde kullanım imkânı bulmaktadır. Ayrıca günümüzde seramik malzemelerin sır tabakalarının yapımında, refrakter malzeme, biyoteknoloji alanlarında absorban malzeme olarak ve su arıtım teknolojisi gibi pek çok alanda kullanımına ilişkin çalışmalar da sürdürülmektedir (Yanık, 2007).

- **İnşaat Sektöründe Pomza:** Pomza, ülkemizde ve dünyada geniş anlamda inşaat sanayinde kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın %80'i iç piyasada inşaat endüstrisinde, hafif beton agregası olarak tüketilmektedir. Normal kum ve çakılın 1/3-2/3'ü kadar yoğunluğa sahip olan pomza, perlitin kullanıldığı alanların genellikle

tümünde kullanılmaktadır. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülür. Pomza betonu normal betondan hafif olması sebebiyle zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından, temele iletilen yükler dikkate alındığında yapı için kullanılacak inşaat demirinden yaklaşık %17-30 civarında tasarruf sağlar. Pomzanın ısı iletkenlik katsayısı dikkate alındığında, normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı yaşam ve iş mekânlarında kullanımı ile büyük çapta enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca pomzalı beton ve yapı elemanları dondan etkilenmemektedir. 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 sağlayabileceği gibi hafif beton yapı elemanlarının sağlayacağı ekonomi yanında, bina ağırlığının azalması dolayısıyla, deprem kuşağında bulunan yörelerde kullanımının yararlı olacağı ve avantaj sağlayacağı görülmektedir (Özkan ve Tuncer, 2001).

Günümüzde yapı malzemelerinde, yüksek mukavemetin yanı sıra hafif olma özelliği de aranmaktadır. Yapıyı hafifletmek için kullanılacak yöntemlerden birisi de, pomzadan imal edilen yapı malzemelerinin kullanılmasıdır. Pomza hammaddesi, inşaat sektöründe birçok üstün vasıflardan dolayı, her geçen gün daha da artan miktarlarda kullanılmaktadır. Pomza taşı ile hafif beton ve izolasyon yapı malzemesi oluşturulması ile ilgili karakteristik değişimler ve inşaat sektöründe hafif beton optimizasyonu için karışım parametrelerinin doğru olarak yapılması, maliyet ekonomisi açısından son derece önemli olmaktadır. Yakın geçmişe kadar, hafif agregalı betonun, basınç dayanımına etki eden bağımlı ve bağımsız değişkenlerin analizi için birçok çalışmalar ve karışım oranlarının belirlenmesi ve su/çimento oranı değişimleri üzerine değişik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda, katı malzeme tane boyut dağılımı, çimento kullanım oranı (dozaj) ve kür süresi gibi değişkenlerin en etkin parametreler olduğu gözlenmiştir.

Pomzadan imal edilen yapı malzemelerinin en önemlisi bims bloklardır. Bims bloklar yüksek ısı ve ses yalıtımı, yüksek mukavemet göstermeleri ve depreme

dayanıklı mekânları daha az maliyetle imal etme gibi özelliklerden dolayı vazgeçilmez olmuştur. Günümüzde dünyanın pek çok ülkesinde bu hammaddenin yıllık tüketimi 20 milyon m³'ü geçmektedir. Bims blok kullanılarak yapılan binalarda yüksek ses ve gürültülere karşı sessiz ortamlar meydana getirilmektedir. Pomza ve mamulü bims bloklarda homojen olarak dağılmış eşsiz doğal boşluklu yapısı, hafifliği, kristal suyu içermemesi, 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, bimsblok kullanılmasının birçok fayda getireceği görülmüştür (Gündüz ve ark, 1998).

Pomza tekstil endüstrisinde; kot kumaşların yumuşatılmasında ve ağartılmasında, tarım endüstrisinde yüksek su tutma kapasitesi, bünyesinde barındırdığı suyu tedricen ortama vererek ortamın nemini dengelemesi, zararlı kimyevi bileşikler içermemesi gibi önemli özelliklerinden dolayı toprak ıslahında kullanılmaktadır. Ayrıca az topraklı veya topraksız ortamlarda bitki yetiştirmek için suyun kısıtlı olduğu tarımsal yeşil alanlar için pomza idealdir. Kimya endüstrisinde kullanımı yeni olmakla beraber yapılan araştırma geliştirme çalışmalarıyla kullanımı giderek artmaktadır. Özelliklerine bağlı olarak kimya endüstrisinde kozmetikte, sabun ve deterjan yapımında, ilaç endüstrisinde kullanımı vardır. Şekil 2.4'de pomza ocağı görülmektedir (Başpınar ve Gündüz, 2006).



Şekil 2.4. Nevşehir Pomza Ocağı Görünümü

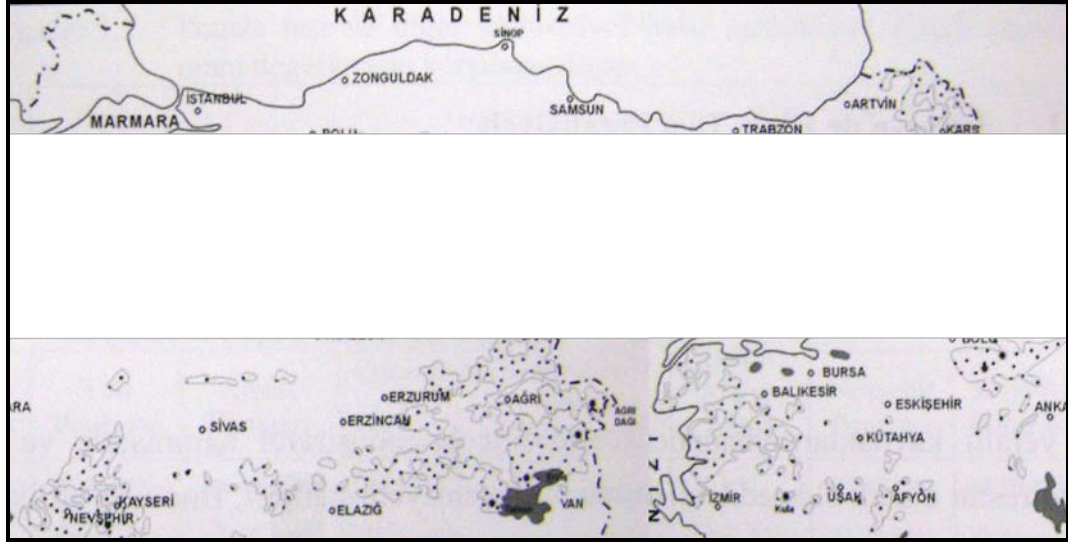
Pomzanın inşaat sektöründe kullanım alanlarını;

1. Hafif yapı elemanları üretiminde
2. Prefabrik hafif yapı elemanları üretiminde
3. Çatı ve dekoratif kaplama elemanları üretiminde
4. Hafif hazır sıva ve harç üretiminde hafif beton üretiminde
5. Çatı ve döşeme izolasyonu dolgusu

olarak 5 ayrı kategoride analiz etmek mümkündür (Başpınar ve Gündüz, 2006).

Dünya genelindeki mevcut 18 milyar metreküp pomza maden rezervinin %40'ına sahip olan Türkiye'de, pomza madeninin modern teknolojik yenilikler kullanılarak işletilip ihraç edilmesi halinde Türkiye 60 milyar dolarlık potansiyele ulaşabilecektir. Nevşehir'in yanı sıra Bitlis, Kayseri, Isparta, Ankara, Ağrı, Kars ve Karaman'da bilinen pomza maden yataklarında son yapılan araştırmalarda 7.4 milyar metreküp düzeyinde pomza rezervi bulunmaktadır. İtalya, Yunanistan, Almanya, ABD, Meksika, Fransa ve İzlanda'nın yanı sıra son yıllarda Çin, Kanada, Endonezya ve Yeni Zelanda ile birlikte dünyadaki yine bilimsel bir çerçeveye uygun olarak belirlenen pomza rezervlerinin 18 milyar m³ olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2009).

Pomza volkanik kökenli bir malzeme olması dolayısıyla, volkanik faaliyetlerin olduğu alanlarda yer almaktadır. Türkiye'deki volkanik malzeme potansiyel dağılımı Şekil 2.5'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.5. Türkiye'deki Volkanik Malzeme Potansiyeli (Gündüz, 2005)

Şekil 2.6'da ise Türkiye'deki pomza yatakları haritası görülmektedir. Pomza yatakları;

1. Ulukışla-Pozantı ve Kaman dolaylarında yer alan Paleosen yaşlı volkanizma,
 2. Yozgat çevresinde ve Ankara Güney Doğusunda yer alan Eosen yaşlı volkanizma,
 3. Eskişehir (Beylikahır) ve Nevşehir dolayındaki Oligosen yaşlı volkanizma,
 4. Eskişehir-Afyon-Ankara-Konya-Niğde-Nevşehir-Kayseri civarı volkanizma,
 5. Isparta-Konya-Karaman-Niğde-Nevşehir-Kayseri-Ankara civarı volkanizma,
 6. Adana(Ceyhan)-Kayseri-Nevşehir-Niğde çevresi
- olmak üzere 6 ana grupta toplanabilir. (Ercan, 1985).



Şekil 2.6. Türkiye’deki Pomza Yatakları Haritası (MTA, 2008)

Erciyes volkanik topluluğunun çeşitli evrelerinde püsküren lavlar çok uzak mesafelere yayılmışlardır. Özellikle batıda Nevşehir-Ürgüp-İncesu dolaylarında, daha kuzeyde Kozaklı-Boğazlıyan çevresinde, doğuda Bünyan ve güneyde Tomarza-Develi dolaylarında kalın volkanik örtüler oluşmuştur. Pomzanın kimyasal, fiziksel, jeolojik ve mekanik özellikleri bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte Kayseri pomzasının puzolanik özelliği fazladır. Malzemenin birim hacim ağırlığı da bölgelere göre farklılık göstermektedir. (Ercan T, 1985).

Dünya pomza pazarında ihracat ve ithalat politikaları ve fiyatlandırmalar büyük ölçüde gelişmiş ülkeler tarafından yönetilip yönlendirilmektedir. Çizelge 2.2’de kıtalara göre bazı ülkelerin rezervleri ve üretimleri görülmektedir. Pek çok Avrupa ülkesi ve A.B.D.’de pomza uzun yıllardan beri inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Bu da inşaat sektöründe pomzaya, büyük bir talep olması anlamına gelmektedir. İtalya, Yunanistan ve Almanya bu talebe yıllarca cevap vermişler, bunun yanında tekstil pomzası ve endüstriyel pomza pazarını da ellerinde tutmuşlardır. Ancak gerek ihtiyacın sürekli artması, gerekse söz konusu ülkelere pomza rezervlerinin tükenmesi veya azalması nedeniyle potansiyel ülkelere de yönelmeler başlamıştır. Başta Türkiye olmak üzere, İzlanda, Yeni Zelanda gibi potansiyel açısından bol ve ucuz pomza kaynakları olan ülkelere başvurulmaktadır (Yazıcıoğlu ve ark, 2003).

Çizelge 2.2. Bazı Ülkelerin Rezervleri Ve Üretimleri

Kıtalar ve Ülkeler	Miktar (milyon ton)	Pomza üretimi (bin ton)
AMERİKA		
Kuzey Amerika	12.000	
Orta Amerika	80	2043
Güney Amerika	80	
OKYANUSYA	500	980
AVRUPA		
Yunanistan	500	1700
İtalya	2000	4600
Türkiye	2836	600
Almanya	340	600
İspanya	375	600

2.1.1.3. Pomza ve TSE Standartları

Pomza taşı agregası yaklaşık %70 boşluk içermektedir. Doğada ufak boyutu, irisinden daha fazla bulunmaktadır. Agregada olarak kullanılırken özelliklerine dikkat edilmelidir. Pomza agregalı betonda istenen agregada şartları şu şekilde özetlenebilmektedir.

- **Zararlı Maddeler:** Sülfat miktarı (SO_3) cinsinden tayin yapıldığında bulunan değer, ağırlıkça %1'den çok olmamalıdır. Hafif agregada ince dağılmış halde humus ve benzeri organik maddeler betonun prizi aşamasında zararlı olabilirler. Bu bakımdan TS EN 1744-1'e ve TS 1114 EN 13055-1'e uygun deney yapıldığında, koyu sarı, kahverengi ve benzeri koyu renkler meydana gelmemelidir (TS EN 1744, 2000-TS 1114 EN 13055, 2004).
- **Kil Topakları:** Halen yürürlükteki TS 707'ye göre agregadaki kil topakları kuru agregada ağırlığının %2'sini geçmemelidir (TS 707, 1980).
- **Tane Biçimi ve Yüzey Yapısı:** Halen yürürlükteki TS 3234'e göre değişik yerlerde elde edilen bims agregalar tane biçimi ve yüzey yapısı bakımından oldukça farklıdır. Bims agregaların tane biçimi ve yüzey yapısı karışım içinde ince ve iri agregada miktarlarını, betonun işlenebilirliğini, ince agregada/iri agregada oranını, su ve çimento miktarını etkiler (TS 3234, 1983).

- **Su Emme ve Nem Yüzdesi:** Bims agregalarının 24 saatlik su emme yüzdeleri ince agregada %20, iri agregada %30 civarındadır. Bu değerler agreganın sağlandığı yere, granülometresine, tane biçimi ve yüzey yapısına göre değişir. TS 3234'e göre normal depolama şartlarındaki nem yüzdesi genellikle su emme kapasitesinin 2/3'ünü geçmez (TS 3234, 1978).
- **Yanıcı Madde:** TS 1114 EN 13055-1'e göre agregada yanıcı madde oranı %5'i geçmemelidir (TS 1114 EN 13055-1, 2004).
- **Maksimum Tane Çapı:** TS 3234'e göre bims beton agregalarında tane çapı 20 mm'den büyük olmamalı, yerine göre 12.5 mm veya 10 mm'lik maksimum tane çaplı karışımlar tercih edilmelidir (TS 3234, 1978). TS EN 12390-2'ye göre deney numunelerinde kullanılan esas boyut (d), verilen sınır %10 sınırı içinde olmalıdır. Numunelerin her biçimi için alınacak esas boyut, beton agregasının en büyük tane büyüklüğünün en az 4 katı olarak seçilmelidir. Dolayısıyla en büyük agrega tane büyüklüğü beton karışımındaki agreganın en az %90 miktarının geçeceği en küçük kare delikli elek göz açıklığı olarak kabul edilir (TS EN 12390-2, 2002).
- **Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri:** TS EN 12390-1'e göre küp deney numunelerinde esas alınacak boyutlar 100-150-200-250-300 mm'dir. Biçim toleransı olarak, küpün yükleme uygulanacak yüzlerinin düzgünlük toleransı 0,0005.d olmalıdır. (TS EN 12390-1, 2002).

TS EN 12390-3'e göre kalıplar çelik, dökme, demir veya hidrolik çimentolarla reaksiyona girmeyen uygun bir malzemeden yapılmalıdır. Kalıplar birden fazla parça halinde (taban levhası, kenarlar gibi) imal edilmişse, bu parçaların sıkıca birleştirilmesinin sağlayacak bir kelepçe sistemi bulunmalıdır. Kalıpların iç yüzeyleri pürüzsüz ve kaygan olmalıdır. Kullanılmadan önce bu yüzeyler madeni bir yağ ile hafifçe yağlanmalı ve varsa parçaların birleşme yerleri kalın gres, parafin gibi bir madde sürülerek su geçirmez hale getirilmelidir. Deney presi kırılma yükünün en az %1 'ini gösterecek hassasiyette bulunmalıdır. Kalibrasyon için yeterli tertibata sahip olmalı ve yükleme plakalarının temas yüzeyleri makine ile düzgünleştirilmiş olmalıdır. Düzgünlük toleransı, küpün bir kenarının veya silindir çapının her 100 mm'si için 0.02 mm olmalıdır (TS EN 12390-3, 2003).

Yükleme plakalarının boyutları, küp deney numunelerinin bir kenarından, bu kenarın yaklaşık %3'ü kadar daha büyük, kalınlığı da en az 25 mm olmalıdır (TS EN 12390, 2003). TS EN 1354'e göre yükleme hızı 0,5-2,0 kgf/cm²/s olmalıdır (TS EN 1354, 2007).

Laboratuarlarda kova, kürek, mala, kepçe, master, sıyırma çubuğu ve levhası, cetvel, lastik eldiven ve metal karıştırma kapları gibi aletler bulundurulmalıdır. Kullanılacak terazi veya baskül, tartılan ağırlığın %0.3 duyarlılığında olmalı, bu aletlerin kalibrasyonu zaman zaman kontrol edilmelidir. Genel olarak bir terazi veya baskülde tartılacak en küçük ağırlık aletin kapasitesinin %10'undan daha küçük olmamalıdır. Ayrıca gerektiğinde ölçüm için kullanılacak bir kumpasın bulunması yararlı olacaktır. TS 3234'e göre numune miktarı, bims betondan alınan numune alınan her harmandan en az dört adet basınç dayanım deneyi numunesi hazırlanabilecek miktarda olmalıdır (TS 3234, 1983).

• **Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numuneleri:** TS EN 12390-2'ye göre beton malzemesinin hazırlanması sırasındaki sıcaklık önemlidir. Beton harmanının karılmasından hemen önce malzemenin homojen olarak aynı sıcaklıkta bulunması sağlanmalıdır. Kullanılacak çimento ise; iyice karıştırılarak homojenliği sağlanmalı ve göz açıklığı 1 mm olan kare delikli elekten elenmelidir. Elek üzerinde kalan çimento topakları deneylerde kullanılmamalıdır. Betonun el ile karılması işleminde çimento, ince agrega ve varsa suda erimeyen toz katkı maddesi ile birlikte tamamen ve su ilave edilmeden karıştırılır. İri agrega harmana katılır ve taneleri harman içinde düzgün olarak dağılıncaya kadar su ilave edilmeden 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. İstenilen beton kıvamı elde etmek için su miktarının araştırıldığı deneme harmanları, karma süresinin gereğinden fazla uzadığı hallerde, numunelerin hazırlanmasında kullanılmaz. Bu gibi durumlarda belirlenen gerekli su miktarı ile yeni bir beton harman hazırlanır. Karma işlemi tamamlandıktan sonra kalıplara doldurulur. Kalıplara doldurma işlemi, en az iki tabaka halinde olmalıdır. Kalıplar sıkıştırılıp doldurulduktan sonra üst yüzü tesviye edilir. Kalıplara doldurulan beton

yüzeyi düzlenip perdahlanır. Bu amaçla, kalıp üst yüzeyinden taşan beton şişleme çubuğu veya mala ile sıyrılır, düzlenen yüzey mala veya master ile perdahlanır. Bu işlemler en kısa zamanda ve en pratik bir şekilde tamamlanmalıdır (TS EN 12390, 2002).

Elde edilen numune yüzeyi kalıp kenarlarıyla aynı seviyede olmalı, yüzeyde kalabilecek girinti veya çıkıntıların boyutları 3 mm' yi geçmemelidir. Küp numuneler için başlık yapılmayabilir. 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 $21^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$ 'de tutulmalı, 24 saatten sonra rutubetli ortamda ve 23°C 'de depo edilmeli, akan suya maruz bırakılmamalı ve doymuş kireçli su kullanılmadıkça su içinde tutulmamalıdır. Bu şekilde 7 günü tamamlayan numuneler 18 gün süre ile $21^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$ 'de sıcaklık ve %50 bağıl nemli ortamda tutulmalı ve sonra 3 gün süre ile $60^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklığa ayarlı bir etüvde kurutulmalıdır (TS 3234, 1978).

Pomza agregalı betonun basınç dayanımı, belirli boyutlardaki pomza karışım numunelerinin belirli ve farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısındaki davranışları ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç karakteristiğidir. Pomza karışımlarının basınç dayanım değeri için yapılacak deneylerde, TSE standartlarındaki numune boyutları kullanılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için TSE standartları, kenarları yaklaşık 100 mm olan küp deney numunelerinin kullanımı önerilmiştir.

TS EN 12390-3'e göre deneylerde her kür süresi için en az üç adet deney numunesi olmalıdır. Deney numunesinin kütlelerinin tayini için, nemli bir ortamda veya su içerisinde bırakılmış numunelerin yüzeyindeki su, tartmadan önce silinmelidir. Bütün deney numunelerinin kütlelerinin $\pm\%0,25$ hassasiyetle tayin edilmesi gerekir. Numunelerin her durumu ile ilgili not alınmalıdır.

Deney numuneleri kür odasından çıkarıldıktan ve yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra deneye başlanır. Deney presinin çelik yükleme plakaları (blokları) ve bunlarla temas edecek numune yüzeyleri iyice temizlenir. Silindir numunelerinin alt yüzü, deney numunelerinin dönme yönüne dik yüzeylerinden biri alt plaka üzerine yerleştirilir. Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe tesiri yapmayacak tarzda, deney numunesi kırılıncaya kadar devam edilir.

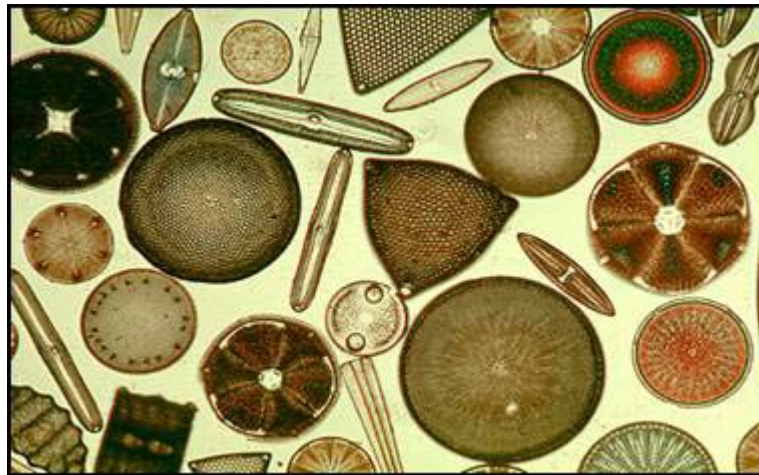
Düşük mukavemetli betonlar için düşük yükleme oranları, yüksek mukavemetli betonlar için ise daha yüksek yükleme oranları seçilmelidir. Numune kırılana kadar yükün uygulanmasına devam edilmeli ve maksimum yük tespit edilmelidir. Çizelge 2.3’de pomza ve ürünleri ile ilgili Türk Standartları listesi verilmektedir.

Özellikler	TSE No
Bims agregası gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlığı	TS 3529
Bims agregalarının tane büyüklüğü dağılımı	TS 1114 EN 13055
Bims agregası organik madde miktarı	TS 1114 EN 13055
Bims agregası ince madde oranı	TS 1114 EN 13055
Hafif agregalardan numune alma, muayene ve deneyler	TS 1114 EN 13055
Bimsbetondan Mamul Yapı Elemanları	TS EN 771
Bimsbetonda kullanılacak çimento	TS EN 197
Bimsbetonda kullanılacak karışım suyu	TS 1247
Bimsbetonda ısı iletkenlik tayin deneyi	TS ISO 8302
Bimsbetonda ısı yalıtımına sonuçlarına göre yapılacak hesaplamalar	TS 415 EN 12939
Bimsbetonda basınç mukavemeti deneyi için numune alma	TS EN 12350-1
Bimsbetonda çökme deneyi	TS EN 12350-2

Çizelge 2.3. Pomza ve Ürünleri İle İlgili Türk Standartları

2.1.2. Diyatomitin Tanımı ve Özellikleri

Diyatomit veya diğer ismiyle kizelgur, esas olarak diyatome kabuklarının birikmesi ile oluşmuş, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ bileşimli, hafif ve kolay ufalanabilen bir kayadır. Başka bir tanımla diyatomit, su yosunları sınıfından, diyatome adı verilen, Şekil 2.7’de görülen tek hücreli, mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarından (organizmanın kabuk kısmı) meydana gelen, organik bir çökeltidir. Doğada bulunabilen, beyaz, tebeşirsi, sediment taşıdır. Ezildiği zaman çok ince, beyaz-bej bir toza dönüşür. Bu tozun aşındırıcı bir etkisi vardır ve porlu yapısı sebebiyle çok hafiftir. Diyatomit, silikadan ve diatom fosillerinden oluşmuştur. Diatom sert kabuklu bir alg türüdür (Crangle, 2009).



Şekil 2.7. Tek hücreli, Mikroskobik Algler (Crangle, 2009)

Diyatomitin görünüşü tebeşire benzemekte ve ufalanınca pudra kıvamı kazanmaktadır. Saf diyatomit beyazdır. Ancak yabancı bileşenlere bağlı olarak sarı, kahverengi ve yeşil renkli olabilmektedir. Volkanik küller diyatomitlerin içinde kirletici etki yapmaktadır. Ayrıca karbonat, kum, kil, feldspat, mika, amfiboller, piroksenler, rutil, zirkon vb. mineraller bünyede safsızlık olarak bulunurlar. Diyatomitlerin en önemli özelliklerinden birisi de blok yoğunluğudur. Şekil 2.8’de Hırka Köyü-Kayseri diyatomit ocağı görülmektedir. Parça yoğunluğu ne kadar az ise kum ve kil gibi safsızlıkların miktarı da o kadar az olmaktadır (Nuhoğlu ve Elmas, 1999).



Şekil 2.8. Diatomit Ocağı Görünümü

Diatomeler daha çok volkanik faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde, tatlı veya az tuzlu göllerde ve deniz sularında yaşayan, tek hücreli, mikroskopik boyutta, silis kabuklu, esmer bir yosun çeşididir. Organizma öldüğü zaman tortu halinde çöker ve yumuşak kısmı çürüyerek kaybolur. Böylece silisli kabuklar birikir ve taşlaşarak diatomit yataklarını meydana getirir (Önem, 2000).

Diatomit hidroflorik asit (HF) hariç asitlerde çözünmez. Yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan etkilenir. Tanelerin sertliği 4-6.5 arasında, kayacın sertliği ise 1.5 civarındadır. Özgül ağırlığı $1.9-2.4 \text{ gr/cm}^3$ arasında olmasına rağmen, kuru diatomitin özgül ağırlığı 0.4 gr/cm^3 'e kadar düşebilir. Porozitesi %90'a çıkabilir ve buna bağlı olarak ağırlığının üç katı su emebilir. 1 cm^3 diatomitte her biri $0.0001-4 \text{ mm}$ çapında olan 1-30 milyon kadar diatome kabuğu ve gözenek bulunmaktadır. Elektrik, ısı ve ses izolasyonu çok iyidir (Bentli, 2001).

Diatomitin en önemli özelliği, yüksek gözeneklilik ile düşük özgül ağırlık ve beyazlıktır. Kuru halde özgül ağırlığı $0.15-0.40 \text{ g/cm}^3$ arası değişir. Opal sertliği 4.5-6.0 arası olmakla birlikte, kayacın sertliği 1.5'dan fazla değildir. Genellikle gevşektir, elde un gibi dağılır. Renk açık bej, beyaz ve gri arası değişir. Organik materyalce zengin olan diatomitler ise kahverengi, koyu yeşil hatta siyaha varabilir (Brady ve Clauser, 1991).

Diyatomit, saf, kumlu, milli, kireçli, marnlı, tüflü tiplerde gelişebilir. Masif olabilir veya laminalı tabakalanma da gösterebilir. Tane boyu dağılımı, diyatomitlerin cinsine ve iriliğine, kil ve kum gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir. Yüksek gözenekliliğe sahip olduğundan ağırlığının 3-4 misline kadar su emebilir. Isı iletkenliği düşüktür (Uygun, 2001).



Şekil 2.9. Ham Diyatomitin Görünümü

Şekil 2.9’da görülen ham diyatomit, çeşitli işlemlere tabi tutularak doğal, kalsine ve flaks-kalsine olmak üzere üç grupta piyasaya sürülür. Bunlarda kendi aralarında fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılır (Bentli, 2001).

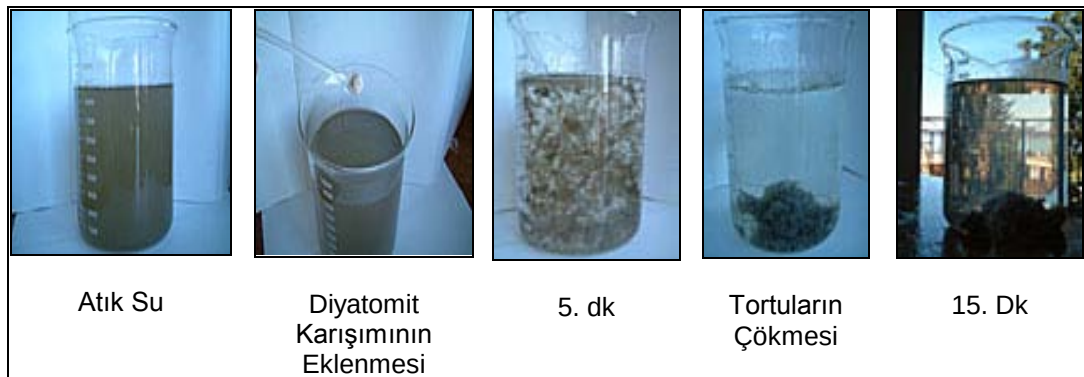
Doğal diyatomitin, döner fırınlarda hammaddenin özelliğine ve üretim şekline göre 870-1090 °C arasındaki sıcaklıklarda kavrulması ile kalsine diyatomit elde edilir. Kalsinasyon işleminde amaç, diyatomit içindeki organik maddelerin yakılarak uzaklaştırılması, diyatome kavrıklarının gözeneklerinin açılması, tanelerin büzüşerek sertleşmesi ve kaynaşmasıdır. Fırından çıkan ürün soğutulur, öğütülür, havalı ayırıcılarla zenginleştirilir ve boyut dağılımına göre sınıflandırılır. Flaks (beyaz) kalsine diyatomit ise diyatomite kalsinasyon işleminden önce %3-8 oranında soda (Na_2CO_3) veya tuz (NaCl , KCl) ilave edilerek, demir oksit demir klorüre, alüminyum oksitte alüminyum silikata dönüşerek ortamdan uzaklaştırılır ve filtrasyon hızı yüksek beyaz kalsine diyatomit elde edilir (Bentli, 2001).

Ülkemizdeki diyatomit yataklarının bulunduğu iller; Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bingöl, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Eskişehir, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde, Sivas ve Van'dır (DPT, 2001).

Diyatomit ürünleri önem sırasına göre, başlıca filtre (%60), dolgu (%21), veya izolasyon malzemesi (%2), aşındırıcı ve yüzey temizleyicisi, katalizör, taşıyıcı, hafif inşaat malzemeleri ve refrakter imalatı, kimya sanayinde silis eldesi ile gübrelerde dolgu maddesi, sentetik silikat üretimi ve topraklaşmayı hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır.

Diyatomitin yüksek porozitesi, kimyasal etkilere karşı direnci ve saflığı sebebiyle, en çok tüketildiği ve ikame ürünlerine göre rakipsiz olduğu kullanma alanı, filtrasyon işlemidir. Ham şeker şerbeti (glikoz), bira, viski, şarap, meyve suları, şurup, madeni ve nebati yağlar, eczacılık mamulleri, kirli sular, kuru temizleme çözücüler, endüstriyel atıklar, kimyasal maddeler ve lekeler gibi içerisinde süspansiyon halinde istenmeyen maddeler bulunduran sıvıların arındırılmasında diyatomitte faydalanılır (Açıkalın, 1991).

Geniş yüzey alanı ve gözenekli yapısı ile diyatomit su arıtmada kullanılır. Çeşitli kimyasal çevrimler sonucunda patentli diyatomitli özel karışım, Şekil 2.10'da görüldüğü gibi şehir ve büyük endüstriyel atık suları arıtmak için kullanılmaktadır. Büyük tanklarda toplanan atık suya uygulanan diyatomitli karışım sayesinde arıtılan su ırmak, göl ve denize deşarj edilmektedir (CES, 2009).



Şekil 2.10. Diyatomitin Atıksu Arıtmada Kullanılması

Diyatomit, dolgu maddesi olarak kullanıldığı zaman, elde edilen ürünün özelliklerini geliştirmekte ve performansını yükseltmektedir. Bu alanda en çok boya, plastik, kağıt, lastik, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve bazı kimyasal maddelerin üretiminde faydalanılmaktadır. Türkiye'de çok eski zamanlardan beri bilinen ve işletilen diyatomit, oldukça bol ve kaliteli yataklar vermektedir. Ancak bunların rezerv ve işletilebilirlik durumları, yeteri kadar incelenmemiştir. Kayseri (Hırka), Erzurum (Tortum), Nevşehir, Niğde, Ankara (Kızılcahamam ve Ayaş), Çankırı (Şabanözü, Çerkeş ve Orta), Afyon, Kütahya (Alayurt), Uşak (Kayağıl), Aydın (Karacasu), Denizli (Tırkaz), Balıkesir (Gönen) ve Bursa (Orhaneli) yörelerinde önemli diyatomit oluşumlarının varlığı bilinmektedir (Temur, 2007).

Erciyes ve Melendiz Dağları, neojen volkanizmalarına bağlı, diyatomit yatakları Aksaray'dan Kayseri'ye kadar uzanmaktadır. En büyük diyatomit yatağı olan ve Kayseri'nin 30 km kuzeyinde bulunan Hırka'da, 70 milyon ton (görünür + muhtemel) iyi kalite rezerv bulunmaktadır. Tabandaki aglomera ve tüflerin üzerinde, 21 m kalınlığa varan diyatomitli seviye, saf, tüflü, killi ve karbonatlı olmak üzere dört tip cevher vermektedir (Sarız ve Nuhoğlu, 1997).

Çankırı diyatomit yataklarının toplam rezervi 25 milyon tondur. Aydın Karacasu'da bulunan 90 m kalınlıktaki diyatomit yatağı zaman zaman işletilmiştir. Erzurum – Tortum diyatomitinin de iyi kalitede olduğu, rezervinin ise 50 milyon tona ulaşabileceği ifade edilmektedir. Çok büyük rezervli yatakların varlığı bilinmesine rağmen, dünya diyatomit yatakları hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bilinen yataklarda 250 milyon ton'u Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere, 800 milyon ton işletilebilir diyatomit rezervi vardır. Orta Doğu ve Arap ülkelerinde son yıllarda artan taleplerden tüketimin artmakta olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Suriye, Mısır, Ürdün ve İran'da talebin artmakta olduğu gözlenmektedir. Dünya piyasalarında diyatomitin tüketim ve talep hareketleri genellikle düzenli ve kararlı kalmaktadır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001).

Dünya diyatomit rezervi potansiyel alanlar hariç, görünür olarak 2 milyar tondur. Dünyanın bilinen en büyük diyatomit yatakları ABD'nin Kaliforniya eyaletinin Lompoc yakınlarındaki Miyosen ve Piyosen yaşlı Monterey ve Sisquoc biçimleridir. Diyatomit üretiminde A.B.D, Fransa, İspanya, Danimarka, Güney Kore, Meksika, Romanya ve İtalya gibi ülkeler önde gelmektedir (Breese, 1994).

Aruntaş ve ark (1998), Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş'de bulunan iki ayrı yataktan sağlanan diyatomitlerin, fiziksel özelliklerini, kimyasal kompozisyonlarını, mineralojik bileşimlerini ve mikroskobik yapılarını incelemişlerdir. Yüksek su emme yapısına sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. Diyatomitlerin, ilgili standart ve literatürlerle karşılaştırılması sonucunda, filtrasyon malzemesi, puzolanik malzeme ve yalıtım malzemesi olarak çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabileceğini gözlemlemişlerdir.

Diyatomitin yüksek gözenekliliği, ısı, ses ve elektriği az geçirmesi, erime noktasının 1400-1600 °C olması, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı ve yoğunluğunun az olması gibi fiziksel özellikleri nedeni ile filtre yardımcı malzemesi, dolgu maddesi, izolasyon maddesi, absorbent, cila maddesi, katalizör ve katalizör taşıyıcısı, hafif yapı malzemesi, refrakterler ve sentetik silikat imali gibi birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. Dünya çapında çok geniş kullanım alanına ve eşsiz özelliklere sahip olmasına rağmen diyatomit henüz ülkemizde ana hammadde olarak yerli endüstriye girmemiştir (Mete, 1982).

Ünal ve Uygunoğlu (2007), diyatomit agregalarıyla üretilen hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Afyonkarahisar ve çevresinde bulunan diyatomit şimdiye kadar agrega olarak hafif beton üretiminde değerlendirilmemiştir. Betonların çimento miktarı 250 ve 400 kg/m³ arasında değiştirilerek su/çimento oranı 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler üzerinde, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emme, birim hacim ağırlık, ultrases hızı ve görünen porozite deneyleri yapılmış, ayrıca bazı numunelerin mikro yapısı SEM yoluyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sahip olduğu bazı özellikler açısından diyatomitin agrega olarak hafif beton üretiminde değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

2.1.3. Perlitin Tanımı ve Özellikleri

Perlit, inci parlaklığında, amorf yapılı, açık gri renkli, küçük, yuvarlak camı taneciklerden oluşmuş volkanik bir kayadır (Tekin, 2004). Perlit 850 °C - 1100 °C arasında ani olarak ısıtıldığında, ilk hacminin 10-30 katı kadar genişleyen ve çok hafif bir agrega haline gelen, her türlü volkanik camdır (Özgenç, 1993).



Şekil 2.11. Ham Perlitin Taş ve Toz Halde Görünümü

Perlit, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayalara verilen bir isimdir. Perlitin tanımı; magmanın asit fazında oluşan lavların soğuyup gözle ve mikroskopla görülebilecek bir yapıda kırılmasının meydana gelen ve bünyesinde su damlacıkları bulunan camı, volkanik bir malzemedir. Bazı perlit türleri kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edildiğinden, perlit ismi inci anlamına gelen "perle" ve Almanca'da inci taşı anlamına gelen perstein kelimesinden gelmektedir. Perlit elverişli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genişleyen ve gözenekli bir hale gelen volkanik orijinli doğal bir camdır. Perlit belirli bir tane iriliğinde özel formlarda 900-1100 °C arasında ısıtıldığında hacminin yaklaşık 7 ile 20 katı kadar genişletmekte ve mısır gibi patlayarak yoğunluğu çok hafif bir malzeme haline gelmektedir. Bünyesinde %2 ile %6 arasında su bulundurmaktadır.

Çeşitli perlit kayaları renk ve yapı itibarıyla birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlitin rengi Şekil 2.11'de görüldüğü gibi saydam açık griden, parlak siyaha kadar değişebilmektedir. Genleştiğinde ise renk tamamen beyazlaşır. Kırılmış ve tane iriliğine göre ayrılmış ham perlitin gevşek birim hacim

ağırlığı 1.05 -1.20 gr/cm³ iken, genleşmiş perlitin hacim ağırlığı 0.03-0.06 g/cm³ e kadar düşebilir (Orhun, 1999).

Tanelenmiş perlit agregası ani olarak ısıtıldığında, genişerek birim ağırlığı 30 ile 240 kg/m³ arasında değişen bir malzeme elde edilmektedir. Gözeneklilik, perlit taneciklerindeki boşluk hacminin, toplam tanecik hacmine oranının ortalaması olarak tanımlanır. Gözeneklilik perlite emicilik ve yüzeyde soğuma özellikleri kazandırmakta ve bu nedenle bu özelliğin gerekli olduğu uygulama alanlarında önem taşımaktadır. Isı yalıtımı aranan durumlarda, su emicilik istenmemektedir. Bunun nedeni gözeneklere dolan suyun ısı iletkenliğini arttırmasıdır. Bu durumda silikon veya bir maddeyle gözenekler pasifleştirilerek, perlit hidrofobize edilmektedir.

Perlit 1940'da Las Vegas'taki bir fırında tecrübe suretiyle geliştirilmiş ve yapı sıvası elde etmek için, alçı ile birlikte kullanılmıştır. Tahminen 1941'de Surerrior (Arizona) yakınlarında bulunan Picket Post Dağı'ndan çıkarılmış olan ham perlit gaz fırınına aniden atılmak suretiyle pişirilmiştir. Bu deneme, geliştirilmiş perlitin kullanılması ve işlenmesi ile ilgili bir dizi deney yapan tesisin kurulmasına önderlik etmiştir. Şekil 2.12'de geliştirilmiş perlit görülmektedir. 1949 yılından önce perlitin ticari amaçla kullanım alanı çok azdı. 1952 yılında hafif beton agregalarında önemli ölçüde kullanılmaya başlanmış ve endüstrileşmenin gelişmesine bağlı olarak kullanım alanları artmıştır (MTA, 1985).



Şekil 2.12. Genleştirilmiş Perlitin Görünümü-(4-8 mm)

Perlitte en önemli özellik sudur. Perlitin bünyesi içinde bulunan suyun tamamına, bağlı su denir. Bu suyun %94–98 kadarı, ince kılcal sistemler tarafından tutulmakta olup serbest su niteliğindedir. Geri kalan %2–6 kadarı ise, perlitin %90-97'sini teşkil eden volkanik camın içine, perlit oluşurken moleküller halinde girmiş, yani perlit camıyla birleşmiştir. Buna etkin su denir. Bu suyun oluşumundan ötürü cam kütle kristalleşmemekte, perlit de kararlılığını korumaktadır. Perlit ısıtıldığında, sıcaklık 450 °C iken, serbest suyun tamamı buhar olup gider ama kayada bir değişme olmaz. Sıcaklık 700–1200 °C'ye ulaşınca camın bünyesindeki etkin su, birkaç yüz derecelik buhar haline dönüşerek kayayı patlatır ve kaybolur. Bu olayla perlitin hacmi, en az 4 misli artar, bu artış miktarı 20 kat kadar olabilir (Önem, 2000). Ham perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.4 ve 2.5'de verilmektedir.

Çizelge 2.4. Perlitin Fiziksel Özellikleri (Baş ve Kamanlı, 2001)

Ham Perlit	Renk	Gri, siyah ve grinin tonları
	Yumuşama noktası	800-1100 °C
	Erime noktası	1315-1390 °C
	pH	6.6-8.0
	Özgül ısı	0.20 kcal/ kg°C
	Özgül ağırlık	2.2-2.4 gr/ cm ³
	Serbest nem (%) maks.	0.5
	Ağırlık kaybı (%)	0.5
	Çözünme özelliği	Sıcak konsantre alkali ve HF asit (%2) konsantre mineral asitlerde az, (%0,1) seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir.
Genleştirilmiş Perlit	Renk	Beyaz, gri ve tonları, genleşince tümüyle beyaz
	Sertlik	5–6 mohs
	Yumuşama noktası	871–1093 C°
	Erime noktası	1260–1343 C°
	Özgül ısı	0.2 cal/g C°
	Isı iletkenliği	0.04 W/Mk
	Asitte çözülme özelliği	Konsantre sıcak alkali ve hidrolik asitte çözünür. Konsantre mineral asitlerinde az erir (%2). Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (%0,1)

Perlit, özel dokulu, içyapısında belli oranda su içeren, asit bileşimli esas itibariyle volkanik camdır. Nitratsülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır.

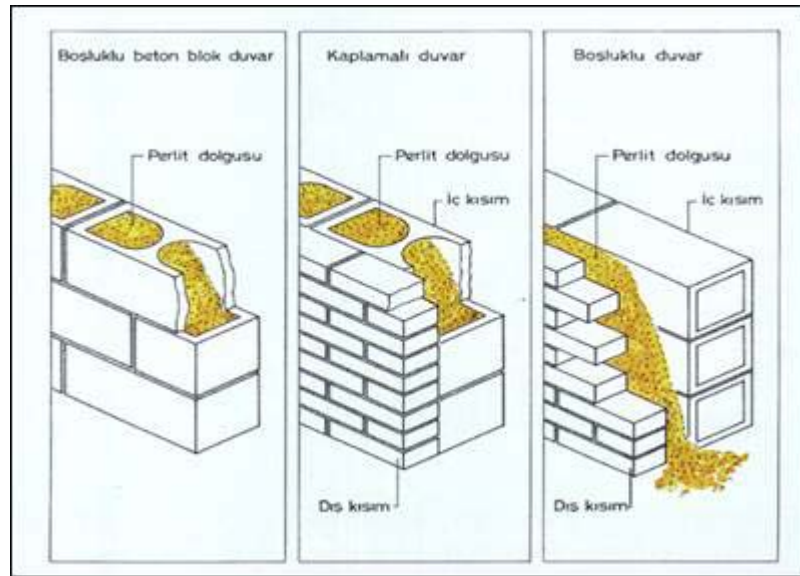
Çizelge 2.5. Perlitin Kimyasal Birleşimi (Günbay, 2008)

Madde	Oran (%)
SiO ₂	71.0-75.0
Al ₂ O ₃	12.5-18.0
Na ₂ O	2.9-4.0
K ₂ O	4.0-5.0
CaO	0.5-0.2
Fe ₂ O ₃	0.1-1.5
MgO	0.03-0.5

Perlit genişlemiş olarak kullanıldığı gibi, ham olarak da geniş kullanım alanlarına sahiptir. Perlit ve perlit ürünleri, her bir sektördeki kullanımı nedeniyle önemli bir çevre dostu malzeme olup, perlitin ticari değerini arttıran en önemli özellikler şunlardır: Perlit, radyoaktivite içermeyen madenlerden olup, yağ, içme suyu ve benzeri gıda sularının filtrasyonunda, sanayide, tarımda ve inşaatla yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Perlit anorganik bir madde olup, yüksek sıcaklıklarda özelliğini korumakta, yangının sıçramasını ve yayılmasını önlemektedir.
- Bünyesinde açık ve kapalı çok sayıda hava boşluğu olması nedeniyle hafiftir. Bu gözenekler, perlite olağanüstü ısı yalıtım özelliği kazandırmaktadır.
- Gözenekliğinin ve hafifliğinin bir sonucu olarak, yüksek frekanslı sesleri etkisiz hale getirmekte, darbeli sesleri yalıtmakta, sesi çok iyi bir şekilde absorbe etmektedir.

- Nötr bir malzeme olan perlit, kararlı kimyasal yapısı nedeniyle kimyasal reaksiyona girmemektedir. Perlit suda erimez, çürümez, bozulmaz. Sterildir, bakteri ve mikrop barındırmaz.
- Yapı malzemelerinde kullanılan perlit, hafifliği nedeniyle demir ve çimento kullanımını %15 azaltarak malzeme tasarrufu sağlamakta, maliyetleri düşürmektedir.
- Duvar bloklarının içerisine veya arasına dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca yüksek ısı yalıtım özelliği nedeni ile duvar kalınlıklarının azalmasını, böylece bina kullanma alanının artmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.13. Duvarlarda Blok Elemanlarda Perlit Dolgu Uygulaması

- Perlitin hafif olması yapının ölü yükünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Örneğin, yapılarda sıva olarak kum yerine perlit kullanılması ile ölü ağırlıkta büyük ölçüde azalma görülmektedir. Genleştirilmiş perlit az hacimli, düşük yoğunluktadır, fiziksel olarak esnektir.
- Genleştirilmiş perlit doğal bir yalıtım malzemesi olup, ısı iletkenlik değeri yaklaşık 0,035 kCal/mh⁰C dir.

Perlit günümüzde daha çok inşaat sektöründe tüketilmekte, bu nedenle de perlit hakkındaki araştırmalar inşaat malzemelerinin üretimi ve bu malzemelerin özelliklerinin incelenmesi konularında yoğunlaşmıştır. Ülkemizde üretilen perlitin %80'i inşaat sektöründe ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Isı iletkenlik değerinin çok düşük olması, hafifliği, kullanılabilme ve işlenebilme kolaylığı, ısıya dayanımı, asit ve bazlara dayanıklılığı, bakteri barındırmayışı gibi birçok avantajları, perlitin inşaat sektöründe ideal bir yapı malzemesi durumuna getirmektedir. Perlitin inşaat sektöründe kullanım alanları dört ana grupta toplanabilir. Genleştirilmiş perlit ısı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla serbest olarak duvar ve döşemelerde kullanılabilir. Genleştirilmiş perlit, çift cidarlı bir duvarın iki cidarı arasına serbest olarak doldurulabilir. İnorganik bir malzeme olan perlitin pH'ı 6-7 dolaylarındadır. Genleştirilmiş perlitin inşaat sektöründe en yaygın kullanım şekli, yalıtım özelliğine sahip ısı yalıtım betonu yapımıdır. Perlit betonlarının kullanım amacına göre yoğunlukları 300-600 kg/m³, ısı iletkenliği 0,090-0,15 kCal/mh⁰C arasında değişir. Çoğunlukla açık ve kapalı çatılarda, zemine oturan döşemelerde, ara kat döşemelerde ve alt yüzü dış etkilere açık döşemelerde uygulanmaktadır (Yılmaz, 2004).

Genleştirilmiş perlitin diğer bir kullanım alanı ısı ve ses yalıtım amaçlı sıva yapımıdır. Perlitli yalıtım sıvası genleştirilmiş perlitin, alçı veya portland çimentosu ve katkı maddeleri ile uygun oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Klasik inşaat işlemlerine ilave bir işlem gerektirmeksizin, normal kaba sıva yerine kullanılmaktadır. Yoğunluğu 400 kg/m³ olan perlitli sıvanın ısı iletkenlik değeri 0.12 Kcal/mh⁰C dir. Hafifliği, yangına karşı koruyuculuğu, nefes alan bir malzeme olması nedeniyle sağlıklı ortamlar oluşturur.

Yukarıda açıklanan üç uygulamaya ilave olarak genleştirilmiş perlit inşaatlarda şu şekillerde de kullanılmaktadır;

- Şekillendirilmiş yalıtım malzemeleri (çatı ve zemin yalıtımlarında)
- Perlitli hafif yapı elemanları, tavan kiremitleri, boru yalıtımları vs.
- Yüzey döşemelerinde (ısı ve ses yalıtıcı olarak)

2.1.3.1. Perlitin Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Perlit yataklarından ham cevher üretimi açık işletmelerde yapılmaktadır. Yüzeye yakın olan ve geniş alan kaplayan yataklar ekonomik olarak işletilmektedir. Bazı gevşek perlit ocakları ripperli dozer ile sökülebilirse de, üretim sırasında genellikle patlayıcı madde kullanılır. Ocaklarda üretilen ham cevher, fabrikalarda çeneli kırma veya merdaneli kırma makineleri kullanılarak kırılır. Daha sonra öğütme işlemleri gelir. Bu işlemler için değirmenler elekler ve kırmalı ayırıcılar kullanılır. Öğütülen perlit tane iriliğine göre tasnif edilir ve torbalanır.



Şekil 2.14. Ham ve Genleştirilmiş Perlitin Görünümü

Belirli tane iriliğinde tasnif edilmiş perlit, cevher kalitesine göre ön ısıtma işlemlerinden geçirilir. Bu işlem ile perlit bünyesindeki su miktarı %2'ye kadar düşürülebilir. Bazı perlit cevherleri ön ısıtma gerektirmeyebilir. Daha sonra yapılan genleştirme işlemi için 870-1000 °C'de çalışan dikey, eğik ve döner yatay fırınlar kullanılır. Genleştirilen perlit, havalı ayırıcılardan geçirilerek sınıflandırılır ve torbalanır. Şekil 2.14'de ham ve genleştirilmiş perlit görülmektedir.

Perlit teknolojisi daha çok makine ile ilişkisi olan yoğun bir teknolojidir. Üretim tesislerinde ön ısıtmalı bir teknoloji uygulanmaktadır. Böylece genleştirmeden önce sıkı bağlı su oranı optimuma getirilir. Perlit cevherinin genleştirilmesi ile aşağıdaki avantajlar sağlanmaktadır;

- Daha iri taneli perlit elde edilmektedir (inceler ve toz azalmaktadır).
- Genleştirilmiş perlitteki kapalı gözenekler büyük oranda artmaktadır.
- Genleşmiş ürünün kapiler su emmesi, %65 düzeyinde azalabilmektedir.

2.1.3.2. Perlitin Tüketim Alanları**İnşaat Sektörü**

- Perlitli sıvalar
- Perlit agregalı hafif yalıtım betonu (Çimento veya alçı bağlayıcılı)
- Perlit agregalı hafif yapı elemanları
- Isı ve ses yalıtıcı gevşek dolgu maddesi olarak perlit kullanımı
- Yüzey döşemelerde ısı ve ses yalıtıcı olarak perlit kullanımı

Tarım Sektörü : Toprağın fiziksel özelliklerini arttırmak için perlit kullanımı

- Tarla tarımında
- Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tarımı vb.)
- Çimli spor alanlarında

Sanayi Sektörü

- Gıda, ilaç ve diğer kimyasal maddelerin üretiminde, süzme işlemi için yardımcı madde olarak perlit kullanımı
 - Alkol süzmede
 - Bitkisel yemeklik yağları süzmede
 - Meyve suları süzmede
 - Şeker şerbeti süzmede
 - Mısır şerbeti süzmede (glikoz/dekstrozu üretiminde)
- İlaç ve kimya sanayiinde
 - Antibiyotiklerin süzülmesinde
 - Soda külü eriyiklerinin filtrasyonu
 - Sitrik asit ve fosforik asit süzme
 - Sodyum silikat (su cam) filtrasyonu
 - Kağıt sanayiinde (beyaz su) filtrasyonu
 - Boyaların süzülmesinde

Diğer süzme işlemlerinde; makina yağı süzme (kullanılmış makina yağının rejenerasyonu), içme suyu süzmede, yüzme havuzlarının suyunu süzmede, atık suları temizlemede süzme işleminde

Sanayide ısı yalıtımında perlit kullanımı

- Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında
- Soğuk depoların yalıtımında
- 1000 °C kadar sıcaklıktaki reaktörlerin yalıtımında

Metalurjide perlit kullanımı

- Dökümcülükte metalurjik flaks olarak
- Döküm kumuna katkı maddesi olarak
- Potadaki ergimiş metalin korunmasında
- Haddeye giden sıcak metal ingotların ısı kayıplarını önlemede
- Demir-çelik sanayiinde ergimiş metalin curuf kontrolunda
- Perlitli yalıtıcı refrakterlerin üretiminde
 - Seramik bağlayıcılı perlit refrakter tuğlalar
 - Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya betonlar
 - Perlitli refrakter harç

- **Diğer Uygulamalar**

İlaçlarda (insan sağlığı-veteriner ilaçları), haşere ilaçlarında (bitki koruma vb.), temizleyici tozlarda, gübrelerde, dinamit üretiminde, sondajlarda, çimentolama işlemini kolaylaştırıcı katkı maddesi olarak, gemi dipleri kaplama ve yalıtımında, petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklardan gelen su kirliliğini gidermede, ambalajlama için dolgu maddesi, plastik köpüklere ve plakalara katkı dolgu maddesi, ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi, Yangına karşı özellikle çelik kontrüksiyonlarda yalıtım katı olarak kullanılması mümkündür.

Perlitin genişlemiş olarak kullanımının yanısıra ham olarak da kullanım alanları vardır. Türkiye'den yapılan perlit ihracatının yaklaşık %50'sinin yurt dışında ham olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ham perlit kimyasal bileşimi bakımından silisli ve alüminyumlu bileşikler içermesi nedeni ile kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite gösterdikleri için inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır. Bu kullanımları, çimentodan ekonomi sağladığı gibi dayanıklılık da kazandırmaktadır. Bunun için ham perlit kayası kırılıp öğütüldüğü

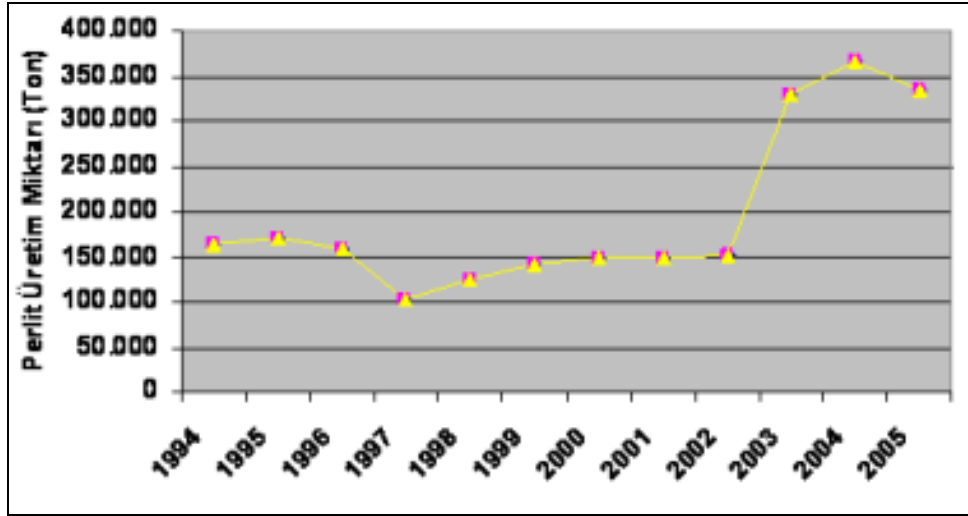
gibi, doğal olarak agrega halinde bulunan perlit kaynakları da kullanılmaktadır. Bu şekilde doğal agrega olarak bulunan perlitin ülkemizde en geniş rezervi Erzincan-Mollatepe'de ve Ankara civarı ile Nevşehir bölgesinde bulunmaktadır.

Ham perlit agrega olarak hafif yapı malzemesi niteliğinde olup aşağıdaki özelliklere sahiptir;

- Asit ve bazlara karşı, dayanıklı olduğu için kanalizasyon borularının üretiminde.
- İnşaat Malzemesi olarak
 - İç ve dış inşaat sıvalarında,
 - Çatı ve teras su izolasyonlarında,
 - Yüzme havuzu yapımında,
 - Hafif yapı malzemesi karekterinde olduğu için ısı izolasyonunda sıva olarak veya duvar bloğu gibi izolasyonlu hafif yapı elemanları üretiminde kullanılır.
- Demiryollarında patinaj kumu olarak,
- Aşındırıcı olarak,
- Filtre kumu ve çakılı olarak su arıtma tesislerinde,
- Karayolu yapımında asfalt dolgu malzemesi olarak kullanılır.

ABD, Ermenistan, Japonya, İtalya, Türkiye ve Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir. Dünya görünür rezervi 700 milyon tondur. Dünya toplam rezervi (görünür + muhtemel + mümkün) 7.700 milyon ton olup, bu rezervin 5.700 milyon tonu (%74'ü) Türkiye'de bulunmaktadır (MTA, 2003).

Türkiye perlit rezervlerinin büyüklüğü ve konumu göz önüne alınırsa, önümüzdeki dönemde üretimin daha da artması söz konusu olabilir (Uygun, 2002). Dünyadaki en büyük perlit üreticilerinden ve tüketicilerinden biri olan A.B.D.'de tüketimin %65-70'inin inşaat sektöründe yapıldığı ve bunun da %55'ini hazır yapı elemanları oluşturmaktadır. Avrupa'da yüksek vasıflı perlitin ana kaynağı Yunanistan'dır. Diğer Avrupalı perlit üreticisi ülkeler, İtalya, Macaristan, Çekoslovakya'dır. Avrupa pazarına önemli ölçüde ihraç yapan diğer üreticiler Türkiye ve Ermenistan'dır (DPT, 1996). Şekil 2.15'de Türkiye'nin perlit üretiminin yıllara göre dağılımı görülmektedir (DPT, 2007).



Şekil 2.15. Türkiye'nin Perlit Üretiminin Yıllara Göre Dağılımı (DPT, 2006)

Japonya'da perlit agregasından yeni bir hafif agrega elde edilmiş olup, bu agreganın doğalından farkı düşük su emme özelliğine ve yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Doğal perlit agregası silikon-karbit (SiC) denilen köpüklü bir sıvı ve bentonit denilen bir bağlayıcı ile karıştırılması sonucu bu yeni malzeme oluşmaktadır. Bu işlem sonucu elde edilen yeni agreganın birim ağırlığı 600 ile 1500 kg/m^3 arasında değişmiştir. 24 saat sonrası su emme oranı %5 veya daha az, özgül ağırlığı ise 1.21 gr/cm^3 olmuştur. Perlit agregası kullanarak birim ağırlığı 1700 ile 2000 kg/m^3 ve basınç dayanımı ortadan-yükseğe değişen hafif beton üretimi mümkündür (Chandra and Berntsson 2003). Çizelge 2.6'da ham ve geliştirilmiş perlit ile ilgili güncel TSE Standartları verilmektedir.

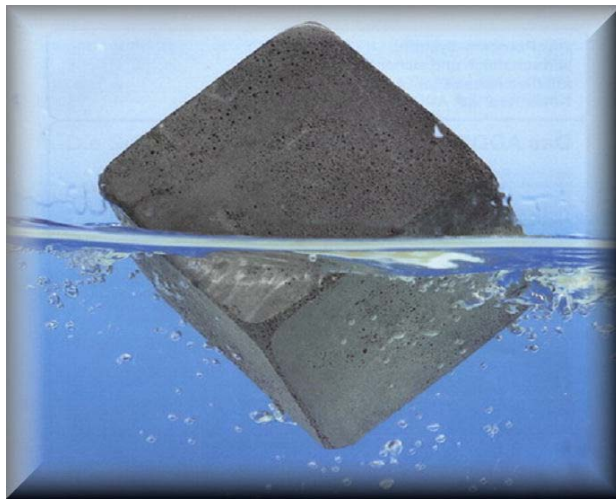
Çizelge 2.6. İçerisinde Ham ve Genleştirilmiş Perlit Geçen TSE Standartları

Isı iletkenliği ve geçirgenliği direncinin yapıda kullanılması için hesap değerinin bulunması	TS 415 EN 12939
Hafif agregalar (Beton için)	TS 1114 EN 13055
Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları	TSE 2511
Konutlarda ses yalıtımının değerlendirilmesi	TS 2381-2 EN ISO 717
Ses absorpsiyonu katsayıların ölçülmesi	TS EN ISO 354
Alçı bölme duvar bileşenleri	TSE 1474
Alçı bölme duvar bileşenlerinin yerlerine konulması kuralları	TSE 1475
Sıva yapım kuralları (Bina iç yüzeylerinde kullanılan)	TS EN 13914
Yapı elemanlarının yanmaya dayanıklılık deney metotları	TS EN 13501
Binalarda ısı etkilerinden korunma kuralları	TSE EN 825
Odun talaşı levhaları	TSE 305
Fabrika tuğlaları	TS EN 771
Uçucu küller	TSE 639
Uçucu küllü çimento	TS EN 197
Yüksek fırın cürufu çimentoları	TS EN 197
Lifli ısı ve ses yalıtma malzemesi	TS 901-1 EN 13162
Betondan mamul yapı elemanları	TS EN 771
Gaz beton yapı malzemeleri ve elemanları	TSE 453
Genleştirilmiş perlit agregası	TS EN 14316
Perlitli ısı yalıtımı betonu yapım- uygulama kuralları deney ve metotları	TS 3649
Alçılı perlit bölme duvarı elemanları	TS EN 13169

2.2. Hafif Beton Tanımı ve Özellikleri

Beton iyi bir taşıyıcı eleman olmasına rağmen, birim ağırlığının büyük olmasından dolayı yapıdaki ölü yük değeri oldukça büyük boyutlara ulaşmaktadır. Özellikle ölü yük değerinin toplam yüke oranının büyük olduğu köprü gibi büyük açıklıklı taşıyıcı yapı elemanlarında, birim ağırlığın fonksiyonu daha çok önem kazanmaktadır. Diğer yandan normal betonun birim ağırlığının büyük olmasından dolayı, ısı iletkenlik katsayısı da yüksektir. Şekil 2.16'da su üzerinde kalabilen hafif beton görülmektedir. Hafif beton normal betonun birim ağırlığının azaltılması ile hem ekonomiklik hem de ısı iletkenlik katsayısının, küçük bir değer alması sağlanmış olur.

Hafif betonların birim kütleleri, kullanım yerlerine göre büyük değişiklik göstermekte ve buna bağlı olarak özellikleri de çok farklı olmaktadır. Türkiye dünyanın en zengin ve kaliteli hafif agrega yataklarına sahip olmasına rağmen, hafif beton yapımı yok denecek kadar azdır. Bunun başlıca nedeni bu tür betonların özelliklerinin iyi bilinmemesidir. Son otuz yıl içinde, hafif beton kullanımı birçok sanayi ülkesinde özellikle; Belçika, Hollanda, Almanya, İngiltere, A.B.D ve Japonya'da çok hızlı bir şekilde artmıştır. Diğer sanayi ülkelerinde hafif betonla inşa edilmiş birçok yapı mevcuttur (Yıldız ve ark, 2004).



Şekil 2.16. Hafif Betonun Görünümü (Betonsa, 2007)

Yapıda hafif malzeme kullanmak ihtiyacı tarihte çok eski zamanlarda dahi hissedilmiş olup, Romalılar zamanında pomza taşı gibi doğal hafif taşlar inşaatta kullanılmışlardır. Ancak, hafif malzemenin beton imalinde kullanılması geçen asrın ortalarına rastlamaktadır. Bu tarihlerde Almanya'da bims betonu, diğer bir deyişle pomza taşı agregası kullanarak hafif beton imal edilmeye başlanılmıştır. Ayrıca, ABD, İsveç, Danimarka ve diğer bazı Avrupa ülkelerinde, türlü patentler altında hafif betonlar imal edilmişse de, hafif betonların çoğunlukla yapı endüstrisinde kullanılmaya başlanması ve hafif beton teknolojisinin gelişimi II. Dünya Savaşı'ndan sonra artmıştır.

Doğal gözenekli ve değişik yapıda agregası içeren beton türleri, özellikle birçok ülkede halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların arasında kullanım açısından en yaygın olanları, pomza, volkanik tuf, genişlemiş perlit, volkanik cüruf, diatomit, vermikülit vb. gibi doğal kayalardır. Bu kayalar, inşaat endüstrisinde doğal hafif agregası olarak değerlendirilmektedir. Tüm gözenekli agregaların taşıdığı kendine has yapısal özellik farklılığı, bu agregalardan elde edilmiş hafif betonların özelliklerine de yansımaktadır. Hafif betonlarda, agregaların gözenekli olmasına bağlı olarak, birçok olumlu özellikler görülebilmektedir (Bims Sanayicileri Derneği, 2009).

Hafif agregalı betonun binalarda ilk kullanıldığı elemanlar döşemeler olmuştur. Döşemeler hacim olarak bina taşıyıcı sistemin önemli bir yüzdesini (yaklaşık %70-90) oluşturdıkları için, toplam statik yükte önemli bir hafifleme elde edilmiştir. Taşıyıcı sistem kütlelerinin azalması, depreme maruz bölgelerde büyük öneme sahiptir. Böylece taşıyıcı sistemde oluşan deprem kuvvetleri de azalmaktadır (Açıkel, 1995).

Hafif betonların başlıca faydaları, düşük birim hacim ağırlık, ısı yalıtkanlığı ile donma dayanımı olarak bilinmektedir. Hafif beton, yapı zati ağırlığını azalttığından, yatay deprem kuvvetlerinin yapıya etkisi önemli ölçüde azalacaktır. Ayrıca yapı yükünün azaltılması ile betonarme yapı elemanlarının kesit boyutları küçültülebilmekte ve temel ile ilgili problemler daha kolay çözülebilmektedir. Bu durum hafif agregalı beton kullanılarak üretilen yapıların maliyet bedelini aşağıya çekmektedir. Özellikle ısı yalıtkanlığı yüksek olduğundan, yalıtım hususunda ilave

masrafa gerek kalmaksızın istenilen düzey sağlanabilmektedir. Donma dayanımının yüksek olması soğuk iklim bölgelerinde hafif betona yönelik talebi artırmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle hafif beton, hazır döşeme, çatı plağı ve duvar paneli gibi prefabrike yapı elemanlarının üretiminde ve yapı zati ağırlığını azalttığından, çok katlı ve büyük açıklıklı yapılarda kullanılmaktadır.

Yapıda hafifliğin sağlanması, inşaat teknolojisinde yapı statiği ve dinamiği açısından öneminin bilinmesinin yanı sıra, yapıya bu hafifliğini sağlayacak olan yapı bileşenlerinin de, olabildiğince hafif ve standartlara uygun özellikler gösteren malzemelerden seçilmeleri son derece önemli olmaktadır. Günümüzde farklı tanımlamalar altında değişik doğal ve/veya suni yapı malzemeleri ve bileşenleri hafifliği sebebiyle yapı sektöründe kullanılmaktadır. Ancak, uygulamalardaki güçlükler ve kullanım yerlerine bağımlı olarak gelişen bir takım problemler sebebiyle, bu tarz malzemeler inşaat sektöründe hafif yapı bileşeni olarak kullanılmış olsalar dahi, zamanla bu malzemeler üzerinde oluşan olumsuzluklar sebebiyle kullanımları çoğunlukla arzu edilmemektedir. Bu bakımdan, günümüzde doğal bir yapıya sahip ve değişen atmosferik ortam koşullarında bozulmaya uğramayan ve inşaat sektöründe hafif yapı elemanı ve bileşeni olarak kullanılabilecek yeni malzeme arayışları ve uygulamaları gün geçtikçe sektörde yaygınlaşmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'deki pomza oluşumlarının inşaat sektöründe hafif yapı elemanı ve bileşeni olarak kullanımı gündeme gelmekte ve pomzanın inşaat sektöründe kullanımı üzerine gerekli görülen tüm spesifik araştırma ve incelemelerin yapılması, hem ülke ekonomisi açısından hem de sektörde yeni bir malzeme ve ürün çeşitlerinin kazandırılması açısından önemlidir.

Pomza agregalı hafif betonlar, bugünkü modern yapı endüstrisinde, istenen düşük ağırlık yanında ısı direnci, ses absorpsiyonu ve yangına karşı direnci gibi yararlı özelliklere sahiptirler. Yapılan araştırmalarda normal beton yerine pomza agregalı hafif beton kullanılmasının başlıca sebebi olarak, hafiflikleri nedeniyle kesitlerin küçülmesi, dolayısıyla donatı ve malzeme ekonomisi sağlaması gösterilmektedir. Ayrıca, kullanılabilir mekanların artması, ısı ve ses yalıtımı için ikinci bir malzeme kullanımına ihtiyaç göstermemesi, donma çözülme ve ateşe

dayanımlarının yüksek olması ve depreme dayanıklı olmaları gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Üretim yöntemi, agrega 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 ağırlıklarını ve ısı yalıtım katsayılarının küçüklüğü teşkil etmektedir. Ayrıca, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmalarında başarılı sonuçlar elde edilince, bugün yalıtım görevine taşıyıcı eleman olarak kullanılma imkânları da araştırılarak geliştirilebilmektedir (Bims Sanayicileri Derneği, www.bimsader.com).

Hafif betonların olumsuz özelliklerinin başında basınç dayanımının düşük olması gelmektedir. Ayrıca elastisite özellikleri ve donatı-beton aderansı zayıftır. Hafif betonlarda ani ve zamana bağlı deformasyonlar ile geçirimsizliğinin yüksek olması da olumsuz özellikleri arasında göze çarpmaktadır. Araştırmacılar normal beton özelliklerini iyileştirmek için katkı maddeleri kullanımını hafif betona uygulayarak, bu betonların özelliklerini incelemektedir. Beton teknolojisindeki hızlı gelişmeyle beraber, betonun çeşitli özelliklerini belirli sınırlar içerisinde değiştirmek amacıyla katkı maddeleri kullanımı, beton üretiminin vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Hafif beton özelliklerini iyileştirmek ve yüksek dayanımlı hafif beton elde etmek için silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıları ile bunların arttırdığı su ihtiyacını karşılamak üzere, süperakışkanlaştırıcı, hava sürükleyici ve su azaltıcı katkıları kullanılmaktadır.

Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde, katkı maddeleri kullanılarak 1700 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 arasında yoğunluğa sahip, yüksek akıcılıkta ve 600 kg/cm^2 ile 1000 kg/cm^2 arasında basınç dayanımında hafif agregalı betonlar üretilbildiği görülmektedir. Ayrıca katkı maddeleri kullanımı ile hafif betonların işlenebilme ve segregasyon özelliklerinin iyileştiği, yorulma ömrü, donatı çeliği-beton aderansı, donma-çözülme dayanıklılığı ve klorid etkilerine karşı dayanıklılığının arttığı gözlenmektedir.

2.2.1. Hafif Betonların Kullanım Yerine Göre Sınıflandırılması

Hafif betonlar genellikle birim ağırlıkları ve dayanımlarına göre sınıflandırılmaktadır.

- **Hafif yalıtım betonları:** Birim ağırlıkları $250-800 \text{ kg/m}^3$, basınç dayanımları $7-70 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişen, ısı yalıtım amacıyla kullanılan betonlardır. Havalı veya hafif agregalı türlerden olabilir.
- **Orta dayanımlı betonlar:** Birim ağırlıkları $800-1400 \text{ kg/m}^3$, basınç dayanımları $70-170 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişen ve orta derecede ısı yalıtımı sağlayabilen betonlardır. Dayanımın yeterli olduğu yerlerde ve duvar elemanı yapımında kullanılırlar. Havalı, hafif agregalı veya kumsuz türden olabilirler.
- **Taşıyıcı hafif betonlar:** Birim ağırlıkları $1400-1850 \text{ kg/m}^3$ arasında, dayanımı en az 170 kg/cm^2 olan betonlardır. Isı iletkenlikleri normal ağırlıklı betonlara göre daha az olup, taşıyıcı elemanların üretiminde kullanılırlar.

2.2.2. Hafif Betonların Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılması

Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların, birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabuller vardır.

- **TS EN 206-1 (2002)'de betonlar birim ağırlıklarına göre:**

Hafif beton: $800 \text{ kg/m}^3 < \text{Etüv kurusu durumundaki yoğunluk} < 2000 \text{ kg/m}^3$

Normal beton: $2000 \text{ kg/m}^3 < \text{Etüv kurusu durumundaki yoğunluk} < 2600 \text{ kg/m}^3$

Ağır beton: $\text{Etüv kurusu durumundaki yoğunluk} > 2600 \text{ kg/m}^3$

- **DIN 1045'de betonlar birim ağırlıklarına göre:**

Hafif beton: Birim ağırlık $< 2000 \text{ kg/m}^3$

Normal beton: $2000 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2800 \text{ kg/m}^3$

Ağır beton: Birim ağırlık $> 2800 \text{ kg/m}^3$

- **ACI Committee 213 (1979)'de betonlar birim ağırlıklarına göre:**

Hafif beton: $400 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 1800 \text{ kg/m}^3$

Normal beton: $1800 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2200 \text{ kg/m}^3$

Ağır beton: $2200 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim ağırlık} < 2500 \text{ kg/m}^3$

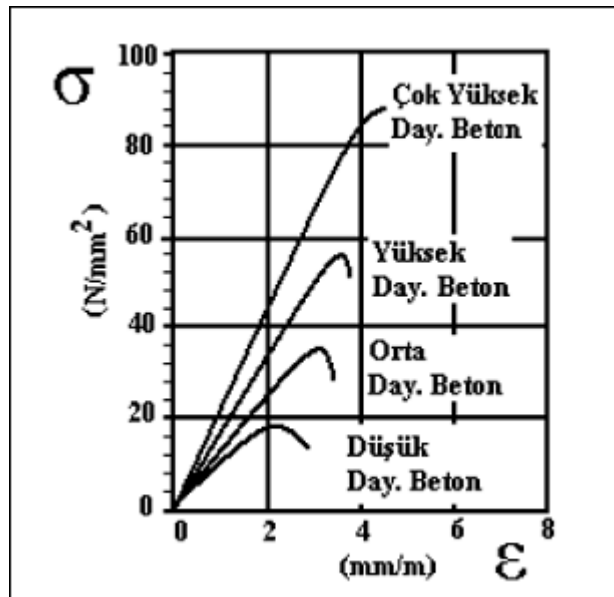
2.2.3. Hafif Betonların İmalat Yöntemine Göre Sınıflandırılması

- **Kumsuz Beton:** Betonun ince agregasını çıkarmak suretiyle, yalnız iri agregalar kullanılarak üretilen betonlardır. Çakıl, kırmataş ve tuğla kırığı iri agregalar, belli oranda çimento ile karıştırılıp, plastik kıvamda sıkıştırılmaksızın kalıba dökülerek üretilmektedir. Sıkıştırılmadığından bileşiminde önemli miktarda hava kalmaktadır. Kum kullanılmadan beton üretmek suretiyle elde edilen hafif betonlar, birim ağırlıklarının $1.6-1.8 \text{ kg/dm}^3$ arasında bulunması nedeniyle o kadar ilginç bir malzeme değildir. Çimento dozajı $140-250 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen bu malzemenin 28 günlük dayanımı, $50-95 \text{ kg/cm}^2$ arasındadır.
- **Hafif Agregalı Beton:** Betonda normal agreganın bir kısmı veya tamamı çıkarılarak, yerine doğal veya yapay boşluklu hafif agregalar kullanılmak suretiyle üretilmektedir (Duran, 2003). Mineral agregalar ile üretilen betonların birim ağırlıkları 0.5 kg/dm^3 'e kadar düşük değerler alabilir. Bu betonların mukavemeti birim ağırlıkla birlikte azalmaktadır. Birim ağırlığı 0.5 kg/dm^3 olan 300 dozlu betonun 28 günlük basınç dayanımı 35 kg/cm^2 civarındadır. Kökeni organik olan agregaları kullanarak elde edilen betonların birim ağırlıkları $0.5-1.5 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmekte, dayanımları ise mineral agregalı betonunkine göre küçük değerler almaktadır (Yavuz, 1999).
- **Havali Beton:** Çimento hamuru içerisinde kimyasal maddeler yardımı ile gaz kabarcıkları veya köpük oluşturularak üretilen, sünger gibi boşluklu bir yapıya sahip betonlardır. Çimento hamuruna alüminyum tozu gibi kimyasal maddeler katılarak gaz kabarcıkları oluşturulmakta ve gaz beton üretilmektedir. Karışım suyu çalkalandığında köpüren katkıları katılarak, özel betoniyeyle köpüklü beton üretilmektedir (Duran, 2003). Çeşitli kuruluşların, hafif agregalı taşıyıcı betonların birim ağırlık ve basınç dayanımları için öngördükleri sınır değerler Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Hafif Agregalı Taşıyıcı Betonların Sınır Değerleri (Yavuz, 1999).

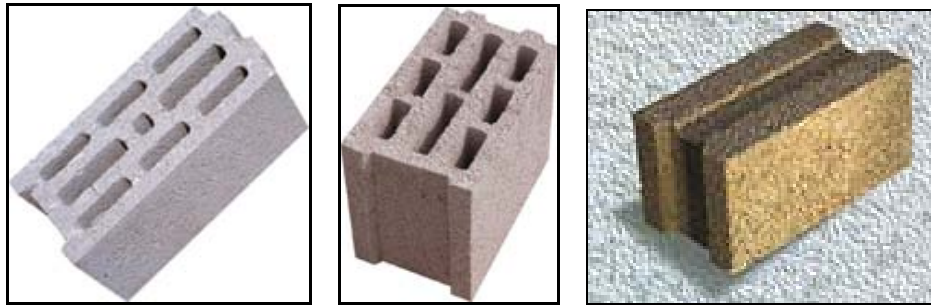
Kuruluş	28 günlük maksimum birim ağırlık (kg/m ³)	28 günlük minimum basınç dayanımı (kg/cm ²)
Türk Standartları Enstitüsü (TS 2511)	1900	160
Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 213 R)	1800	170
Avrupa Beton Birliği (RILEM)	1900	160
Alman Standartları (DIN 1045)	2000	150

Normal betonlarda genellikle agreg a matristen daha dayanıklıdır. Betona çekme gerilmesi uygulandığında çatlaklar ya matris içinden ya da matris-agrega birleşim yerinden yayılacaklardır. Çatlaklar ilerlerken agreg a tarafından tutulabilirler, ayrıca çatlakların agreg a etrafını dolaşması ve çatallaşması bir miktar enerjinin sö nüm lenmesine yol açacaktır. Hafif betonlarda ise çatlak yayılması agreg a içinden başlayacak ve bu olay ani gö çmeye sebep olacaktır. Bu yüzden hafif betonlar, normal betonlara göre biraz daha gevrek kırılırlar. Hafif betonların gerilme-ş ekil de ğ iştirme diyagramları Ş ekil 2.17’de verilmiştir (Arda, 1994).

**Şekil 2.17.** Hafif Betonların Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramları

2.3. Bimsbetondan Mamul Yapı Elemanları ve Özellikleri

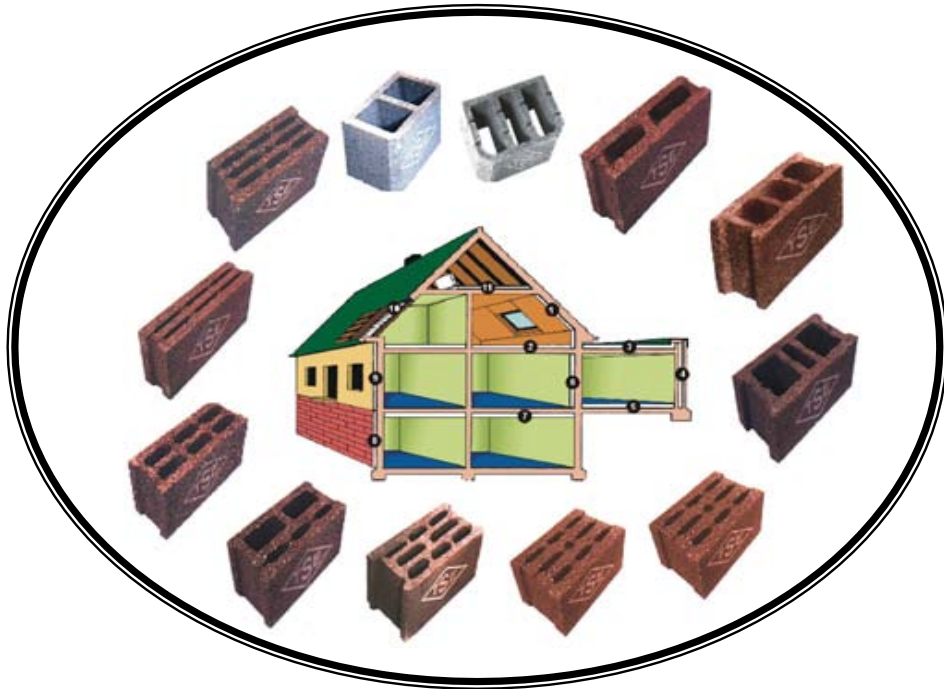
Bims betondan mamul yapı elemanları, pomza agregalarının çimento ve su ilavesi ile basınç altında, vibrasyonla sıkıştırılarak kür edilen ve gerektiğinde kuvars kumu da ilave edilerek üretilen yapı elemanlarıdır. Gözenekli bir yapıya sahip olan pomza agregasının birim hacim ağırlığı, diğer doğal agregalardan daha azdır. Normal beton karışım hesaplarının tersine, birim hacim ağırlığı, bimsbeton karışım hesabında kullanılamaz. Çünkü agreganın oldukça yüksek su emme özelliği vardır. Birim hacim ile kapladığı su hacmi arasında sabit bir bağıntı yoktur. Bu nedenle hesaplarda birim hacim ağırlık yerine, özgül ağırlık faktörü olarak adlandırılan bir faktör kullanılmaktadır. Normal beton agregasının aksine, pomza agregasının dayanımı, onu çevreleyen beton harcının dayanımından daha düşüktür (Şentürk ve ark, 1995). Şekil 2.18’de bimsbetondan mamul duvar blokları örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.18. Bimsbetondan Mamul Duvar Blokları

İnşaat sektöründe konut ihtiyacının karşılanabilmesi için, günümüze kadar çok katlı binaların inşasında bazı problemlerle karşılaşmıştır. Bunların en önemlisi binanın kendi ağırlığının fazla olmasıdır. Bina bu olumsuz ağırlıklarının azaltılması amacıyla betonda kullanılan normal agregaya yerine, alternatif malzemeler araştırılmış ve bulunan çözümün agregayı hafifletmek olduğu sonucuna varılmıştır. Beton içerisindeki normal agregaya yerine böylece hafif agregaya kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan hafif agregaya betonun özgül ağırlığını azalttığı gibi binanın ısı ve ses yalıtımını sağlamakta, yangın direncini arttırmakta ve bu gibi özelliklerinden dolayı sektör bazında kullanılma oranını arttırmaktadır (Gündüz, 2001).

Pomzadan mamul hafif yapı elemanları ve hafif beton, uzun yıllardır Avrupa'nın birçok ülkesinde ve Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmakta olup, gelenekselleşmiş bir malzeme konumundadır. İnşaat sektöründe bugünkü modern yapılarda malzemelerden istenen, az ağırlık yanında ısı direnci, ses absorpsiyonu ve yangına karşı direnç gibi en iyi özelliklere sahip olmalarıdır. Bu bakımdan, hafif agregalı yapı elemanları özellikle Şekil 2.19'da görüldüğü gibi bölme duvarlarda tercih edilen yapı malzemeleridir. Ayrıca, bu malzemelerde aranan önemli bir özellik de ekonomik olmalarıdır.



Şekil 2.19. Yapıda Bölme Duvarlarda Kullanılan Duvar Blokları

Pomzadan imal edilen yapı malzemelerinin en önemlisi ve en yaygın olanı bimsbloklardır. Bimsbloklar ısı ve ses yalıtımı özellikleriyle önemli bir malzemedir. Günümüzde dünyanın pek çok ülkesinde bu hammaddenin yıllık tüketimi 20 milyon metreküpü geçmektedir. Pomza, özellikle gelişmiş ülkelerin inşaat endüstrisinde ısı ve ses izolasyonu sağlamak için çok miktarda tüketilen ucuz ve önemli bir hammaddedir (Bims Sanayicileri Derneği, www.bimsader.com) .

Bimsden mamul duvar bloklarıyla 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 içermemesi, ısı ve sese karşı mükemmel yalıtım özelliği gibi niteliklerinden dolayı, kullanım miktarı her geçen yıl artma trendi göstermektedir.

Bimsden mamul yapı elemanları üzerinde gerek bilim adamları ve araştırmacılar gerekse firmaların Ar-Ge laboratuvarlarındaki mühendisler tarafından yapılan çalışmalarla, duvar blokları ve asmolen malzemelerde sektörün istek ve beklentileri karşılanmaya çalışılmaktadır. Duvar blokları üzerinde genellikle daha az işçilikle daha kaliteli, kolay ve seri üretim, kullanımda kablo ve tesisat geçişinde kolaylık, daha az fire ve nakliye kolaylığı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

2.3.1. Birim Ağırlık

TS EN 771-3'e göre; bimsbetondan mamul bimsblok yapı elemanları grubundan, boşluklu duvar blokları olarak $0.8-1.0 \text{ kg/dm}^3$ 'lük asmolenlerde $0.8-1.0 \text{ kg/dm}^3$ lük sınıflara dahildir.

2.3.2. Mukavemet Değerleri

Bimsbloklarda basınç mukavemet değerleri minimum 20 kgf/cm^2 , ortalama 25 kg/cm^2 veya üzerinde bir değerde olması gerekmektedir. Asmolenlerde kesme yükü değeri minimum 200 kgf/cm^2 olması istenmektedir.

2.3.3. Rötre

Su veya rutubet ortamında hacimsel genleşmeye uğrayan yapı bileşenleri rötre çatlağı yaparlar. Zamanla bu çatlaklar birleşerek malzemenin dayanımını azaltır ve deformasyonu hızlandırır. Bimsblok malzemesinin, suni olarak üretilen diğer yapı elemanlarına karşı en önemli avantajlarından biri de rötre çatlağı yapmamasıdır. Pomzanın volkanik camsı lifli minerolojik yapısı bimsbloka bu özelliği sağlar. Bimsblok, 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra periyodik kurutma işlemi sonucu boyutlarında meydana gelen değişim miktarı 0.005 mm 'den daha küçüktür.

2.3.4. Sıva Tutma Özelliği

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

2.3.5. Isıya Karşı İzolasyon Değerleri

Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri veya yalıtım değeri malzemenin yapısal özellikleri ile yakından ilgilidir. Homojen dağılmış, çok küçük gözenekli bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği, düzensiz dağılmış, büyük gözenekli bir malzemeye oranla daha küçüktür. Her yapı malzemesinin iç yapı özelliklerine göre farklı ısı iletkenlik katsayıları vardır. Çeşitli özellikte ve kalınlıkta malzemelerin yan yana gelmesi ile oluşan ısı geçirimlik değeri farklılık gösterebilir.

2.3.6. Nemlenme ve Buhar Difüzyonu

Günümüzde inşaat endüstrisine izolasyon nitelikli muhtelif yapı elemanları girmiştir. Bunlardan çoğu ideal şartlarda yüksek izolasyon özelliği gösterir. Ama doğal koşullarda bu özelliklerin tamamını bünyesinde taşıyan tek malzeme yine doğal bimsdir. İzolasyonu devamlı kılan ve ortamın bağıl nemini ayarlayan, nefes alabilen doğal mekânlar oluşturan önemli bir özelliği buhar difüzyon olayını gerçekleştirebilmesidir. Hacim içerisinde mevcut nem miktarının yükselmesi durumunda, mevcut nemin bir kısmını bünyesine alarak hacim içerisindeki havanın bağıl nem miktarına ulaşmasını sağlar. Ancak, gözeneklerin sayılamayacak derecede çok oluşu, bu gözeneklerin birbirinden camsı bir zarla yalıtılmış olması, yani kılcal bağlantılar içermemesi, petrografik yapısının volkanik cam liflerinden oluşması sebebiyle, bünyesinde suyu tutmaz. Hacim içerisinde nem miktarının bağıl nem miktarının altına düşmesi durumunda, her bir gözenekteki su buharı, hacim içerisinde geri verilir.

2.3.7. Isı Depo Etme Yeteneği

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

2.3.8. Ses İzolasyonu

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.

2.3.9. Yangına Karşı Dayanım

Bimsblok pomza madeninden imal edildiği için yüksek sıcaklıklara karşı mükemmel dayanım göstermektedir. Özellikle 760 °C'ye kadar hacimsel değişikliklere uğramadığı gibi bu sıcaklıktan sonra ise liflerde büzüşme görülmesine rağmen deforme olmamaktadır. Bu nedenle yangına karşı da en dayanıklı yapı malzemesidir.

2.3.10. Yapı Biyolojisi Açısından Bimsblok

Günümüzde gelişmiş ülkelerde yapı biyolojisi bir bilim dalı haline gelmiştir. İnsan sağlığı faktörünü ön planda tutan bilim adamları ve yapı tasarımcıları, konutların tasarlanması aşamasında kullanılacak yapı bileşenlerinde şu hususlara dikkati çekmektedirler.

- Doğal olmayan yapı malzemelerinde kullanılan kimyevi maddeler, insan sağlığını olumsuz etkilemekte ve bazı hastalıklara yol açmaktadır.
- Radyasyonu geçirmeyen iki madde; kurşun ve barit olarak bilinmektedir. Ancak, bir üçüncü madde olma yolunda olan maden ise pomzadır (Bims Sanayicileri Derneği, <http://www.bimsader.com>).

2.4. Bimsblok Kullanımının Avantajları

- Şekil 2.20’de görülen bimsbetondan mamul duvar blokları örnekleri, piyasadaki en ucuz ve hafif yapı elemanlarından biridir.
- Düşük ısı iletkenliğine bağlı olarak ($\lambda=0.16$ kcal/mh°C) yüksek ısı yalıtımı ve bunun sonucunda daha az yakıt, daha büyük pencere ve daha ince duvar olanağı sağlar.
- Gözenekli yapısı nedeniyle ses emici özelliği vardır.
- Bims agregası aynı hacimdeki kumun ve çakılın 1/3-2/3’ü kadar bir ağırlığa sahip olduğu için bims ile yapılan betonlar daha hafiftir.
- Düzgün yüzeyi ile duvar işçiliği ve sıvadan %50 oranında tasarruf sağlar.
- Dona karşı dayanımı yüksektir.
- Birim hacim ağırlığı düşüktür.
- Isı ve ses izolasyonu yüksektir (Köse ve ark, 1997).



Şekil 2.20. Bimsbetondan Mamul Duvar Blokları Örnekleri-Isparta

Konutlarda hafif veya yarı hafif beton kullanımı, enerji yönünden kazanç sağlamaktadır. Ayrıca bimsblok piyasadaki en ucuz hafif yapı elemanlarından biridir (Sezer, 2005). Bununla beraber dünyada pek çok endüstri alanının da temel hammadde kaynağı olmasına rağmen, ülkemizde tekstil sektörü haricindeki diğer endüstri alanlarında durum farklılık göstermektedir. Bu farklılık ithal-işlenmiş ürün halinde farklı ticari maddeler olarak kullanılması, daha pahalı endüstriyel ürünlerin kullanımı ve kullanım alanlarındaki endüstri dallarına hitap edecek işleme tesisleri ile yatırımların yok denecek kadar az olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ülkemizin geniş ve yüksek kaliteli rezervlerini oluşturan pomza madenlerinin karakteristik özelliklerinin, yeterince ortaya konulmaması sebebiyle, rezervlerin atıl kalması veya yok pahasına ihraç edilmesi, ülkemiz açısından büyük bir kayıptır.

Ülkemizde yapılacak konutların yıllık duvar imalatı toplamı yaklaşık 60 milyon m² dolayındadır. Bu hacmin tamamı pomzadan mamul blok elemanları (bimsblok) ile karşılanması bir varsayım olarak kabul edilirse, yılda ortalama 940 milyon adet blok ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu tesislerin tümünün, tam kapasite ile üretim yaparak pomzadan mamul hafif yapı elemanı ürettiği kabul edilirse, yeni konut duvar elemanı ihtiyacının ancak %18'ini karşılayabilecektir.

Ülkemizde üretilen (yaklaşık 1.750.000 ton/yıl) pomzanın yurt içindeki tüketiminin tamamına yakını inşaat sektöründe, hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmaktadır. Çok az bir oranda tekstil ve ziraat sektöründe kullanımı yanında, farklı endüstriyel alanlarda doğrudan veya yarı mamul olarak kullanımı bilinmemektedir. Ülkemizde 2003 yılında üretilen pomzanın %12.16'lık kısmı ham olarak yurt dışına ihraç edilmiş iken, bu değer 2004 yılında %15.92 ölçeğine yükselmiştir. Dolayısıyla 2004 yılında Türkiye pomza ihracatı 2003 yılına göre %31'lik bir artış göstermiştir. Bu da ülkemizde pomza sektöründe yer alan üretim kuruluşlarının üretim faaliyetindeki gelişmenin bir göstergesidir. Ancak, Türkiye'nin dünya pomza tüketiminde hammadde olarak yer alma oranlarına bakılacak olursa, arzu edilen ve ülke ekonomisine yüksek katma değer sağlayan düzeye henüz ulaşamadığı da görülebilmektedir (Gündüz, 2005).

2.5. Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri

Duvarlar, pencereler, kapılar, döşeme, tavan ve çatı bina zarfını oluşturur. Sağlıklı yaşam koşullarının oluşturulması, yakıt tüketimlerini azaltarak, kullanıcının düşük yakıt masrafları ile sistemini işletmesinin ve dolayısıyla hava kirliliğinin azaltılmasının sağlanması, binanın iç ve dış etkenlerden korunarak ömrünün uzatılması amacıyla, yapı bileşenleri üzerinden, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere “ısı yalıtımı” denilmektedir (İzoder, 2008).

Isı, farklı sıcaklıklara sahip ortamlarda daima sıcaktan soğuğa doğru geçerek bir denge oluşturma eğilimindedir. Yapı elemanlarını meydana getiren malzemeler, söz konusu ısı geçişine, ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir direnç gösterirler. Bir başka ifadeyle, en genel anlamda ısı yalıtımı, ısı geçişini azaltan bir dirençtir. Bunu sağlayan malzemelere de ısı yalıtım malzemesi adı verilmektedir (Sagmeister, 1999).

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi üzerine gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını kontrol altına alma ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirmişlerdir. Ülkemizde de, başta sanayi ve konut sektörlerinde olmak üzere, enerji tüketimleri her geçen yıl artmaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilmektedir (Sezer, 2005).

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 malzemeleri hangi türden bir malzeme olursa olsun, ısı geçirimsizlik karakteristiği mutlaka analiz edilerek, irdelenmelidir. Çizelge 2.8’de yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve standartları verilmektedir.

Yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile tesisat ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri birbirlerinden çok farklı özellik göstermektedir (Türker, 1999).

Çizelge 2.8. Yapılarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri ve Standartlar

Camyünü	TS 901 EN 13162İ
Taşıyünü	TS 901 EN 13162
Ekstrude Polistiren (XPS)	TS 11989 EN 13164
Poliüretan (PUR)	TS EN 13165
Fenol Köpüğü	TS EN 13166
Cam Köpüğü	TS EN 13167
Ahşap Yünü Levhalar	TS EN 13168
Genleştirilmiş Perlit (EPB)	TS EN 13169
Ekspande Polistiren (EPS)	TS 7316 EN 13163
Ahşap Lifli Levhalar	TS EN 13171
Genleştirilmiş Mantar (ICB)	TS EN 13170

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde göz önüne alınması gereken başlıca teknik özellikler şunlardır (Türker, 1999).

- Isı İletim Katsayısı (W/mK)
- Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı (μ)
- Yangın Sınıfı
- Sıcaklık Dayanımı
- Korozyon Riski
- Hacimce Su Emme-Hücre Yapısı

2.5.1. Isı İletkenlik Katsayısı

Isı iletkenlik katsayısı, malzemelerin birbirine dik birim mesafedeki, 1 m'lik iki yüzeyi arasından sıcaklık farkı 1°C olduğunda birim zamanda geçen ısı miktarıdır ve birimi W/mK'dir. Çizelge 2.9'da bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir.

Çizelge 2.9. Bazı Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayıları (Türker, 1999)

Malzeme Adı	Standart	Isı İletkenlik Değeri $\lambda(w/mk)$	Yoğunluk (kg/m^3)
Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)	TS 11989 EN 13164	Düz:0,028 Pürüzlü:0,031	min.25
Ekspande Polistren Köpük (EPS)	TS 7316 EN 13163	0,040	min.15
Cam Yünü	TS 901 EN 13162	0,040	14-100
Taş Yünü	TS 901 EN 13162	0,040	30-200
Poliüretan	TS EN 13165	0,025	30
Cam Köpüğü	EN 13167	0,052	100-200
Fenol Köpüğü	TS EN 13166	0,040	min. 30
Mantar Levhalar	TS 304 EN 13169	0,040-0,055	80-500

2.5.2. Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı

Su buharı sıcaklığa ve bağıl neme bağlı olarak, kısmi buhar basıncı yüksek olandan düşük olana doğru ilerler ve ilerlerken de bir direnç ile karşılaşır. Her malzeme, kalınlığına bağlı olarak buhar difüzyonuna karşı koyar. Bu direncin, havanın su buharı difüzyon direncine oranına, su buharı difüzyon direnç katsayısı denir.

2.5.3. Yangın Sınıfı

Gerek tesisatta, gerekse yapıda kullanılan yalıtım malzemeleri yangın güvenliği açısından güvenilir olmalıdır. Malzemelerin tutuşması, alevi yayması, çıkardığı ısı, çıkardığı duman ve toksisite, yangın güvenliği açısından, en önemli ölçütlerdir ve bir bütün olarak ele alınmalıdır. Pek çok ülkede bu güvenlik kriterleri argümanları ele alınmış ve standartlaştırılmıştır. İngiltere (BS 476), Almanya (DIN 4102), İskandinavya, İtalya, Hollanda, Fransa, İsveç bu ülkelerden bir kaçıdır.

2.5.4. Toksisite

Malzemelerin yangın anındaki davranışları yanında açığa çıkardıkları duman içersindeki gaz yoğunlukları toksisite olarak adlandırılır.

2.5.5. Korozyon Riski

Yalıtım malzemeleri olabildiğince nötr olmalı, suda çözünür klorlar ve NH_3 bünyede belirtilen oranlardan fazla olmamalıdır.

Bu teknik özelliklerin içerisinde en önemli olanı bu tez çalışmasında üzerinde durulan ısı iletkenlik katsayısıdır. Isı iletkenlik katsayısının daha iyi anlaşılabilmesi için termodinamik konusuyla, değişkenleriyle, yasalarıyla ilgili teknik bilgi ve açıklamaların verilmesi yararlı olacaktır.

2.6. Termodinamik, Kararlı Halde Isı İletkenlik Katsayısının ve İlgili Özelliklerin Tayini, TS ISO 8302 ve Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı

Termodinamik, bir sistemin enerjiyi, yararlı işe dönüştürme süreçleri ile ilgilidir. Bir sistem içerisinde yer alan, enerjileri farklı ya da benzer olabilen iyon, molekül ya da atom gibi taneciklerin etkileşimlerini (mekanik ve ısı olayları arasındaki bağlantıyı) inceleyen bir bilim dalıdır.

Termodinamik yasalara göre işin gerçekleşmesi demek, enerjinin bir durumdan başka bir duruma dönüştürülmesi demektir. Çünkü termodinamiğin, enerjinin sakınımı yasasına göre “enerji tüketilmez ancak bir formdan başka bir forma dönüştürülebilir” şeklinde ifade edilmektedir (Sarıkaya, 1997).

Bir termodinamik sistemin öğeleri arasında enerji düzeyleri bakımından farkın olmaması durumuna denge hali denmektedir. Denge hali reaksiyonun (etkileşimin) hiç olmadığı haldir (Alpaut, 1990).

2.6.1. Termodinamik Değişkenler

Bu değişkenler sistemin ya kendisini, ya da çevre koşullarını tarif etmek için kullanılır. En çok kullanılanları şunlardır;

Mekanik Değişkenler

Basınç : P (N/m^2)

Hacim : V (m^3)

İstatistiksel Değişkenler

Sıcaklık : T (K)

Entropi (Düzensizlik) : S (kJ/K)

Mekanik değişkenler, temel klasik veya parçacık fiziği tanımlarıyla tarif edilebilirken, istatistiksel değişkenler sadece istatistiksel mekanik tanımlarıyla anlaşılabilir. Termodinamiğin çoğu uygulamasında, bir ya da daha çok değişken sabit tutulurken, bir ya da daha çok değişkenin buna göre nasıl değiştiği incelenir. Matematiksel olarak bu sistemin, n sabit tutulmayan değişkenlerin sayısı olmak üzere, n boyutlu bir uzay olarak tarif edilebileceği anlamı taşır. İstatistiksel mekaniği fizik yasaları ile birleştirerek, bu değişkenleri birbirleri cinsinden ifade edecek durum denklemleri yazılabilir.

2.6.2. Termodinamik Yasaları**2.6.2.1. Sıfırıncı Yasa**

Eğer iki sistem birbirleriyle etkileşim içersindeyken aralarında ısı veya madde alışverişi olmuyorsa bu sistemler termodinamik dengededirler. Sıfırıncı yasaya göre eğer A ve B sistemleri termodinamik dengedeyseler ve B ve C sistemleri de termodinamik denge içersindeyseler, A ve C sistemleri de termodinamik denge içersindedirler. 1930'lara kadar böyle bir yasaya ihtiyaç duyulmadığı halde, diğer kanunlardan bağımsız olduğu anlaşıncaya sıfırıncı yasa adı verilerek termodinamik yasalarına eklenmiştir.

2.6.2.2. Birinci Yasa

Enerjinin korunumu yasası olarak da bilinir. Aslında mekaniğin, hatta fiziğin temel prensiplerinden biridir. Bir adyabatik işlemde (sistemin dışarı ile ısı alıp vermediği durum) iş değişimi miktarı, işlemin nasıl bir yol izlediğinden bağımsız olarak sadece sistemin ilk ve son haline bağlıdır. En bilinen haliyle enerji yoktan var, vardan yok edilemez, sadece şekli değiştirilebilir. Matematiksel olarak bu yasa şöyle gösterilir.

$$Q = \Delta U \pm W \quad (2.1)$$

Burada Q sisteme giren enerji, ΔU sistemin iç enerjisindeki değişim ve $\pm W$ sistemin yaptığı işi gösterir.

2.6.2.3. İkinci Yasa

İşlemlerin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, ters yönde olamayacağını ifade eder. Bir durum değişiminin gerçekleşebilmesi için, termodinamiğin birinci ve ikinci yasası sağlanmalıdır. Örneğin yakıt tüketerek bir yokuşu çıkan bir otomobil düşünelim. Otomobilde depodan eksilen benzin, otomobilin yokuş aşağı kendiliğinden inmesiyle tekrar depoya dolamaz. Yani durum değişimi tek yönlüdür.

Termodinamiğin ikinci yasasının Kelvin-Planck ifadesi “periyodik olarak çalışan bir tek ısı kaynağı ile ısı alış veriş yaparak sürekli olarak iş üreten bir

makinenin yapılması mümkün değildir”. Isıtma ve soğutma makinelerinin (klima, buzdolabı v.b.) termodinamiğin ikinci yasasıyla ilişkisini ise Clausius şöyle açıklamıştır. “Çevrede hiçbir etki bırakmaksızın, ısıyı ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına ileten bir ısı pompası (veya soğutma makinesi) yapmak mümkün değildir.” İkinci yasa, doğada bulunmayan tersinir işlemler için sakınım yasasıdır.

2.6.2.4. Üçüncü Yasa

Bu yasa bir maddeyi mutlak sifıra kadar soğutmanın, neden imkansız olduğunu belirtir. Sıcaklık mutlak sifıra yaklaştıkça bütün hareketler sifıra yaklaşır. Sıcaklık mutlak sifıra yaklaştıkça bir sistemin entropisi bir sabite yaklaşır. Bu sayının sifır değil de bir sabit olmasının sebebi, bütün hareketler durmasına (ve buna bağlı olan belirsizliklerin yok olmasına) rağmen, kristal olmayan maddelerin moleküler dizilimlerinin farklı olmasından kaynaklanan bir belirsizliğin hala mevcut olmasıdır. Ayrıca üçüncü yasa sayesinde, maddelerin mutlak sifırdaki entropileri referans alınmak üzere kimyasal tepkimelerin incelenmesinde çok yararlı olan mutlak entropi tanımlanabilir (Yüncü, Kakaç, 2007).

2.6.3. Isı Transfer Mekanizmaları

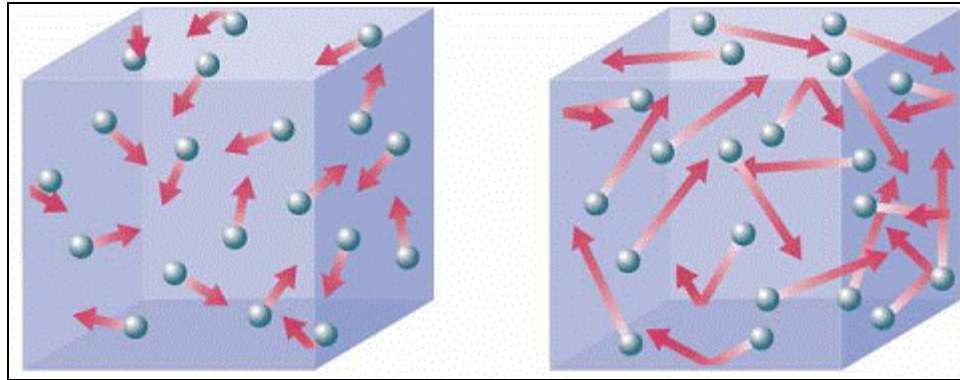
Isıl deneylerin büyük bir kısmı, yoğunluğu hafif olan gözenekli malzemeler kullanılarak gerçekleştirilir. Termodinamikte ısı, bir sistem ile çevresi arasındaki sıcaklık farkından dolayı, sistemin sınırından geçen enerji olarak tanımlanır. Isı Kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç farklı şekilde yayılır (Yüncü ve Kakaç, 2007).

- Isı İletimi (Kondüksiyon)
- Isı Taşınımı (Konveksiyon)
- Isı Işınımı (Radyasyon)

2.6.3.1. Isı İletimi (Kondüksiyon)

Isı iletimi aynı katı, sıvı veya gaz ortamındaki farklı bölgeler arasında veya doğrudan fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, moleküllerin farklı bir yer değiştirmesi olmaksızın, moleküllerin doğrudan teması sonucunda oluşan ısı yayılımı işlemidir. Bildiğimiz gibi bir maddenin sıcaklığı bu maddeyi meydana getiren moleküllerin ortalama kinetik enerjileri ile orantılıdır. Şekil 2.21’de atom ve moleküllerin titreşimi görülmektedir.

Ortam içerisinde bir bölgede sıcaklığın yüksek olması o bölgedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjilerin yüksek olduğunu gösterir. Ortalama kinetik enerjileri yüksek olan moleküller enerjilerinin bir kısmını ortalama kinetik enerjileri düşük olan komşu bölgedeki moleküllere iletirler.



Şekil 2.21. Atom ve Moleküllerin Titreşimi

Isı iletimini etkileyen unsurlar sıcaklık farkı, yüzey alanı, yüzeyi meydana getiren malzeme ve yüzey kalınlığı olarak sıralanabilir. İletme işlemi sıvılarda moleküllerin birbirini takip eden çarpışmaları ile olur. Katılarda ise, moleküllerin ve maddenin yapısını oluşturan kafeslerin titreşimleri ve/veya yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklığa serbest elektron sürüklenmesi ile olur. Genelde titreşim ile iletilen enerji miktarı, elektron sürüklenmesi ile iletilen enerji miktarına kıyasla ihmal edilebilecek kadar az olduğundan katılarda enerji iletiminin elektron sürüklenmesiyle olduğu söylenebilir. Bu nedenle iyi elektrik iletkenler aynı zamanda iyi ısıl iletkenlerdir (Yüncü ve Kakaç, 2007). Şekil 2.22’de yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi görülmektedir.

2.2'deki eşitlik homojen, izotropik λ herhangi bir noktada ve bütün yönlerde aynı) ortamlar için Fourier ısı iletimi kanunudur. Bu kanun ilk defa Fransız bilim adamı J.B. Fourier tarafından 1822 senesinde önerilmiştir. Bu ifade kalınlığı L olan hareketsiz bir akışkandan ısı akımını hesaplamakta da kullanılabilir.

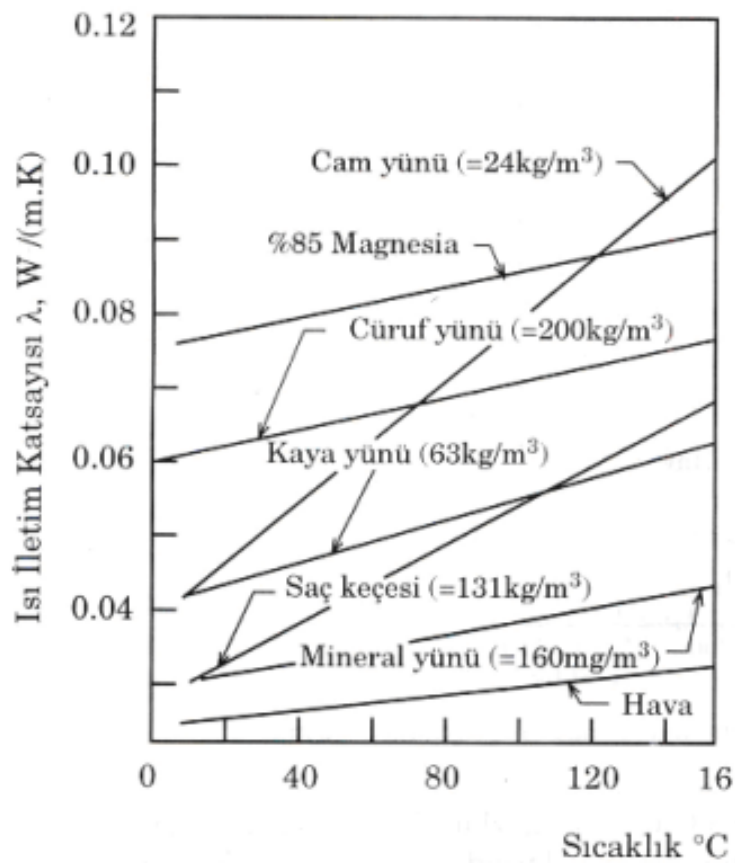
$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{L} \quad (2.2.)$$

λ = ısı iletim katsayısı (W/m.K)

A = Yüzey alanı (m^2)

T = Dış ve iç yüzeyde sıcaklık farkıdır (Kelvin)

L = İletimin gerçekleştiği kalınlık (metre)



Şekil 2.22. Yalıtım Malzemelerinin İ.İ.K. Sıcaklıkla Değişimi (Yüncü ve Kakaç, 2007)

2.6.3.2. Isı Taşınımı (Konveksiyon)

Bir yüzey üzerinden veya bir boru içerisinde akan akışkanın sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı ise akışkanın hareketi sonucu akışkan ile yüzey arasındaki ısı transferi mekanizması konveksiyon (taşıma) olarak adlandırılır. Akışkanın hareketi uygulanan basınç farkı nedeni ile oluşuyorsa zorlanmış konveksiyondan (ısıtılmış borudan pompa ile akışkanın hareketi), yoğunluk farkı nedeniyle oluşuyorsa doğal konveksiyondan (sobanın çevresini ısıtması v.b.) bahsedilebilir.

Çizelge 2.10. Isı Transfer Katsayısının Değerleri

AKIŞKAN	Doğal Konveksiyon	Zorlanmış Konveksiyon
Gazlar	5-30	30-300
Yağlar	5-100	30-3000
Su	30-300	300-10000
Sıvı metaller	50-500	500-20000
Su kaynaması	2000-20000	3000-100000
Su buharı yoğunlaşması	3000-30000	3000-200000

Yüzey ile akışkan arasındaki konveksiyon mekanizması oldukça karmaşık olduğundan, ısı transferi katsayısı'nın teorik veya deneysel olarak tayini oldukça zordur. Genellikle akış yönünde yüzey boyunca değişir (Yüncü ve Kakaç, 2007).

2.6.3.3. Isı Işınımı (Radyasyon)

İletim ve taşınımında, enerji bir ortam vasıtasıyla transfer edilir. Deneysel sonuçlar hiçbir transfer ortamı olmaması durumunda da enerjinin transfer edildiğini göstermektedir. Elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla olan bu ısı transferi mekanizması kısaca ışıma olarak adlandırılır. Işıma terimi genel olarak bütün manyetik dalga olayları için bütün ısı ışımadır cisimler (katı, sıvı veya gaz), özellikle yüksek sıcaklıkta enerji yayımlarlar. Yayımlanan enerjinin yoğunluğu yüzey sıcaklığına ve yüzeyin doğasına bağlıdır. Ayrıca bütün cisimler üzerine düşen ısı

ışışmanın bir kısmını soğurur, bir kısmını geçirir, kalan kısmını da yansıtırlar. Burada belirtmek istediğimiz bir cismin sıcaklığından dolayı meydana gelen kısmını geçirir, kalan kısmını da yansıtırlar.

Isı ışıınımı maddesel ortam olsun olmasın meydana gelir. Işıınım enerjisi elektro-manyetik dalga (EMD) + fotonlar ile yayılır. EMD boşlukta ve maddesel ortam içinde yayılabilir. Işıınım enerjisi en iyi boşlukta, gaz ortam içinde, sıvı ortam içinde ve en kötüde katı ortam içinde yayılır. Boşlukta kayıpsız yayılır. Işıınımı yayan kaynağın sıcaklığı büyük ise dalgalar kısa olur.

2.6.4. TS ISO 8302 ve Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı

Bu çalışmada deneylerde kullandığımız mahfazalı sıcak plaka cihazı çalışma kapsamında tasarlanarak imal ettirilmiştir. TS ISO 8302 kararlı hal ısı aktarım ölçümleri ve deney parçalarının ısı aktarım özelliklerinin hesaplanması için, mahfazalı sıcak plaka cihazının kullanımını tanımlayan deney metodunu kapsar. Bu standarda uygun olarak tasarlanan cihazın üretim aşamaları 10 ay boyunca yerinde kontrol edilmiştir. Deneme ölçümlerinde referans numunelerin ölçüm deneyleri ve güvenilirlik testleri yapılmıştır. Testler sonucunda cihazın ölçme hassasiyetinin yeterliliği belirlenmiştir. Mahfazalı Sıcak Plaka metodu sadece uzunluk, sıcaklık ve elektrik enerjisi ölçmelerine dayandığından, ısı aktarım özelliklerinin ölçülmesinde mutlak veya birincil metod olarak kabul edilir (TS ISO 832, 2002).

Bir malzemenin ısı aktarım özellikleri:

- Malzemelerin bileşimindeki değişkenliklere bağlı olarak değişebilir,
- Nem ve diğer faktörlerden etkilenebilir,
- Zamanla değişebilir ortalama sıcaklıkla değişebilir,
- Önceden maruz kaldığı ısı işleme bağlı olarak değişebilir.

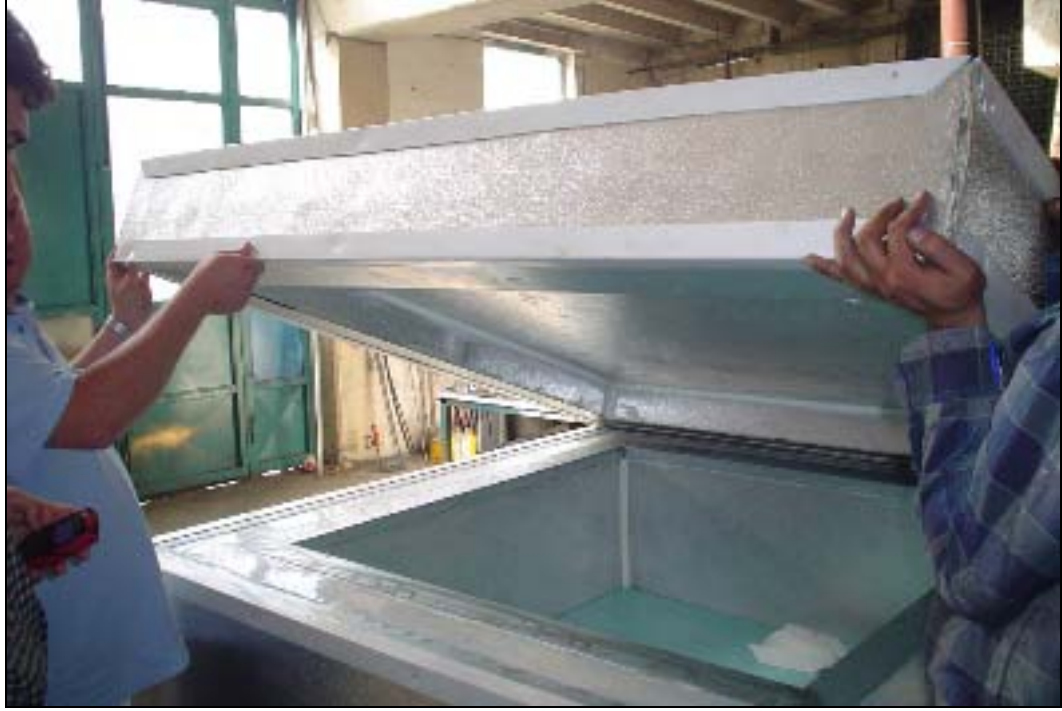
Belirtilen bu sebeplerden dolayı özel bir uygulama için bir malzemeyi ısı aktarım özellikleri açısından tanımlamak üzere tipik değerlerinin seçiminin, belirtilen hususlara göre yapılması gerekir ve her çeşit kullanım şartlarında malzemeyi belirten özellikler yönünden iyileştirmeden uygulamak mümkün olmayabilir (TS ISO 832, 2002).

Mahfazalı sıcak plaka cihazının amacı, düz, paralel yüzeylere sahip yeknesak levhalar halindeki deney parçalarında, iki düz paralel izotermal yüzey arasında, levhada var olan bir tek yönlü yeknesak ısı akış hızı yoğunluğunu, kararlı hal şartlarında tayin etmektir. Şekil 2.23’de kontrol ünitesinin testlerinin yapıldığı aşama görülmektedir.



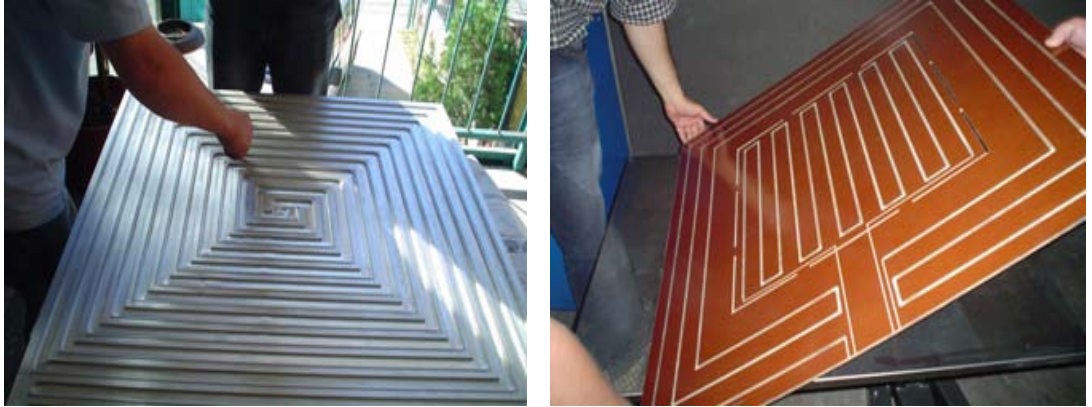
Şekil 2.23. Cihazın Yapım Aşamasında Kontrol Ünitesinin Testleri

Mahfazalı sıcak plakaların tasarımı ve kullanıcı tarafından doğru işletimi sonucu güvenilir veriler elde etmek, deneysel sonuçları yorumlamak, büyük dikkat gerektiren karmaşık bir konudur. Mahfazalı sıcak plakanın tasarımcısının, kullanıcısının ve ölçülen değerleri kullanan uygulayıcının, değerlendirilmekte olan malzemelerdeki, mamullerdeki ve sistemdeki ısı aktarımına ilişkin iyi bir bilgi altyapısına ve özellikle düşük sinyal düzeylerinde elektrik ve sıcaklık ölçümlerine ilişkin deneyime sahip olması tavsiye edilir. Ayrıca genel deney işlemlerini veren standart metinlere göre ölçme yapanların çok iyi laboratuvar deneyimine sahip olmaları esastır. Şekil 2.24’de cihazın numunenin yerleştirileceği ünitenin yapıldığı aşama görülmektedir.



Şekil 2.24. Cihazın Numune Yerleştirme Kasasının Ünitesinin İmalatı

Deneylerde kullanılan cihaz tek deney parçalı cihaz olup, tek yönlü yeknesak ve sabit ısı akış hızı yoğunluğunun tayin edildiği ısıtma ünitesinden oluşur. Cihazda deney parçasının iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ΔT , Şekil 2.25’de görülen plakaların yüzeyine monte edilen sıcaklık algılayıcıları ile ayarlanmaktadır. Metodun uygulanması cihazın tek yönlü sabit ısı akış yoğunluğu temin edebilmesi ve sıcaklık, boyut ölçümlerindeki doğrulukla sınırlıdır. Sistemin kararlı hale gelmesi için gerek cihazdan, gerekse de deney numunesinden kaynaklanan sınırlamalardan dolayı, yirmi dört saate varan, hatta çok dirençli malzemelerde daha uzun süre beklemek gerekebilmektedir. Yapılan deneyler neticesinde, numunelerin kalınlıklarındaki ve bileşimindeki farklılıkların, sistemin kararlı hale gelmesi için birbirinden çok farklı zaman gerektirdiği gözlenmiştir.

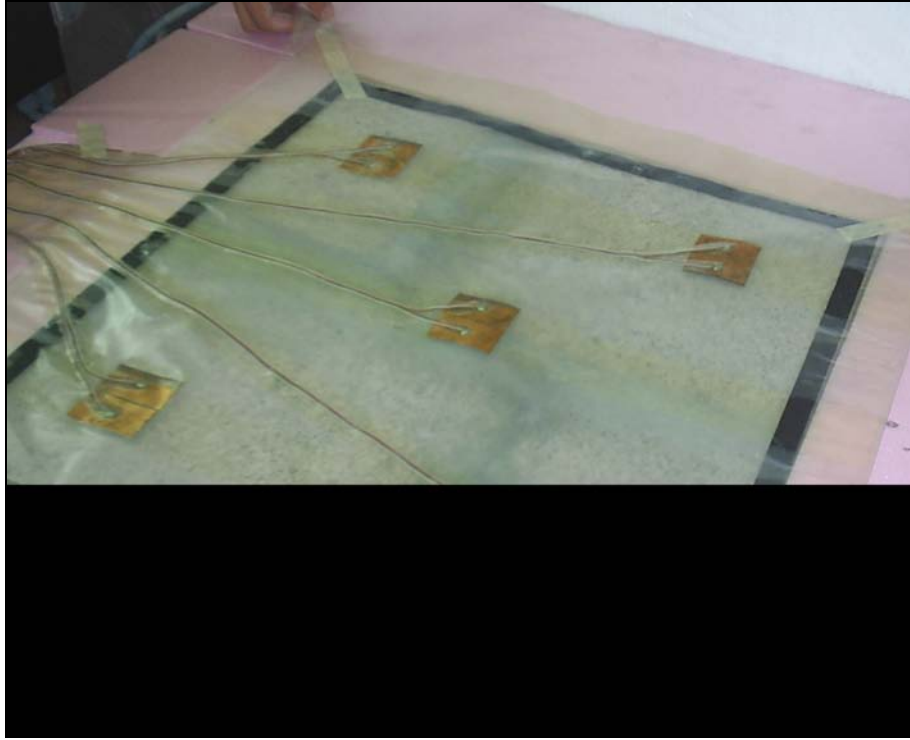


Şekil 2.25. Isıtma ve Soğutma Ünitelerinin İmalat Aşaması

Bir mahfazalı sıcak plaka cihazının tam boyutu, normal olarak 0.2-1 m olan daire veya kare şeklindeki deney parçası boyutlarıyla belirlenir. 0.3 m den daha küçük deney parçaları, yığın malzemesini temsil edemeyebilir. 0.5 m’den daha büyük deney parçaları, deney parçası veya plakaların düzlemselliğinin, sıcaklık yeknesaklığını, dengeye ulaşma süresinin ve toplam maliyetinin makul sınırlar içinde kalmasını sağlamak bakımından ciddi sorunlar yaratabilir. Bu sebeplerden dolayı mukayese kolaylığı ve ölçmelerde genel iyileştirme sağlamak için, mahfazalı sıcak plaka cihazının tasarımında deney parçasının

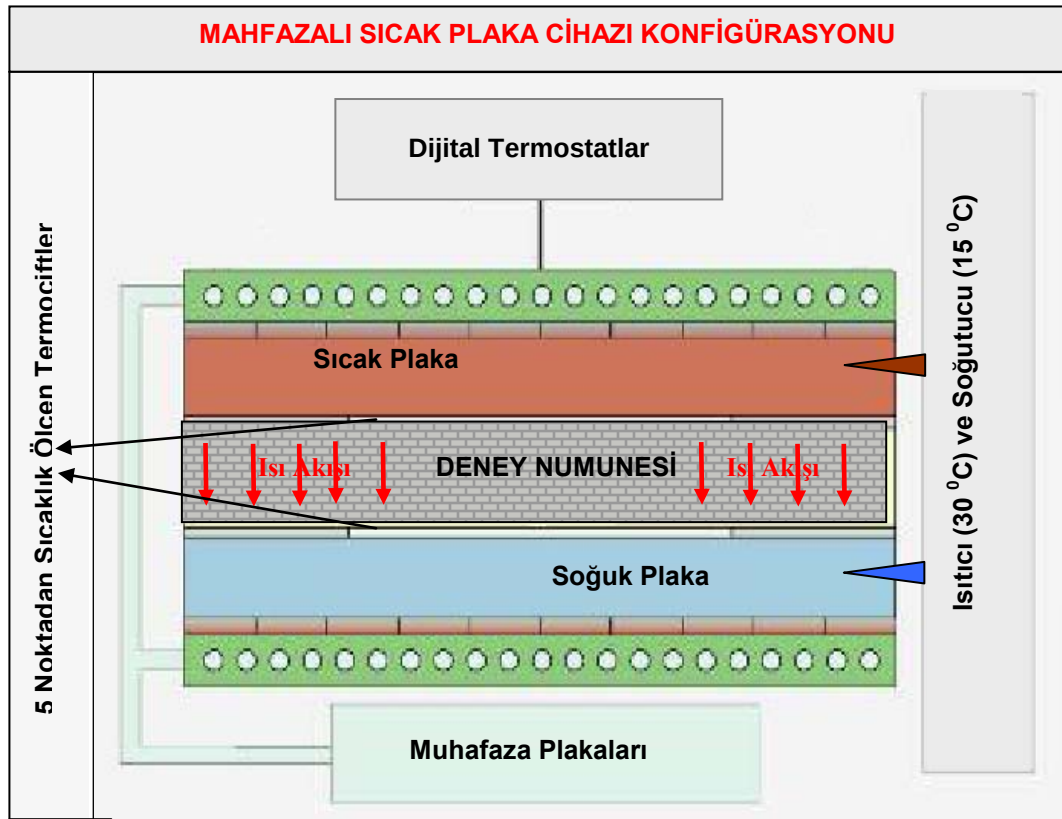
- 0.3 m çap veya kare
- 0.5 m çap veya kare standart boyutlardan birinin esas alınması tavsiye edilir.

İzole malzemelerinin ısı iletim kabiliyetleri laboratuvar koşullarında deneysel olarak saptanabilmektedir. Bu deneyler sadece 10 °C veya 40 °C gibi düşük sıcaklık ortalamalarında değil, bu malzemelerin kullanıldığı üst limit değerlerinde de yapılabilmektedir. Bu yüzden Alman deney normu (DIN 52612-1,-2,-3, 1984) kısa ve çok dar tutulmamıştır. 5 ayrı noktadan sıcaklık değerlerini ölçen termoçiftlerin görünümü Şekil 2.26’da verilmektedir.



Şekil 2.26. Sıcaklık Değerlerinin 5 Ayrı Noktadan Termoçiftlerle Ölçülmesi

Genellikle izole malzemelerinin deney parçası büyüklüğü 500x500 mm, ölçüm yüzeyi 250x250 mm ve kalınlığı 100 mm'dir. Bu sıcaklık bölgesinin ölçüm hassasiyeti %3 ten küçüktür. Tavsiye edilen büyüklüklere yakın numuneler kullanılabilir. Isı iletim kabiliyetinin laboratuvar değerlerindeki sapmalar mamulün kalite değişikliklerine bağlıdır. Bu nedenle üreticinin mamul için deklare edeceği anma değeri istatistiksel olarak da doğrulanmalıdır. Kullanıcı için izole malzemesinin anma değeri, pratikteki ısı iletim kabiliyetinin ortalama değerini ve garanti edilen işletme ısı iletim kabiliyeti değerini ifade etmektedir. Üreticinin ve kullanıcının karşılaştırabilmesi için plaka deneyi ön görülmektedir. Bu metotta yanılma ve hata oranı daha azdır. DIN 52612-1,-2,-3 veya ISO 8302'nin ön gördüğü deney metodları kuşkuyla mahall bırakmamaktadır. Şekil 2.27'de mahfazalı sıcak plaka cihazı konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.27. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı Grafik Konfigürasyonu

Mahfazalı sıcak plaka cihazında ölçülecek numune rijit, çok sert olan ve ısıtma ve soğutma ünitelerinin basıncıyla şekil değiştirmeyen malzemelerden yapılmış deney parçalarında, deney parçalarının yüzeyindeki küçük düzensizlikler (düz olmayan yüzeyler), deney parçaları ile ısıtma soğutma ünitelerinin ve ısı akış sayacının çalışma yüzeyleri arasındaki temas dirençlerinin, düzensiz dağılmasına neden olabilecektir. Bu yüzden numunenin yüzeyi düz olmalıdır.

Ölçülecek olan ısıl direncin üst sınırı, ısıtma ünitesinde sağlanan gücün kararlılığı, güç seviyesini ölçme yeteneği ve ısıtma ünitesi ile deney parçasının ölçme ve mahfaza kısımları arasındaki, ısı kayıplarının veya kazançlarının büyüklüğü ile sınırlıdır. Bu ısı kayıplarının önlenmesi doğru sonuç almak için önemlidir.

Her bir plakanın sıcaklık ölçmeleri, bağımsız referans bağlantılı termociftlerle yapılırsa, her bir termociftin kalibrasyonunun doğruluğu, ölçülen sıcaklık farkının doğruluğunda sınırlayıcı olabilir. Bu durumda, ölçme hatalarını en aza indirmek için

kullanılan sıcaklık farkının çok düşük olması gerekir. Kullanılan cihazın tipine bağlı olarak, her laboratuvar numunesinden bir ya da iki deney parçası seçilmelidir. İki deney parçası gerekiyorsa bunların kalınlıkları arasındaki fark %2 den az ve diğer özellikler mümkün olduğunca özdeş olmalıdır. Deney numuneleri, ısıtma ünitesinin sıcaklık uygulama plakalarını kaplayacak mahiyette olmalıdır. Deney parçasının kalınlığı ile ısıtma ünitesinin boyutları arasındaki ilişki standarttaki ilgili eşitlikler kullanıldığında, dengesizlik ve kenar ısı kaybı hataları toplamını %0.5 ile sınırlamalıdır. Cihazın genel görünümü Şekil 2.28’de görülmektedir.



Şekil 2.28. Cihazın Genel Görünümü

Homojen olmayan deney parçalarında ısı iletkenlik ölçmeleri yapıldığında, ölçme alanı yüzeyinde ve deney parçası içindeki ısı akış hızı yoğunluğu, tek yönlü olmayabilir. Bu durumda deney parçaları içinde ısı iletkenlik bozulmaları meydana gelecek ve ciddi hatalara sebebiyet verecektir. Ölçme alanına bitişik deney parçası bölgesi ve özellikle bu alanın kenarlarına yakın bölgeler kritiktir. Isıl direnç veya ısı iletkenlik, yoğunlukla, deney parçasının yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonudur. Isı iletim süreçleri içinde, sadece kondüksiyon, deney parçası

kalınlığı ile doğrudan orantılı bir ısı direnç yaratır. Diğer mekanizmaların kalınlığa bağıllığı daha karmaşıktır. Malzeme incelidikçe ve yoğunluğu düştükçe ısı aktarımının kondüksiyon dışında diğer süreçlere bağıllığı daha da artar.

Cihaz merkezi ölçme kısmından ve mahfaza kısmından ibarettir. Ölçme kısmı, ısıtıcı ve yüzey plakalarından oluşur. Yüzey plakaları genellikle yüksek ısıl iletkenliğe sahip metallerden yapılır. Isıtma ve soğutma ünitesi plakalarının çalışma yüzeyleri, deney parçası ve çevresiyle kimyasal reaksiyona girmemeli, gerçek bir düzleme uyacak şekilde pürüzsüz olarak perdahlanmalı ve periyodik olarak kontrol edilmelidir. Isıtma ünitesi, tasarlanan kullanım amaçları için uygun özellik ve uygun bir ısı akış hızı yoğunluğu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Soğutma ünitelerinin boyutları, mahfaza ısıtıcıları dahil olmak üzere en az ısıtma ünitesinin yüzeyinin boyutları kadar olmalıdır. Üniteler deney parçaları yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının %2 sınırları içinde ve ısıtma ünitesinin sıcaklığından daha düşük olmak üzere sabit ve yeknesak bir sıcaklıkla tutulabilen metal plakalardan oluşur.

Mahfazalı sıcak plaka cihazına yerleştirilen, deney numunesine ait karakteristik değerleri görmemize yarayan, dijital bir gösterge bulunmaktadır. Gösterge bölümü sayesinde ölçmenin başlatılıp başlatılmamasına karar verilmektedir. Sisteme verilen enerjiye ait göstergede, verilen enerjinin düzenli hale geldiği görüldükten sonra ölçme işlemine geçilmelidir. Aynı zamanda, sistemdeki sıcaklık farkının istediğimiz değerlere ulaşp ulaşmadığı da bu bölümden takip edilmektedir. Ayrıca, gösterge bölümünde tank sıcaklığını, soğuk folyo sıcaklığını, sıcaklık farkını, sıcak folyo sıcaklığını, çerçeve fark ve muhafaza fark sıcaklık değerlerini görmemize olanak sağlayan göstergeler bulunmaktadır. Mahfazalı sıcak plaka cihazına yerleştirilen numunelerin yapısına bağılı olarak, (polistren köpük, boşluklu beton v.b.) ölçme yapılmadan önce ısı iletim katsayısı ölçülecek malzemenin türünün seçilmesi gerekmektedir.

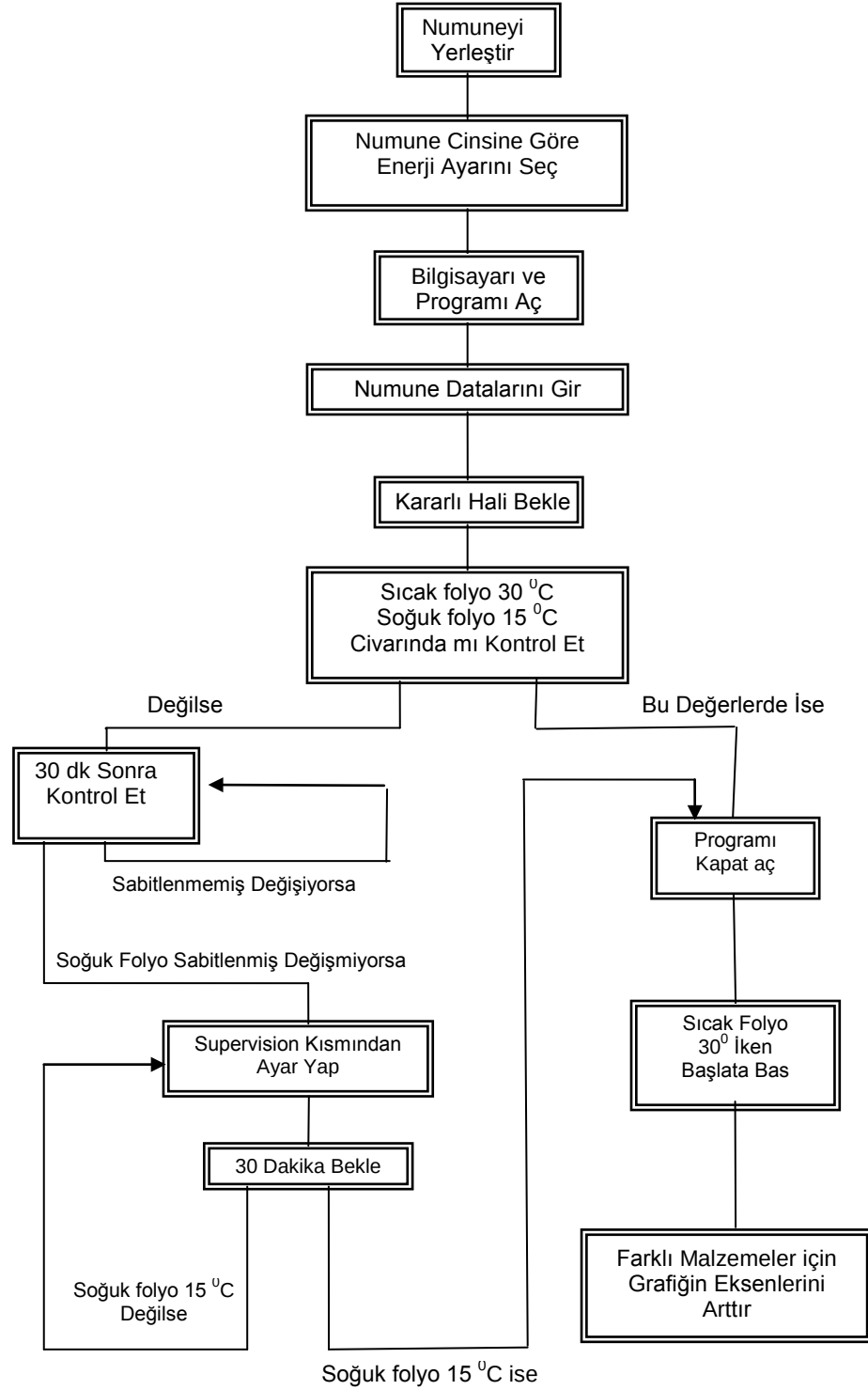
Ölçülecek malzemeye ait ısı iletim katsayısı değerleri bilgisayar programından grafiksel olarak takip edilmektedir. Numuneye ait ölçme işlemine başlanmadan önce numunenin adı ve metre cinsinden numunenin kalınlığı programa

girilmelidir. Program başlatıldığı zaman ana menüde güç, ortalama ısı ve sonuç adı altında üç değişkene ait grafik bulunmaktadır. Grafik üzerinden üç değişkene ait değerler ve grafik takip edilmektedir. Sisteme verilen güç, ortalama ısı ve sonuç grafiklerinden sistemin kararlı hale geldiği belirlendikten sonra ısı iletim katsayısı değerini program üzerinden okuyoruz. Bahsedilen grafik değişkenlerinin paralel hale gelmesi, sistemin zamandan bağımsız olduğunu göstermektedir. Zaman ilerledikçe çok küçük değerler dışında sistemin ısı iletim katsayısında herhangi bir değişme gözlenmemektedir. Program üzerinden, sisteme verilen enerji değeri de okunabilmektedir. Program daha önce yapılan ölçme işlemlerini kaydetmektedir. Yaptığımız ölçmeye ait grafikleri, istediğimiz zaman aralığında, programa kaydettirmemiz de mümkündür. Şekil 2.29’de mahfazalı sıcak plaka cihazının iş akış şeması verilmektedir.

Plaka yönteminde, bir bloğun ısı iletkenlik değeri, TS ISO 8302 “Plaka metodu ile Isı İletkenliğinin Tayini” standardında ön görülen prensiplere göre ölçümü yapılmakta ve ölçümden elde edilen değerler, TS EN 12667 “Isı İletkenliği ve Isı Geçirgenliği Direncinin Yapıda Kullanılması İçin Hesap Değerlerinin Bulunması” standardında öngörülen hesap algoritmasına göre belirlenebilmektedir.

Bu yöntemden elde edilen sonuçların güvenle kullanılabilmesi için ;

1. Malzeme yüzeyine uygulanan ısı miktarına göre hesaplama yapıldığında, yalıtılmış mahfazalı sıcak plaka cihazının ısı kaybı (malzeme yalıtkan olsa bile önemli bir miktar ısıyı depolayacaktır) ihmal edilmektedir.
2. Plaka yönteminde, malzeme yüzeyi ısı kaynağı ile doğrudan etkileşim halindedir. Bu bakımdan, hem konveksiyon hem de radyasyonla (ışınım) ısınma söz konusu olduğundan, malzeme yüzeyinin tamamının homojen olarak ısınması pratik olarak zordur. Yüzeyler arası sıcaklık farkına çok çabuk ulaşılmaktadır. Malzeme üzerinden ısı akışının ve yüzeyler arası sıcaklık farkının fonksiyonu değişiklik sergilemektedir.
3. Tuğla ve bimsblok gibi elemanların ısı iletkenlik değeri bu elemanlardan alınan parçaların ve durgun havanın ısı iletkenlik değeri ayrı ayrı hesaplanarak ve değerler entropole edilerek bulunabilmektedir.



Şekil 2.29. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazının İş Akış Şeması

Isı transferinde, kararlı (steady) ve kararsız (unsteady) olmak üzere, iki farklı hal söz konusudur. Kararlı halde ortamdaki ısı transferi, zamandan bağımsızdır. Yani, ortamdaki sıcaklıklar zamana bağlı olarak değişmez. Kararsız halde ise, ortamdaki ısı transferi zamanın bir fonksiyonudur, diğer bir ifade ile ortamdaki sıcaklıklar zamana bağlı olarak değişir. Bu tip ısı transferinde, yeterli bir süre geçtikten sonra ısı iletimi kararlı hale gelir (Göktürkler, 2002).

Selver ve Ark (2002), tarafından Polystren'nin bazı ısı ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Polystren'lerin yoğunlukları tespit edildikten sonra, polystren'nin kondüksiyonla ısı iletim katsayıları, ses izolasyon özellikleri ve yangın dayanımları bulunmuştur. Polystren'lerin kondüksiyonla ısı iletim katsayıları onların yoğunluklarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Şayet Polystren sıvalı bir panel, duvar olarak kullanılırsa, yangına karşı yeterli dayanımda olacağını savunmuşlardır.

Selver ve Ark (2002), polystren malzemeler ile yaptıkları çalışmada, Heat Conduction Unit, H940 ısı transfer ölçüm cihazını kullanmışlardır. Deney cihazında, hazırlanan Polystren numuneler, izolasyon malzemesi olarak kullanılan silindirik boru şeklinde teflon içerisine yerleştirilmiştir. Isıtıcı ve soğutucu başlıklar arasına sıkıştırılmak suretiyle silindirik deney numunesinin simetri eksenini ile cihazdaki ısıtıcı ve soğutucu silindirik başlıkların simetri eksenleri, yatay düzleme paralel olacak şekilde aynı doğrultuya getirilerek ölçümler yapılmıştır.

Sıkıştırma basıncı yüzey temasını iyi bir şekilde gerçekleştirilecek şekilde ayarlanmıştır. Numuneye verilen ısı yükü farklı değerlerde uygulanarak, hesaplanan ısı iletim katsayılarının aynı numune için, yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmüştür. Çalışma neticesinde, malzemenin ısı iletim katsayısının, malzemenin yoğunluğuna bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. 20-22 kg/m³ yoğunluklu polystrenin, en düşük ısı iletim katsayısına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Frank ve David (1990), hesaplanması istenen malzemenin ısı iletim katsayısını

$$Q = k.A.(dT/dx) \quad (2.3)$$

eşitliği kullanılarak hesaplamışlardır. Burada,

- Q_s : Silindirik ısıtıcının vermiş olduğu ısı yükü [W],
 k : Hesaplanması istenen malzemenin ısı iletim katsayısı[W/m K],
 A_s : Silindirik numunenin kesit alanı[m²],
 dx / dT : Sıcaklık gradyeni[K/m] olarak verilmektedir.

Yücel ve Ark (2003), ısı iletim katsayısının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemin plaka yöntemi olduğundan bahsetmiştir. Expanded polystrene ürünlerin (EPS) binada hem yatay hem de düşey pozisyonda kullanıldığından, ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında, en avantajlı metodun sıcak plaka yöntemi olduğunu söylemiştir.

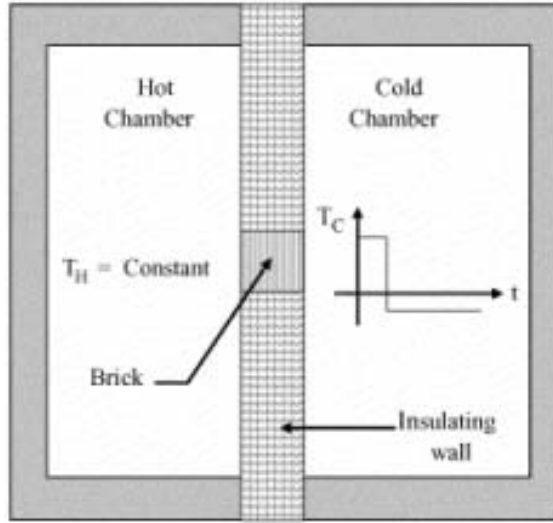
Ünal ve ark (2003), yaptıkları çalışmada, pomza ve Afyon Tınaztepe yöresi diyatomit malzemelerinin hafif beton blok eleman üretiminde kullanılmasının betonun özelliklerine etkisi araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, hafif agrega olarak üç ayrı tane grubuna ait pomza ile diyatomit, normal agrega olarak da kum ve kırmakum kullanılarak değişik oranlarda farklı seriler üretilmiştir. Bu serilerde 5-10 pomza boyut grubu karışımlarda %30 oranında sabit tutulmuştur. 0-4 boyut grubuna ait pomza %50'den %35'e kadar azalırken, +10 tane grubuna ait pomza %20'den %35'e kadar artırılmıştır. Ayrıca pomza+diyatomit ve diyatomit+kum+kırmakum karışımlarına ait beton blok elemanlar da üretilerek özellikleri araştırılmıştır. Çimento dozajı 250 ve 300 olan beton numuneleri üzerinde ultrases hızı, kılcal su emme ve basınç deneyleri yapılarak elemanlara ait özellikler belirlenmiştir.

Ulusoy (2004), pomza, genleştirilmiş perlit ve diyatomit ile portland çimentosu içeren monolitik refrakter malzemelerin geliştirilmesine ilişkin deneylerde bulunmuştur. 0.88 g/cm³ lük kuru birim hacim ağırlığına erişmek amacıyla, perlit ve diyatomit kullanarak çalışmalarda bulunmuştur. Yaptığı çalışma neticesinde, ne perlit, ne de diyatomit kendinden beklenen sonuçlara ulaşabilmiştir. Perlit eklenmesi neticesinde, muhtemelen tozlaşma nedeniyle, ince faz yükselmesi gibi bir etki göstermiş, birim hacim ağırlığı ve basma dayanımında yükselme sonucu gözlenmiştir. Pişmede boyut değişimi değerlerinin, sadece pomza içeren harmanlara göre yükselmesinin, perlitin sinterleştirici (toz halindeki malzemenin erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri

noktalardan başlayarak kaynaşması) etkisinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Diyatomitin refrakterliğinin, perlite nazaran daha yüksek oluşu ve diyatomitli harmanların perlitli harmanlara göre daha zor yerleşmesi, pişmiş basma dayanımı değerlerinin daha düşük olmasından kaynaklandığı sonucunu getirmiştir.

Özel ve Duranay, 2005 yılındaki çalışmalarında, poliüretan, cam yünü, cam köpüğü ve mantar yalıtım malzemeleri kullanarak, farklı yönlerde bakan duvarlarda, artan yalıtım oranlarına göre, ısı yük seviye parametrelerindeki değişimleri ve bu malzemelerin ısı iletim katsayılarını incelemişlerdir. Özellikle ısı iletim katsayısı ve ısı depolama kapasitesi düşük olan yalıtım malzemelerinin, düşük yalıtım oranlarında kullanılması halinde, daha iyi bir performans gösterdiklerini, yalıtım oranları arttıkça, durumun kötüleştiğini görmüşlerdir. Poliüretan köpükle yapılan deneylerin, ısı iletim katsayısı bakımından daha düşük değerlerde olduğunu görmüşlerdir. Isı iletim katsayısı düşük, ısı depolama kapasitesi yüksek olan yalıtım malzemelerinin ise, yalıtım oranları arttıkça yük seviyesi açısından daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yalıtımın dış yüzeyde olmasını, iç yüzeyde ve ortada olmasından, maksimum ısı yük seviyesi açısından, daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

B. Lacarrie`re ve ark (2005) yaptığı çalışmada düşey delikli tuğlaların yatay delikli olanlardan daha iyi mekanik özelliklerinin olduğunu belirtmişlerdir. Düşey delikli tuğlaların ısı iletim katsayılarını Şekil 2.30'da görülen hot-box cihazıyla tespit ederek, ısı transferini modellemiştir. Bu çalışmada tuğlanın boşluklarındaki hava katmanları arasındaki ısı dağılımı ayrıntılı olarak incelenmiş ve modellenmiştir. Ekstrem sınır şartları altında deneyleri yapılan düşey delikli tuğla için hava boşluklarındaki ısı transferinin ihmal edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.



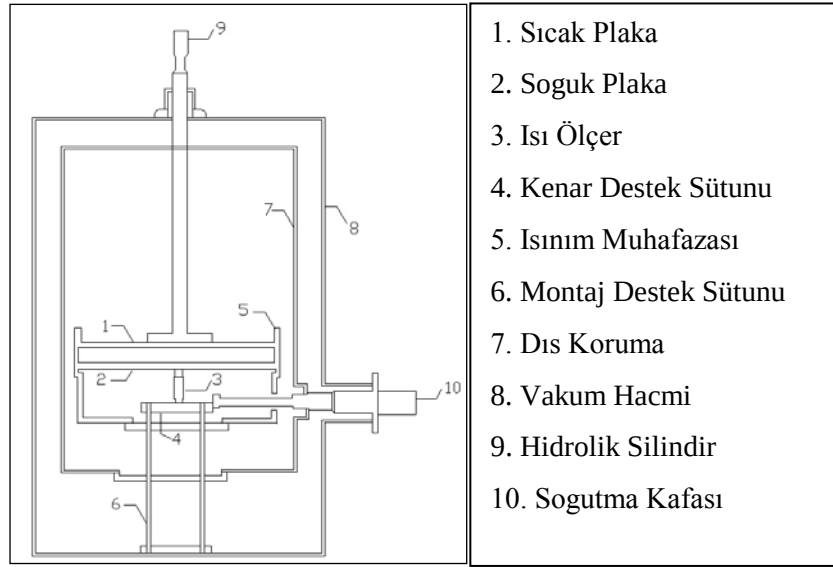
Şekil 2.30. Hot Box Cihazı Konfigürasyonu (B. Lacarrie`re ve ark, 2005)

Özel ve Pıhtılı (2005) yaptığı çalışmada, yalıtımsız tuğla ve beton yapılarda dış yüzey yutma oranının, ısı kazanç ve kayıplarına olan etkilerini incelemiştir. Ayrıca, duvar dış yüzeyine yalıtım malzemesi eklenerek, yalıtım kalınlığı arttıkça dış yüzey yutma oranlarına göre, ısı akılarını da ayrıca hesaplamışlardır. Yalıtım kalınlığı üzerinde yutma oranının etkisini, ısı kazanç ve kaybı açısından incelemiştir. Yalıtım malzemesi olarak cam yünü ($k = 0.036 \text{ W/mK}$) ve duvar malzemesi olarak da tuğla seçmişlerdir. Özel ve Pıhtılı, yaptıkları çalışmada, bina duvarlarına uygulanan yalıtımın, duvar içindeki beş farklı konumlandırma durumu için, ısı akısının değişimini sayısal olarak araştırmış ve yazın ısı kazancını, kışın ise ısı kaybını minimum yapacak yalıtım durumunu tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar neticesinde yaz ve kış şartlarında, hem ısı kazancı, hem de ısı kaybı açısından en iyi durum olarak, birbirine eşit üç parça yalıtım malzemesinin, içte, ortada ve dışta olmasını gözlemlemişlerdir. İkinci avantajlı durum olarak, yalıtım malzemesinin yarısının dışta, yarısının ortada olması gerektiğini gözlemişlerdir. En kötü yalıtım şekli olarak, yalıtım malzemesinin bir bütün olarak içte veya ortada olması halinde gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda, yalıtımın bir bütün olarak dışta yapılmasını, içte ve ortada yapılmasına nazaran daha avantajlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

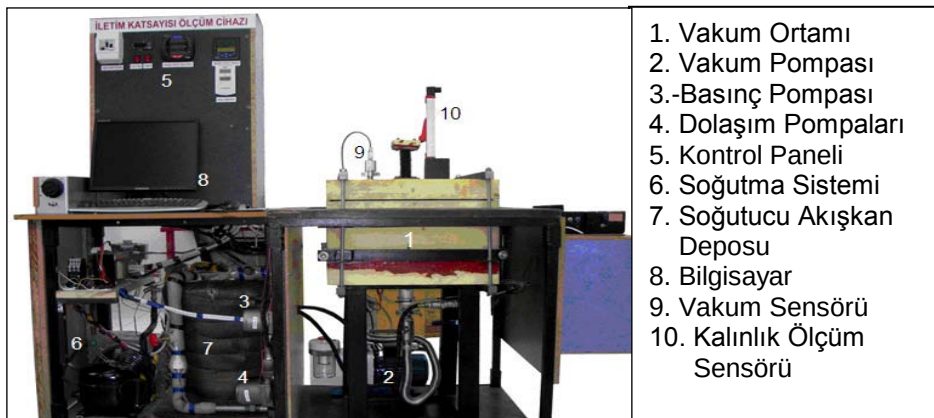
Coz Diaz ve ark (2006) yaptıkları çalışmada, bims betondan imal edilmiş yapı elemanlarının, sonlu elemanlar yöntemine göre ısı analizlerini yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ile buldukları sonuçların, deneysel yöntemle yaptıkları çalışmadan buldukları sonuçlardan, %2.6 dan daha düşük oranlarda birbirine yakın olduklarını gözlemlemişlerdir. Aynı şekilde, bimsbeton ürünlerinin, boşluk konfigürasyonları ve derz harcının ısı iletim katsayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deniz ve Korhan Binark (2008), vakum ortamı, ısı geçişinin en az olduğu ortam olarak bilinmektedir. Vakumlu yalıtım yaklaşımı pencerelere, vakumlu çift cam takılması yöntemiyle uygulanmış ve verimliliğinden ve etkinliğinden dolayı oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Benzer bir yaklaşımla, yalıtım özelliğine sahip malzemelerin bünyelerinde bulunan havanın vakumlanarak kullanılabilmesi halinde bu malzemelerin ısı iletim katsayılarında da önemli ölçüde düşüş sağlanabilecektir. Vakumlu Yalıtım Panelleri (VYP), çok geniş bir kullanım alanına hitap eden ve en yüksek ısı yalıtımını vadeden yalıtım birimleridir. VYP'lerin ortasında destek görevi gören gözenekli bir iç malzemesi bulunur. Bu malzeme gaz geçirmeyen, farklı yapılarda olabilen bir zarf içerisine alınarak içerideki hava belli oranda vakumlanmış ve böylece VYP'in ısı iletim katsayısı düşürülmüştür. Bu birimlerin içerisindeki hava basıncı kullanılan iç malzemenin tipine bağlı olarak 0.01 ila 10 mbar arasında değişim gösterir. VYP'lerde kullanılan iç dolgu malzemeleri alışlagelmiş yalıtım malzemelerinden, açık hücreli polimerler ve mikro-gözenekli silislere kadar çeşitlilik göstermektedir. Polimer iç malzemeler 0.005 ila 0.008 W/mK düzeyinde ısı iletim katsayısı gösterirken, silis tozu tabanlı tipik bir panelin ısı iletkenliği 10 mbar'lık yumuşak bir vakumda 0.004 W/mK seviyesine kadar düşebilmektedir. Bu çalışmada, VYP'lerde kullanılan iç dolgu, zarf ve gaz giderici malzemeler ile bu malzemeler kullanılarak yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Zweig ve arkadaşlarının çalışmasında VYP'lerin ısı iletim katsayılarını ölçebilmek amacıyla Şekil 2.31'de gösterilen vakum korumalı ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı geliştirilmiştir (Deniz, 2009).



Şekil 2.31. Zweig ve Ark Geliştirdiği Vakumlu I.L.K. Ölçüm Cihazı (Deniz, 2009)

Deniz ve ark (2009), literatürde Vakumlu Yalıtım Paneller konulu çalışmalarda ısı iletim katsayısı ölçümlerinde ve ASTM C 1484–01 standardında özellikle korumalı sıcak plaka cihazının kullanılması ve referans ölçüm metodu olarak gösterilmesinden dolayı ASTM C 177–04 ve ISO 8302 standartlarına göre çift numunenin ısı iletim katsayısını ölçebilecek yapıya sahip bir vakum korumalı sıcak plaka cihazı (VGHP) tasarlanmış ve imal ettirmiştir. Şekil 2.32’de görüldüğü gibi imalatı tamamlanan ölçüm cihazı literatürde yapılan benzer çalışmalarda kullanılan yalıtım malzemeleri kullanılarak denenmiştir.

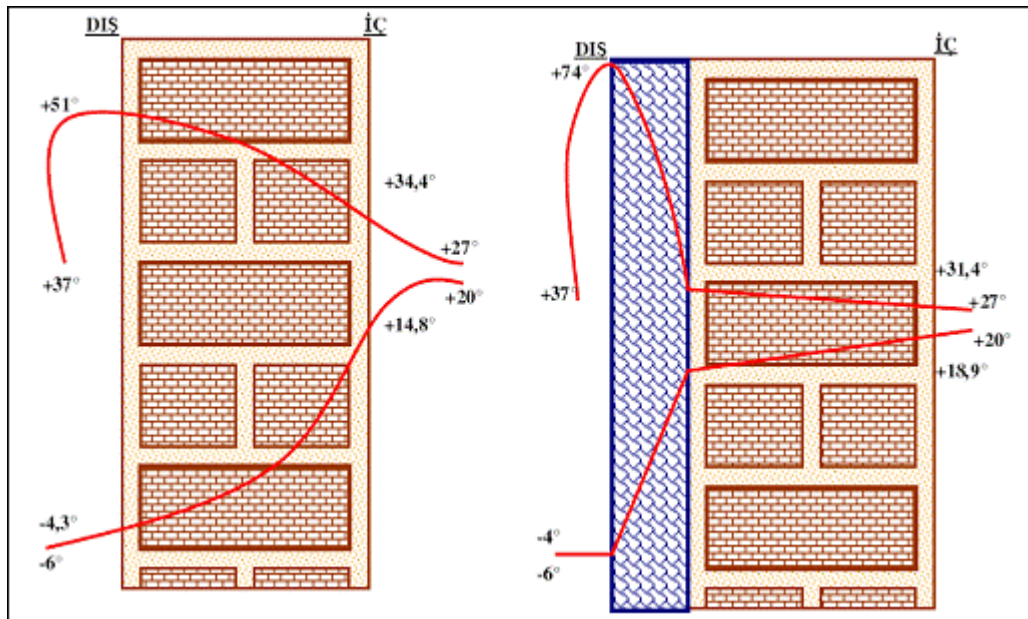


Şekil 2.32. Tasarlanarak İmal Edilen VGHP Cihazı (Deniz, 2009)

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).

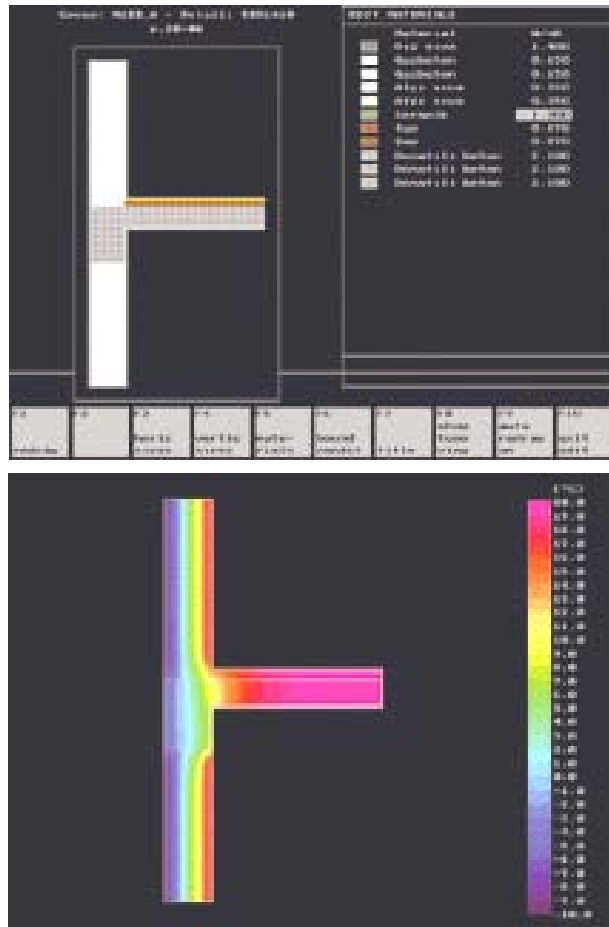
Yapılardaki kiriş, kolon ve hatıl gibi elemanların ısı iletim katsayıları, örme elemanlarına (tuğla, bimsblok, v.b) nazaran oldukça yüksektir ve bu sebeple ısı kayıplarında çok önemli olan ısı köprüsü özelliğindedir. Bina yapımında bunların minimuma indirilmesi gerekir.

Yalıtım özelliğine sahip bir duvar ile yalıtım 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 2.33'de gösterilmiştir.



Şekil 2.33. Yalıtımlı ve Yalıtımsız Duvarda Sıcaklık Dağılımı

Yapılarda en kritik yalıtım duvar yalıtımıdır. Duvar yalıtımı sonucu oluşabilecek ısı köprüleri ve yüzey sıcaklıklarının değişimi iç konfora olduğu kadar yapı kabuğu üzerinde de önemli etkileri vardır. Yeterli yalıtım yaşam kalitesine katkıda bulunur ve bina dokusunun korunmasına yardımcı olur. Şekil 2.34’de ve Şekil 2.35’de yalıtımsız ve yalıtımlı duvar kesitlerinin termal kamera görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.34. I.İ.K. Düşük Yapı Malzemeleriyle Üretilmiş Yalıtımsız Duvar Kesiti

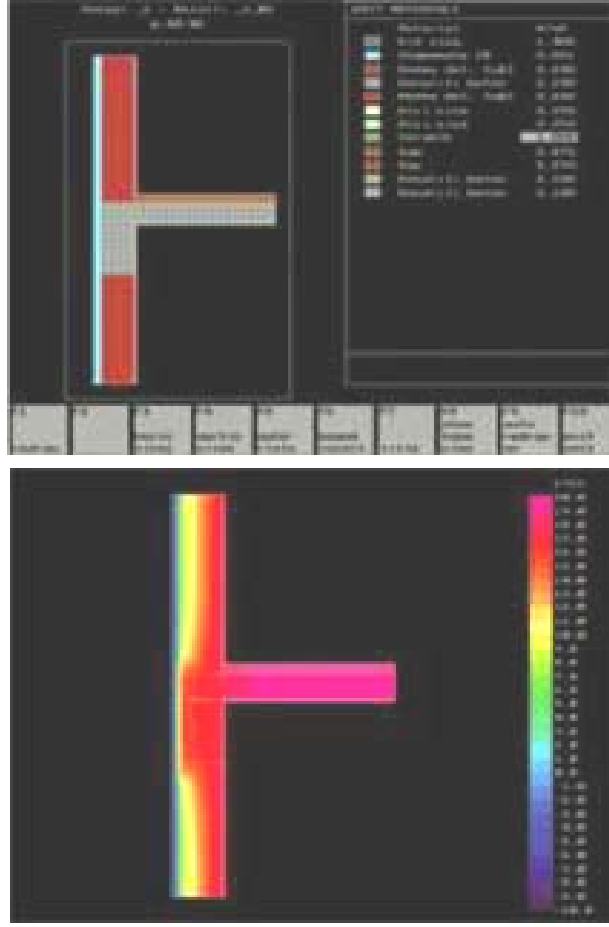
Duvarda yalıtım uygulanmadığı takdirde;

Duvar - kiriş - tavan birleşim bölgesi ısı köprüsü oluşturmaktadır.

Duvar - kiriş - tavan birleşim bölgesinde yoğuşma riski mevcuttur.

Duvar kesiti, kiriş ve kolonlar soğuk tarafta, betonarmede korozyon riski vardır.

Isıtma kaynağı kapandığında hızla soğuma gerçekleşir.



Şekil 2.35. I.İ.K. Yüksek Yapı Malzemeleriyle Üretilmiş Yalıtımlı Duvar Kesiti

Duvarda yalıtım uygulandığı takdirde ise;

Isı köprüleri tamamıyla yok edilmiştir.

Yapı kabuğu ısıl gerilmelere karşı korunmaktadır.

Tüm yapı sıcak tarafta ve korozyon riski yoktur.

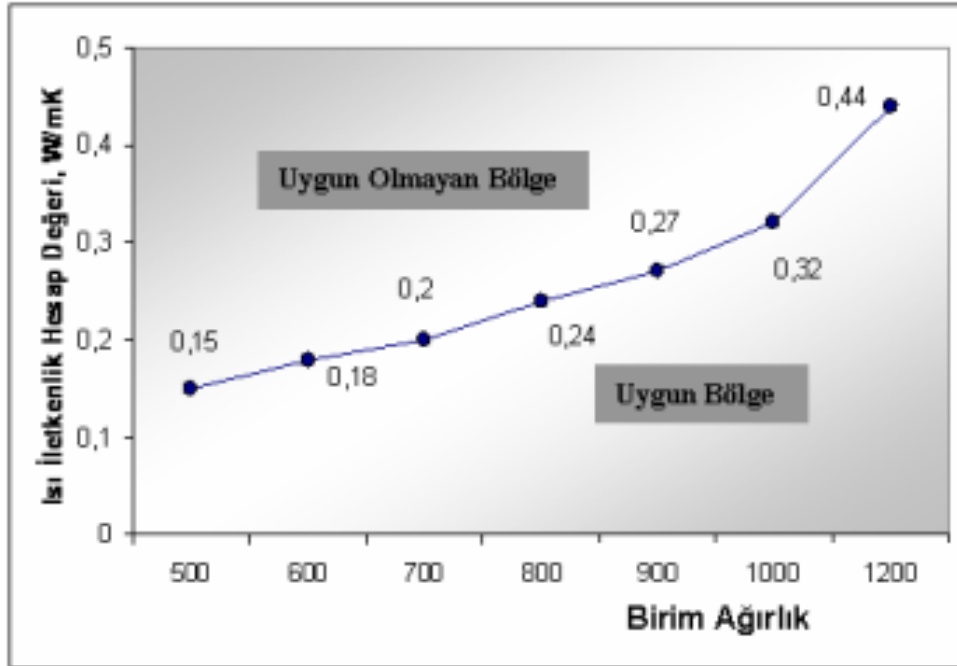
Konfor şartları mevcuttur.

2.7. Bimsbetondan Mamul Duvar Bloklarının Isı İletkenlik Hesap Değerleri

Bimsbetondan mamul duvar bloklarının ısı iletkenlik hesap değeri TS 825, Madde 5.3.3’de birim hacim ağırlıklarına göre değerlendirilmiştir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları’na göre birim hacim ağırlık ile ısı iletkenlik hesap değeri Çizelge 2.11 ve grafiği Şekil 2.36’da verilmektedir. Buna göre grafiğin üst bölgesi yalıtım için kullanılacak duvar blokları için uygun olmayan bölge olarak belirlenmiş, alt bölge ise uygun bölge olarak nitelendirilmiştir.

Çizelge 2.11. Birim Hacim Ağırlık İle Isı İletkenlik Hesap Değeri

Bimsbetondan Mamul Blokların Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
500	0.15
600	0.18
700	0.20
800	0.24
900	0.27
1000	0.32
1200	0.44



Şekil 2.36. TS 825, Madde 5.3.3’e Göre Isı İletkenlik Katsayıları (TS 825, 2000)

2.8. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM – Finite Element Method)

Mühendislikte karşılaştığımız tasarım problemlerinin çözümünde izlenen genel yöntem; problemin matematiksel modelinin oluşturulması ve öngörülen sınır şartlarına göre bir çözüm yönteminin geliştirilmesidir. Bu matematiksel modelin çözümünde teorik yöntemler kesin sonucu vermelerine rağmen karışık sistemlerde uygulanmaları zordur. Bu nedenle mühendisler teorik yöntemlerden nümerik yöntemlere yönelmiştir (Moaveni, 2007).

Bu nümerik yöntemlerden biri olan Sonlu Elemanlar Metodu (FEM-Finite Element Method), kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen problemleri yaklaşık olarak çözmek için kullanılır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi; özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi problemlerin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan çok gelişmiş bir tekniktir. Sonlu elemanlar yönteminde modeller sonsuz sayıda elementlere bölünür. Bu elementler belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, buna düğüm noktası (node) denir. Katı modellerde her bir elementteki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elementlerin gerilmeleriyle ilişkilidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Kuvvetin ya da ısının gerçek durumda malzemeyi oluşturan parçacıklardan parçacıklara temas yoluyla iletilmesi gibi sonlu eleman metodunda da iki elemanın ortak düğüm noktaları arasında bir iletim söz konusudur.

Metodun uygulanmasında aşağıdaki üç aşama vardır;

- İşlem öncesi (preprocessing),
- Çözüm (solution),
- Çözüm sonrası işlemler (post processing).

2.8.1. İşlem öncesi

İşlem öncesi adım, sonlu elemanlar metodunun en kritik bölümüdür. Bu aşamada incelenecek modele uygun eleman tipi seçilir, malzeme özellikleri belirlenir ve model elemanlara ayrılır. Bu aşamada yapılan bir hata tüm analizin gerçekleşmesini ya da doğru sonuç bulunmasını tamamen engeller.

Modelin elemanlara ayrılmasına mesh, oluşan eleman miktarına ise mesh yoğunluğu denir. Modelde kullanılacak elemanların (yani mesh yoğunluğunun) optimum bir sayısı vardır. Belli bir sayıdan az eleman kullanılırsa, elde edilen sonlu eleman modeli çözülmek istenen sistemi tam olarak yansıtmaz ve fiziksel gerçeklere uygun olmayan sonuçlar verebilir. Belli bir sayıdan fazla olduğu takdirde ise çözümü çok uzun süren yada bilgisayar yardımıyla dahi çözülemeyen sonlu elemanlar modelleri oluşabilir. Eleman sayısının aşırı arttırılmasının bir diğer sakıncası ise eleman boyutunun matematiksel modele uymayacak kadar küçük elemanlardan oluşabilmesidir (ANSYS 11, 2008).

Mesh yoğunluğunun belirlenmesi kadar önemli olan bir diğer faktör “mesh şekli”, yani oluşacak elemanların şekilleridir. İki boyutta üçgen ve dörtgen; üç boyutta ise tetrahedral, hexagonal ve prizmatik yapıları elemanlar seçilebilir.

Mümkün olduğunca üçgen ve piramit yapıları yerine (serbest elemanlar), dörtgen ve kübik elemanları (düzenli elemanlar) tercih edilmelidir. Bunun nedeni dörtgen ve kübiklerin daha düzenli elemanlar oluşturarak, ısı akısı ve kuvvet çizgilerini daha doğru sonuçlarla göstermeleridir. Üçgen ve piramit elemanlar ise yapıları gereği ısı akısı ve kuvvet çizgilerini farklı açılarla keserler ki bu da analizin homojenliğini bozar. Yine de üçgen ve piramit elemanların karışık modellerde geometriye uyum sağlayabilme kabiliyetleri daha yüksektir. Dolayısıyla düzenli elemanlarla meshlenemeyen sistemlerde serbest elemanların kullanılması bir zorunluluktur.

Tabi düzenli ve serbest elemanların seçilmesinde bir ön koşulda eleman tipidir. Eleman tipi; incelenecek sistemin iki veya üç boyutlu olmasına, sistemin ne açıdan inceleneceğine (mekanik, ısı, akış vb) ve sistemin geometrik özelliklerine göre çok farklı eleman tipleri mevcuttur.

Örneğin tek boyutlu ısı bir sistemde fazla seçeneğimiz yoktur. İletim, taşınım ve radyasyona uygun elemanlardan birini seçeriz. Fakat iki boyuta geçtiğimiz anda seçenekler artar bu durumda daha dikkat edilmesi gerekir.

İki boyutta taşınım ve radyasyon için tek boyutta kullanılan elemanlar kullanılabilir fakat iletim için farklı katılar tasarlanmalıdır. Elemanlar üçgen şekilli, dörtgen şekilli olabilir. Ayrıca elemanların sahip olduğu düğüm noktaları da değişkendir. 4, 6 ya da 8 düğümlü olabilir.

Burada sistemin iki boyutlu ve ısı olduğuna önceden karar verdiği için seçilen elemanın tipini belirlemek için değerlendirmemiz gereken son parametre geometridir. Eğer şekil oldukça basitse basit bir eleman tipi tercih edilmelidir. Bunun nedeni, karmaşık elemanlarda daha fazla düğümün bulunması ve düğüm sayısının çözüm süresini doğrudan etkilemesidir. N düğüm noktasına sahip iki boyutlu bir sistemin çözümünde oluşan matrisin boyutu $2N \times 2N$ 'dir. 4 düğümlü bir sistemle 6 düğümlü bir sistem karşılaştırıldığında çözüm süresi ve node sayısının %225 arttığı görülür. Öte yandan sisteminizde eğrisel yapılar varsa, bu durumda quadratik elemanların tercih edilmesi daha doğru olur. Bu tür elemanlarda sadece köşelerde değil köşeleri birleştiren doğrularda da düğümler vardır ve eğrisel bölgelere daha iyi uyum sağlarlar. Eğer dairesel bir modelde 4 nodlu dörtgen bir eleman seçilirse bu durumda oluşan modelde daire yerine bir çokgen oluşur. Tabi ki de bu durum eleman sayısının arttırılmasıyla çözülmeye çalışılabilir.

Fakat bu yaklaşım da dairenin oluşabilmesi için o kadar fazla eleman yaratılır ki sonuç olarak seçilen basit elemanla, kompleks elemandan çok daha fazla düğüm noktası oluşturulmuş olunur. Basit eleman seçilerek elde edilmek istenen avantajlar kaybedilmiş olur ve burada mantıklı olan kompleks bir elemanın tercih edilmesidir.

2.8.2. Çözüm (Solution)

Çözüm aşaması sınır şartlarının ve dış koşulların belirlendiği ve ardından da modelin çözümlendiği aşamadır. Sınır şartlarının doğru belirlenmesi tüm mühendislik problemlerinde olduğu gibi büyük önem arz eder. Ayrıca ANSYS gibi sonlu eleman programlarında çözümü hızlandırmak ve bilgisayara düşen yükü

hafifletmek adına eksene göre simetrik veya radyal simetrik gibi sınır şartları da tanımlıdır. Bu sayede bir borunun ısı kaybını hesaplarken üç boyutlu bir model çizmek yerine, bir boyutlu bir modelle çok yakın bir sonuca ulaşılabilir.

Elle çözümlerde, seçilen eleman ve modele göre bir ısı iletim (mekanik sistemlerde direngenlik matrisi) oluşturulur ve aşağıdaki denklemde yerine konularak, Gauss Eliminasyon ya da Gauss-Jordan metotlarından biri kullanılarak çözüme ulaşılabilir.

Tabi bu şekilde çözüm oldukça uzun sürmekte olduğundan pek tercih edilen bir çözüm değildir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile bu ağır hesapları bilgisayarlar üstlenerek, sonlu elemanlar metodunu oldukça kullanılabilir ve pratik bir hale getirmiştir.

2.8.3. Çözüm Sonrası İşlemler

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm sonrası sonuçların değerlendirilmesi de başlı başına bir işlemdir. Bunun nedeni çözüm bölümünde elde ettiğimiz verinin düğüm sıcaklıkları ve düğümlerdeki ısı geçişi olmasıdır. Dolayısıyla normal bir analiz programının aksine FEM sonuçlarının değerlendirilebilmesi için, sonlu elemanlar mantığına ve incelediği sistem hakkında teorik bilgiye sahip birinin bakış açısı ve kontrolü şarttır.

Örneğin eleman çözümü ile düğümsel çözümünün farkının en fazla %10 olması beklenir. Eğer fark daha büyükse çözümümüzün kendi içinde tutarlı olmadığı söylenebilir. Yine bir sistem içinde ortalama gerilmeden çok yüksek bir gerilme yada ısı geçişi fark edildiğinde bu nokta tekilliğe karşı kontrol edilmelidir. Tekillik bir düğümün ya da elemanın, gerçek modelde karşılaşmadığı bir yük altında görünmesidir. Örneğin bir alana verilecek ısı girişi tüm alana ısı akısı olarak verilmek yerine yüzeyin tek bir noktasına ısı girişi olarak verilirse o nokta çevresinde normalde olmayacak bir sıcaklık, analizde karşımıza çıkar. Bu duruma tekillik denir. Tasarım ve deney süreçlerini negatif yönde etkiler (Ebeperi ve ÖZER, 2008).

2.9. ANSYS Paket Programı Tanıtımı**2.9.1. Programın Genel Tanıtımı**

Mühendislik alanında sonlu elemanlar yöntemiyle çeşitli konularda analiz yapan programdır. Bu konular;

- Yapısal Analiz
- Termal Analiz
- Elektromagnetik Analiz
- Akışkan Analizleridir.

Bu çalışmada ANSYS 9.0 versiyonu kullanılmıştır.

2.9.2. Programın Genel Kullanımı

Programı çalıştırmak için start menüsünden programlar altında ANSYS adlı menü altından interactive seçeneği kullanılır. Aynı menü altında run interactive now seçeneği ise bir önceki yapılan çalışmanın default loading işlemidir. Açılan pencereden ANSYS'in ilk seçimleri yapılır. Bunlar;

Enable ANSYS Paralel Performance: Bu modülü etkin kıldığımız vakit, program çift işlemci çalışır ve karışık problemleri veya hassas meshlenmiş parçaların çözüm zamanı azalır.

Drop Test Module: Bu modül etkinleştirilmesi için ANSYS/LS-DYNA tipinde çalışıyor olmamız gerekmektedir.

Working Directory: Yaptığımız çalışma esnasında save dosyalarının korunması ve çeşitli hata mesajlarının saklanması için hard diskteki çalışma klasörüdür. Bu klasöre ayrıca yapılan animasyonlarda default olarak save edilir.

Graphics Device Name: Grafikler için görüntü bağdaştırıcı seçimi buradan yapılır. Nodal renklendirmenin üç boyutlu olmasını istiyorsak bu modülü kullanmalıdır.

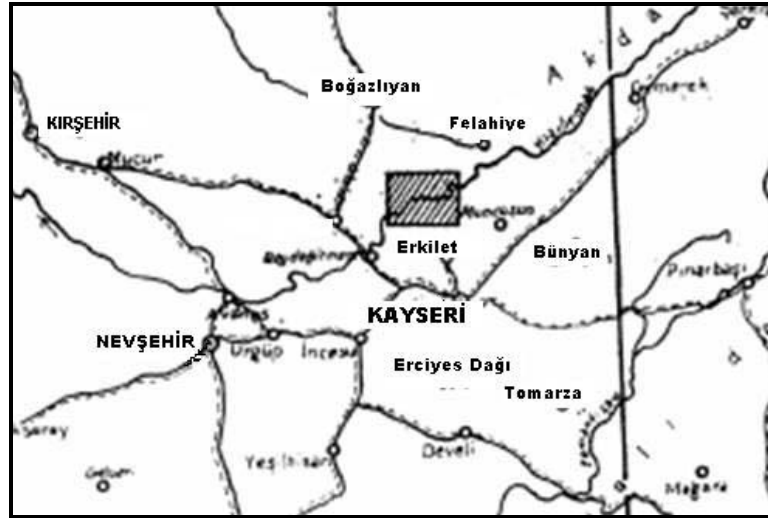
Memory Requested: Programın çalışma esnasında bellekten kullanacağı alanı gösterir. Bu default değerler değiştirilebilir. Değerlerin arttırılması programın performansında bir değişiklik yapmaz, ancak programda uzun süre çalışılacaksa arttırılması nispeten daha randımanlı sonuçlar vermektedir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümün materyal kısmında, çalışmanın deneysel aşamasında kullanılan diyatomit, perlit, agrega, çimento, kireç gibi malzemelerin özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Metod kısmında ise çalışmaların aşamaları, duvar bloklarının üretimi ve deneysel ve modelleme çalışmalarının içerikleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Materyal**3.1.1. Diyatomit Malzemesinin Temini**

Türkiye'de oldukça yaygın olan diyatomit yataklarının, rezerv büyüklüğü yönünden en önemlisi olan Hırka diyatomit yatağı 1900'lerden beri tanınmakla birlikte bugüne kadar büyük bir işletme olarak ele alınmamıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi yaklaşık 2 x 7 km büyüklüğünde bir alana yayılan Hırka diyatomit yatağı Kayseri'nin 30 km kuzeyinde, Emmiler-Hırka Neojen havzasında yer alır.



Şekil 3.1. Hırka diyatomit yatağı

Hırka diyatomit yatağında yapılan araştırmalarda yatağın bir bazalt akıntısı sonucu ana çanakta kısmen ayrılmış bir gölde, yarı kurak iklim koşullarında oluştuğu, havzada yaygın diyatome türleri, kil minerallerinin gelişimine dayanılarak açıklanmıştır.

Ortamda diyatomelerin fazlaca gelişmelerine yol açan silisin, sıcak kaynak sularının, göl suyuna karışması ve silikat ayrışımı sonucu açığa çıktığı görüşü benimsenmiştir. Jeokimya analizlerinin sonuçları matematiksel yönden karşılaştırılmış, elementlerin opal, karbonat ve kırıntılı mineral gruplarında kümелendiği ortaya çıkarılmıştır. Aynı sonuçlara dayanılarak yatağın mineralojisi açıklanmıştır (Uygun, 1976).

Diyatomit malzemesinin temini, Hırka köyünden sağlanmıştır. Diyatomit malzemesi laboratuvar ortamına çuvallar ile tabakalar halinde getirilmiştir. Diyatomit malzemesi öğütülerek, 0.25 mm kare gözlü elekten elenerek kullanılacak hale getirilmiştir. Diyatomitin kimyasal analizleri Bünyan Çimento fabrikası, analiz laboratuvarında yaptırılarak, sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hırka Köyü Diyatomitin Özellikleri

Ürün Özelliği	Hırka Köyü Diyatomiti %
% SiO ₂	85.2
% Fe ₂ O ₃	1.85
% Al ₂ O ₃	3.83
% CaO	1.49
% MgO	0.45
% Na ₂ O	0.47
% K ₂ O	0.44
Kızdırma Kaybı	4.41
Renk	Kirli beyaz
Su Emme	109.3
pH	4.49
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1.33
Isı İletkenlik Katsayısı	0.053

3.1.1.1. Diyatomit Numunelerinin Öğütülmesi

Hırka Köyünden alınarak Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malzeme laboratuvarına getirilen diyatomit, içersinde değişik çaplarda çelik bilyeler bulunan öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Değirmenin içersine 5'er kilogramlık miktarlarda yerleştirilmiş, yaklaşık on dakika çalıştırılarak elenmiştir. Tamburun kapakları açılarak, öğütülen diyatomit bir tekne üzerine alınmış, daha sonra 0,25 mm elekten elenerek kovalara doldurulmuştur. Öğütülen diyatomitin incelik modülünün tespiti amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır. Tamburlu değirmende öğütülen diyatomitin aynı incelikte olması amacıyla, değirmenin dönme süresi her parti için sabit tutulmuştur.



Şekil 3.2. Diyatomit Numunelerinin Öğütülmesi

3.1.1.2. Elek Analizi

Duvar bloklarının boşluklarına enjekte edilecek diyatomit malzemesi için, diyatomit inceliğini tespit etmek amacıyla, 110 °C'lik etüvde yirmi dört saat kurutulduktan sonra, değirmende öğütülen diyatomit, belirli ağırlıklarda numuneler alınmış, TS 802'de belirtilen ve Şekil 3.3.'de görülen elek setlerinden, TS 130'da belirtildiği şekilde elenmiştir. 3 farklı deneye ait ortalama sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Diyatomit Numunesi İçin Elek Analizi Deneyinin Yapılışı

Deney tamamen kuru numuneler üzerinde yapılmıştır. Değirmende öğütülen diyatomit, 105 °C'lik etüvde yirmi dört saat kurutulduktan sonra, deneye tabi tutulmuştur. Deney için alınacak malzeme miktarı önemlidir. Deney numunesinin yığın malzeme özelliğini temsil etmesi amacıyla, fazla miktarda malzeme üzerinde işlem yapmak gerekmektedir. Etüvde, kurutulan numune, en büyük gözlü elek en üste olacak şekilde sırayla alt alta yerleştirilen elek serisine yerleştirilmiştir. Numune yerleştirildikten sonra, elek setinin kapağı kapatılmış ve eleme cihazında dört dakika eleme işlemine devam edilmiştir.

Eleme işlemi sonunda eleklerin üstünde bir miktar malzeme kalmış durumdadır. En büyük elek olarak 4 mm delikli elek yerleştirilmiştir. En büyük boyutlu elek üstünde kalan agrega tartılarak deney föyüne kaydedilmiştir. Bu elekten hemen sonra gelen, daha küçük boyuttaki elek üstünde kalan malzeme, bir üst elek üstünde kalan malzemeye eklenerek toplanmıştır. Bu işlem, son elekte kalan malzemenin tartma işlemi tamamlanana kadar devam etmiştir. Tartma işlemi 0,1 gr hassasiyetli TSE belgeli dijital terazi ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Değirmende Öğütülen Diatomitin Ort. Dane Boyutu Dağılımları

Elek No	Ortalama Eleğin Üstünde Kalan	Ortalama Elekten Geçen	Ortalama Geçen %
4	2.9	920.6	99.69
2	6.3	914.3	99.0
1	31.2	883.1	95.62
0.5	347.4	535.7	58.0
0.25	391.1	144.6	15.66
0125	134.0	10.6	1.14
Tava	8.2	8.2	0.09

3.1.2. Perlit Malzemesinin Temini

İnper Perlit firmasından temin edilen perlitin firma tarafından beyan edilen ve MTA-Ankara laboratuvarında yapılan deneyler sonucundaki özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Laboratuvar ortamına getirilen perlit malzemesi, Şekil 3.4’de görüldüğü gibi kovalara yerleştirilerek depo edilmiştir. Duvar bloğunun gözenek kombinasyonlarına göre, boşluk hacimleri ölçülmüş ve her bir karışım için kullanılacak perlit miktarı, ayrı ayrı kaplara konularak numaralandırılmıştır. Perlit malzemesinin nem v.b. etkilerden etkilenmemesi için, kapağı muntazam bir şekilde kapatılmıştır.



Şekil 3.4. Perlit Malzemesinin Kaplara Doldurulması

Çizelge 3.3. Perlitin Kimyasal Birleşimi

Ürün Özelliği	Perlit
SiO ₂	% 74.2
Al ₂ O ₃	% 16.8
Na ₂ O	% 3.6
K ₂ O	% 4.0
CaO	% 0.3
Fe ₂ O ₃	% 0.8
MgO	% 0.2
Renk	Gri-Beyaz
pH	6.8
Su Emme	% 55
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1,02
Yapısal Bozunma	880 °C
Erime Noktası	1110 °C
Ateşe Dayanım	Yanmaz
Isı İletkenlik Katsayısı	0.031 W/mK

3.1.2.1. Perlit ve Diyatomit Malzemesinin Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Duvar bloğu'nun boşluklarına enjekte edilen diyatomit ve perlit malzemesine ait piknometre deneyleri yapılmıştır. Diyatomit ve perlitten sırasıyla numune alınarak, yarısına kadar damıtık su doldurulmuş, kovalarda iki gün bekletilmiştir. Bu süre zarfında, zaman zaman bir çubuk yardımıyla numuneler karıştırılarak, tüm yüzeylerinin su ile temas etmesi sağlanmıştır. Perlit ve diyatomit malzemesinden yaklaşık 150 gr alınarak cam levha üzerine konulmuştur. Spatula yardımıyla karıştırılan numunelerin, kuru yüzeylerinin kuru yüzey doygun hale gelmesi için elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır.

TS EN 1097-6 da belirtildiği şekilde bir yığın yapılarak ve numunelerin yığında kendilerini tutabilme özelliklerinin olup olmadığına bakılarak, ya da elimize aldığımız bir avuç numunenin, elimize yapışmadan boşalabilmesine dayanarak, kurutma işlemine son verilmiştir. KYD numuneler, piknometre aletine yerleştirilmiştir. Piknometre ile KYD numune 0.1 gr hassasiyetli TSE belgeli dijital terazi yardımı ile ölçülerek deney föyüne kaydedilmiştir. Piknometreye bir miktar su ilave edilerek iyice karıştırılmış ve boşluklarında barındırdığı havanın dışarı çıkması ve bu sayede boşluklarının su ile temas etmesinden sonra vakum aleti ile yaklaşık on dakika vakumlanmıştır. İçersinde hava kabarcıklarının kalmadığı düşüncesi ile, işaretli yere kadar piknometreye su doldurulmuştur. Piknometre + KYD + İşaretli yere kadar su, dijital terazide tartılarak, deney föyüne kaydedilmiştir. İçerisi tamamen temizlenen kuru bir tava, dijital terazide tartılarak, üzerindeki numara ile birlikte boş tava ağırlığı adı altında, deney föyüne kaydedilmiştir. Tartılan numune, boş tava içerisine boşaltılmıştır. Numune + tava, 105 °C sıcaklıkta yirmi dört saat etüvde kurutulup tartılmıştır. Perlit ve diyatomitin su emme deneyi sonuçları Ek-1 ve Ek-2'de tablo olarak verilmektedir. Buna göre diyatomitin özgül ağırlığı 1.33 gr/cm^3 ve su emmesi %109, perlitin özgül ağırlığı 1.02 gr/cm^3 ve su emmesi %37 olarak bulunmuştur.

3.1.3. Çimento Temini ve Kullanımı

Bu çalışmada numunelerin üretiminde TS EN 197-1 ile uyumlu Portland çimentosu PÇ 42.5 olarak bilinen CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. CEM I 42.5 R çimentosu Bünyan Çimsa firmasından temin edilmiştir (TS EN 197-1, 2002). Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

KİMYASAL BİLEŞİM	
Bileşen %	PÇ 42.5
Çözünmeyen Kalıntı	0.8
SiO ₂	20.54
Al ₂ O ₃	5.05
Fe ₂ O ₃	3.85
CaO	63.88
MgO	1.78
SO ₃	1.32
Na ₂ O	-
K ₂ O	-
Kızdırma Kaybı	2.86
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.08
Blaine (cm ³ /gr)	3450
MEKANİK ÖZELLİKLER	
BASINÇ DAYANIMI (MPa)	
2 günlük	23.9
7 günlük	45.7
28 günlük	54.2

3.1.4. Su Temini

Kullanılacak su kalitesi ile ilgili olarak karma suyunun uygunluğunun tayini kurallarının standardı, TS EN 1008’de belirtilen, su içilebiliyor ise karma suyu olarak kullanılmaya da uygundur ifadesi vardır. Genel olarak şehir şebeke suyunda beton özelliklerini etkileyecek zararlı maddeler bulunmadığından karışım için içme suyu kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003).

3.1.5. Kireç Temini

Erciyes Kireç firmasından temin edilen kireç, duvar bloğu numunelerinin 500x500 mm ebatlarında örülmesi sırasında uygulamada kullanıldığı gibi ırmak kumuyla hazırlanan harca katılarak kullanılmıştır. Böylelikle numunelerin örülmesi sırasında priz süresinin uzamasıyla kolaylık sağlanmıştır. Harcın priz süresinin uzamasıyla, aynı partide karılan harç ile daha fazla numunenin örülmesi sağlanmıştır.

3.1.6. Hafif Agregada Temini ve Deneyleri

Duvar bloklarını üreten firma, kullanılan hafif agregayı, Kayseri'nin Tomarza ilçesinden temin etmektedir. Agregada stok alanından alınan 0-4 mm dane büyüklüğüne sahip ince agregada ve 4-8 mm dane büyüklüğüne sahip iri agregada kullanılmıştır. Agregada deneylerinde kullanılacak olan agregalar TS 707 ve TS EN 933-2 agregalardan numune alma ve laboratuvar numunelerinin azaltılması ile deney numunesi hazırlama metotlarına göre hazırlanmıştır.

Numuneler için yığının değişik bölgelerinden küçük miktarlarda agregada numuneleri alınmış ve küçük numuneler sonradan karılarak deney numunesi oluşturulmuştur. Toplam numune agregada bölgeciyle deney numunesi için gerekli agregada miktarı elde edilinceye kadar tekrar edilmiştir (TS 707, TS EN 933-2,1999).

3.1.6.1. Agregada Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı

Agregaların birim hacimdeki ağırlıklarının bilinmesi numunelerin üretimi açısından önemlidir. Agregaların içyapısında yer alan boşluklar agreganın birim hacim ağırlığını, o da üretilen numunenin dayanım özelliklerini etkiler. Malzemelerin özgül ağırlıklarının ve su emme oranlarının belirlenmesi için TS 3526 ve TS EN 1097-6 standartlarına göre piknometre ve Arşimet deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Ek-3 ve Ek-4'de verilmektedir. Buna göre ince agreganın özgül ağırlığı 1.44 gr/cm³, iri agreganın özgül ağırlığı 1.27 gr/cm³ bulunmuştur. Su emme değerleri, ince hafif agreganın %23, iri hafif agreganın ise %39 olarak bulunmuştur (TS 3526, 1980 ve TS EN 1097-6, 2002).

3.1.6.2. Agregada Tane Büyüklüğü Dağılımı

Numunelerde yüksek kompasiteyi sağlamak için TS 3530 EN 933-1/A1 standardına uygun olarak agregada tane dağılımı belirlenmiştir. İri ve ince agregalara ait numunelerin tane büyüklüklerine göre dağılımı, elek analizi sonucunda belirlenmiştir. Belirlenen iri ve ince agregada tane dağılımları için karışık agregada dağılımını belirleyebilmek için belirli yüzdeler denenerek, maksimum tane büyüklüğü 8 mm olan eğriye ait alt (A), orta (B) ve üst (C) sınırlara uygun düşecek şekilde özellikle alt sınır ile orta sınır arasında yer alacak şekilde karışık agregada granülometrisi ayarlanmıştır.

Buna göre karışık agregada %55 iri ve %45 ince agregadan oluşacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan agregaların eleklerden geçen yüzdeleri ve TS 706 (1980) standart sınırları Çizelge 3.5’de karışık agregada granülometri eğrisi ise Ek-5’de verilmiştir (TS 3530 EN 933-1/A1, 2007 ve TS 706, 1980).

Çizelge 3.5. Karışık Agregada Granülometrisi ve TS 706 Sınırları (TS 706, 1980)

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Miktar (%)			
	TS 706 Alt Sınır	TS 706 Alt Sınır	TS 706 Alt Sınır	Kullanılan Agregada
8	100	100	100	100.0
4	61	74	85	67.5
2	36	57	73	44.6
1	21	42	57	26.8
0,50	14	26	39	17.6
0,25	5	11	21	7.9

3.1.6.3. Agregada İnce Madde Oranı Analizi

Hafif agregaların betona uygun olup olmadığının belirlenmesinde yapılan deneylerden birisi de agregada bulunan ince madde miktarıdır. Bu deney TS 1114 EN 13055-1 standartlarında belirtilen kriterlerin altında, 0.063 mm açıklığındaki bir

elekten malzemenin elenmesi ve elek altında kalan malzemenin elek üstündeki malzemelerle yüzde olarak oranlanmasıyla tespit edilen bir deneydir.

Bu deneyin yapılmasında iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi çökeltme yöntemidir. Çökeltme yönteminde sabit bir hacim içerisinde, hafif beton agregası konarak belirli zaman içerisinde çökmesi ve su içerisinde çöken malzemenin hacmi ile genel hacim arasındaki oranlama ile belirlenen bir yöntemdir. Bu deney uzun süre alması ve gözlemsel olarak yapılması olası hatalardan dolayı sağlıklı değildir.

İkinci yöntem yıkama yöntemidir. Bu yöntem, 0.063 mm elek kullanılarak agregaların yıkanması prensibine dayanır. Bu yöntemde yıkama sonrasında, elek altında kalan agrega miktarı ile elek üstündeki agrega miktarının oranlanmasıyla, ince madde oranı belirlenmektedir.

TS 1114 EN 13055-1 standartlarında hafif beton agregalarının ince madde oranına göre maksimum sınır değerleri, agregaların tane aralıklarına göre değişmektedir. Bu yüzden 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 3.6'da ince madde oranı tespiti yapılacak malzemelerin sınır değerleri, Çizelge 3.7'de ise bulunan değerler verilmektedir.

Pomza agregasında ince madde oranı Eşitlik 3.1 ile belirlenmektedir. Buna göre

$$I_m = \frac{W - W_a}{W} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

I_m : Elekten geçen agreganın yüzdesi, (%),

W : Yıkama öncesi kuru malzeme ağırlığı, (gr),

W_a : Yıkama sonrası toplam elek üstü malzeme ağırlığını (gr) temsil eder.

Çizelge 3.6. Agregalardaki İnce Madde Oranı Sınırları (TS 1114 EN 13055-1)

Agrega Tane Sınıfı	İnce Tane Oranı (Ağırlıkça Maks. %)
0-2 mm	5.0
0-4 mm	5.0
0-8 mm	4.0
2-4 mm	4.0
0-16 mm	3.0
0-32 mm	3.0
4-8 mm	3.0
4-16 mm	3.0
8-16 mm	2.0
16-32 mm	2.0

Çizelge 3.7. Hafif Agregalardaki İnce Madde Oranları

Numune No		1	2	3
0-4 İnce Hafif Agrega	Yıkama öncesi kuru numune ağırlığı (gr)	1045	1050	1055
	Elek üstü malzeme (gr)	1005	1011	1014
	Agregalardaki İnce Madde Oranları %	3.83	3.71	3.89
	0-4 Agregal Ortalama İnce Madde Oranı %	3.81		
4-8 İri Hafif Agrega	Yıkama öncesi kuru numune ağırlığı (gr)	1015	1035	1030
	Elek üstü malzeme (gr)	992	1011	1007
	Agregalardaki İnce Madde Oranları %	2.26	2.32	2.23
	4-8 Agregal Ortalama İnce Madde Oranı %	2.27		

Duvar blokları üretilen ince ve iri hafif agregaların içerisindeki ince madde oranlarının TS 1114 EN 13055-1’de verilen standart değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen değerlerin sonucunda, her iki agregal cinsinin de hafif beton agregası olarak kullanılabilmesinin, ince malzeme oranı değerleri açısından uygun olduğu belirlenmiştir.

3.1.6.4. Agreganın Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlıkları

Agregaların gevşek ve sıkışık olarak işgal ettiği hacim, TS 3529'a göre belirlenmiştir. İnce ve iri agregaların ayrı olarak kap içindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle gr/cm^3 olarak hesaplanmıştır. Agreganın kompasitesi ve işlenme esası bu deneyle anlaşılır. (TS 3529, 1980) İnce ve iri hafif agregaların sıkışık ve gevşek olarak işgal ettiği hacimler Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da verilmektedir.

Çizelge 3.8. İnce ve İri Hafif Agreganın Gevşek Birim Ağırlığı

Tane Büyüklüğü	Kap Ağırlığı W_1 (gr)	Ölçü Kap Hacmi V (cm^3)	Gevşek Agrega Dolu Kap Ağırlığı W_2 (gr)	Gevşek Agrega Ağırlığı $W_2 - W_1$ (gr)	Gevşek Agrega Birim Ağırlığı γ_s (gr/cm^3)
0-4 İnce Hafif Agrega	12500	3200	14680	2180	681
4-8 İri Hafif Agrega	12500	3200	13730	1230	384

Çizelge 3.9. İnce ve İri Hafif Agreganın Sıkışık Birim Ağırlığı

Tane Büyüklüğü	Kap Ağırlığı W_1 (gr)	Ölçü Kap Hacmi V (cm^3)	Sıkı Agrega Dolu Kap Ağırlığı W_2 (gr)	Sıkı Agreganın Ağırlığı $W_2 - W_1$ (gr)	Sıkı Agrega Birim Ağırlığı γ_s (gr/cm^3)
0-4 İnce Hafif Agrega	12500	3200	15160	2660	831
4-8 İri Hafif Agrega	12500	3200	13975	1475	461

Deney programında kullanılacak numune kodları Çizelge 3.10'da, üretilen duvar bloklarının karışım oranları Çizelge 3.11'de, kullanılan duvar bloklarının özellikleri, Çizelge 3.12'de ve numunelerin boyutları Şekil 3.5'de verilmektedir.

Çizelge 3.10. Deney programında kullanılacak numune kodları

1-DBK-10	Tek Sıra Boşluklu Kontrol Duvar Bloğu
1-DB-DD	Tek Sıra Boşluklu Diyatomit Dolgulu Duvar Bloğu
1-DB-20DK	Tek Sıra Boşluklu 20 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
1-DB-30DK	Tek Sıra Boşluklu 30 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
1-DB-40DK	Tek Sıra Boşluklu 40 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
1-DB-PD	Tek Sıra Boşluklu Perlit Dolgulu Duvar Bloğu
1-DB-20PK	Tek Sıra Boşluklu 20 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
1-DB-25PK	Tek Sıra Boşluklu 25 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
1-DB-30PK	Tek Sıra Boşluklu 30 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
2-DBK-15	İki Sıra Boşluklu Kontrol Duvar Bloğu
2-DB-DD	İki Sıra Boşluklu Diyatomit Dolgulu Duvar Bloğu
2-DB-20DK	İki Sıra Boşluklu 20 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
2-DB-30DK	İki Sıra Boşluklu 30 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
2-DB-40DK	İki Sıra Boşluklu 40 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
2-DB-PD	İki Sıra Boşluklu Perlit Dolgulu Duvar Bloğu
2-DB-20PK	İki Sıra Boşluklu 20 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
2-DB-25PK	İki Sıra Boşluklu 25 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
2-DB-30PK	İki Sıra Boşluklu 30 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
3-DBK-20	Üç Sıra Boşluklu Kontrol Duvar Bloğu
3-DB-DD	Üç Sıra Boşluklu Diyatomit Dolgulu Duvar Bloğu
3-DB-20DK	Üç Sıra Boşluklu 20 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
3-DB-30DK	Üç Sıra Boşluklu 30 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
3-DB-40DK	Üç Sıra Boşluklu 40 kg Diyatomit Katkılı Duvar Bloğu
3-DB-PD	Üç Sıra Boşluklu Perlit Dolgulu Duvar Bloğu
3-DB-20PK	Üç Sıra Boşluklu 20 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
3-DB-25PK	Üç Sıra Boşluklu 25 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu
3-DB-30PK	Üç Sıra Boşluklu 30 kg Perlit Katkılı Duvar Bloğu

Çizelge 3.11. Üretilen Duvar Bloklarının Karışım Oranları (130 kg/m³ Çimento)

N. Kodu	0-4 mm Tomarza Bims (kg/m ³)	4-8 mm Tomarza Bims (kg/m ³)	Su/Çim. Oranı (kg/m ³)	0-1 Nevşehir Perlit (kg/m ³)	Hırka Diyatomit (kg/m ³)
<u>1-DBK-10</u>	405	610	1.19	-	-
1-DB-20D	385	600	1.23	-	20
1-DB-30D	375	590	1.31	-	30
1-DB-40D	365	580	1.38	-	40
1-DB-20P	390	590	1.23	20	-
1-DB-25P	385	585	1.27	25	-
1-DB-30P	380	580	1.31	30	-
<u>2-DBK-15</u>	405	610	1.19	-	-
2-DB-20D	385	600	1.23	-	20
2-DB-30D	375	590	1.31	-	30
2-DB-40D	365	580	1.38	-	40
2-DB-20P	390	590	1.23	20	-
2-DB-25P	385	585	1.27	25	-
2-DB-30P	380	580	1.31	30	-
<u>3-DBK-20</u>	405	610	1.19	-	-
3-DB-20D	385	600	1.23	-	20
3-DB-30D	375	590	1.31	-	30
3-DB-40D	365	580	1.38	-	40
3-DB-20P	390	590	1.23	20	-
3-DB-25P	385	585	1.27	25	-
3-DB-30P	380	580	1.31	30	-

Çizelge 3.12. Kullanılan Duvar Bloklarının Özellikleri

TEK SIRA
BOŞLUKLU

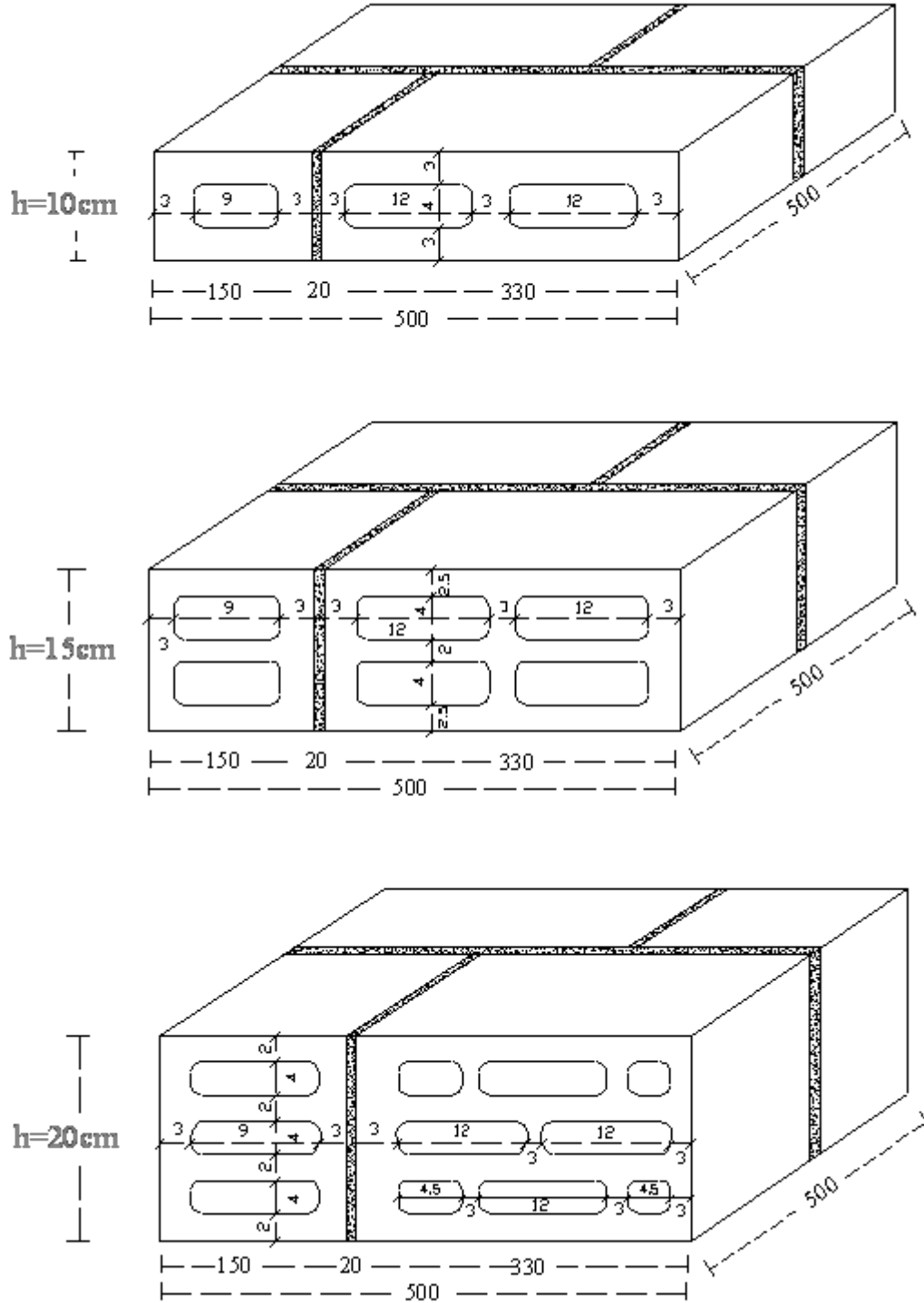
Boyutlar (mm)	100x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	4.1
Birim Ağırlık (kg/m ³)	870
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.40
Isıl Davranış Özelliği (W/mK)	0.209
Yangına Direnç	A 1

İKİ SIRA
BOŞLUKLU

Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	5.9
Brüt Kuru Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	854
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.62
Isıl Davranış Özelliği (W/mK)	0.181
Yangına Direnç	A 1

ÜÇ SIRA
BOŞLUKLU

Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	7.8
Kuru Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	847
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.76
Isıl Davranış Özelliği (W/mK)	0.177
Yangına Direnç	A 1



Şekil 3.5. 500x500xD mm Boyutlarındaki Özel Duvar Blokların Ölçüleri

3.2. Metod**3.2.1. Duvar Bloğu Numunelerinin Üretimi ve Deneyler İçin Hazırlanması**

Çalışmada kullanılan duvar blokları, Kayseri’de, ISO 9001 /2000 Kalite Yönetim Sertifikası, TSE ve İmalat Yeterlilik Belgeleri olan piyasaya üretim yapan bir firmadan temin edilmiştir. Üretim sahası, bant sistemi, çimento silosu, su deposu, karışımın hazırlandığı otomatik tartım ve mikser üniteleri Şekil 3.6’da görülmektedir.



Şekil 3.6. Duvar Bloğu Numunelerinin Üretildiği Tesis

Kayseri’nin Tomarza ilçesinden gelen, 0-4 mm ve 4-8 mm boyutlarındaki bims agregaları üstü kapalı stok alanında depolanmaktadır. Stok alanından kepçelerle alınan malzemeler bant sistemine aktarılmaktadır. Bant sisteminden gelen 2 tip malzeme otomatik tartıma girip kontrollü olarak Şekil 3.7’de görülen miksere aktarılmakta ve kuru olarak karıştırılmaktadır. Çimentonun ve suyun ilavesiyle mikserde karışan bimsblok malzemesi daha sonra otomatik üretim sistemine girmektedir.



Şekil 3.7. Karışımın Hazırlandığı Mikser

Katkısız duvar blokları yukarıda anlatıldığı gibi üretilirken diyatomit ve perlit katkılu duvar blokları ise katkı malzemeleri sonradan ilave edilerek üretilmiştir. Farklı oranlar için tartılan diyatomit ve perlit, mikserin kapak kısmından Şekil 3.8 ve 3.9’da görüldüğü gibi karışıma çimento ve su öncesinde ilave edilmiştir.



Şekil 3.8. Diyatomitin Karışıma İlave Edilmesi



Şekil 3.9. Perlitin Karışıma İlave Edilmesi



Şekil 3.10. Numunelerin Üretildiği Vibrasyonlu Baskı Makinesi

Otomatik üretim sistemine giren duvar bloğu harcına, Şekil 3.10’da görülen vibrasyonlu baskı makinesinde vibrasyon ve presleme işlemi uygulanmıştır. Tamamıyla otomatik olarak çalışan makine otomasyon sistemine sahip bir kumanda ünitesinden kontrol edilmektedir. Üretilen numuneler, kamaralı kürleme işleminden sonra kodlandırılmış, numunelerin boyutları ölçülerek deney föyleri düzenlenmiştir. Numuneler, Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı’nda muhafaza edilmiştir.

Duvar bloklarının kalitesi, üretim aşamasında kullanılan malzemelerin karışım oranlarına, özelliklerine ve tasarımına bağlıdır. Bu faktörlerinin istenilen özelliklerde olmasına rağmen, üretim esnasında kalıbı yeterince presleyip sıkıştırma işlemleri gerçekleşmezse duvar bloklarının kalitesi düşmektedir. Şekil 3.11’de kalıp içerisindeki bims malzemesi görülmektedir.



Şekil 3.11. Baskı Makinesi İçerisindeki Perlit Katkılı Bims Malzemesi

Vibrasyon ve basınçla yerleşen duvar blokları paletler, elevatör ve taşıyıcı robot vasıtasıyla prizini alması için kamaralara yerleştirilir. Şekil 3.12’de ve Şekil 3.13’de duvar bloklarının üretiminin son aşamaları ve üretilen duvar blokları görülmektedir.



Şekil 3.12. Duvar Bloklarının Paletten Alınması



Şekil 3.13. Duvar Bloklarının Kamaralarda Kürü

Bimsblok ürünleri genelde teçhizatsız olarak bims betondan elde edilmektedir. Bimsblok ürünlerini boyut, şekil ve geometrik durumlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür (TS EN 771-3, 2005).

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

Aşağıda boyutları verilen 3 farklı tipte duvar bloğu üretilmiş ve deneyleri yapılmıştır.

- 100x330x240 (Tek Sıra Boşluklu Duvar bloğu)
- 150x330x240 (İki Sıra Boşluklu Duvar bloğu)
- 200x330x240 (Üç Sıra Boşluklu Duvar bloğu)

Üretilen numune duvar bloklarının, genel görünüşlerine, köşe ve ayrıtlarının düzgünlüğüne bakılmıştır. Numunelerde, çatlak yarık ve döküntü olup olmadığına dikkat edilmiştir. Numune duvar bloklarının her biri, en az iki yerinden ölçülerek ortalamaları alınarak mm'ye yuvarlanmıştır

Basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkların ölçümü yapılmak üzere 27 çeşit duvar blokları için 5'er adet duvar bloğu üretilmiştir. Buna göre $27 \times 5 = 135$ adet numune üretilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı tayini deneyi yapılmak üzere ise 27 çeşit duvar blokları için 10'ar adet 500x500xD boyutlarında bloklar üretilmiştir. 500x500xD boyutundaki blokları oluştururken 2 adet yarım ve 2 adet tam numune kullanılmıştır. Buna göre $27 \times 10 \times 2 = 540$ adet tam ve 540 adet yarım numune üretilmiştir. Sonuç olarak toplam 675 adet tam ve 540 adet yarım duvar bloğu kullanılmıştır.

3.2.2. Duvar Bloklarının Boşluklarının Diyatomit Harcıyla Doldurulması

Duvar bloklarının boşlukları öncelikle öğütülen Hırka Köyü diyatomiti, saten alçı, hava sürükleyici katkı maddesi ve su ile oluşturulan karışım harcıyla doldurulmuştur. Harç karma işlemi laboratuvar ortamında geniş kap içerisinde yapılmıştır.

Deneme karışımlarının el ile karılması işleminde diyatomit ve alçı harmanlanmış, düzgün olarak dağılıncaya kadar su ilave edilmeden karıştırılmıştır. Karma suyu ve hava sürükleyici katkı maddesi katılarak harman istenilen kıvama gelinceye ve homojen bir karışım elde edilinceye kadar karılmıştır. Karma süresi 5 dakikadan az olmamalıdır. İstenilen kıvamı elde etmek için su miktarının araştırıldığı deneme harmanları, karma süresinin gereğinden fazla uzadığı hallerde, numunelerin hazırlanmasında kullanılmamıştır. Bu durumda belirlenen gerekli su miktarı ile yeni bir harman hazırlanmıştır.

Deneme karışımları olarak değişik oranlarda karışımlar denenerek özellikleri belirlenmiştir. Bu karışımlardan dolgu malzemesi olarak kullanılabilen en uygun karışım denenerek seçilmiştir. Buna göre 20 kg diyatomit, 10 kg saten alçı, 400 gr hava sürükleyici kimyasal katkı ve 25 kg su ile en ideal karışım elde edilmiştir.

Karma işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanan dolgu harcı duvar bloklarının boşluklarına doldurulur. Doldurma işlemi, en az iki tabaka halinde olmalıdır. Harç sıkıştırılıp doldurulduktan sonra üst yüzü tesviye edilir. Doldurulan duvar bloklarının yüzeyi düzlenip perdahlanır. Bu amaçla, üst yüzeyden taşan harç şişleme çubuğu veya mala ile sıyrılır, düzlenen yüzey master ile perdahlanır. Bu işlemler en kısa zamanda ve en pratik bir şekilde tamamlanmalıdır. Doldurma işlemi ilk önce 250x500 mm boyutlarında örülen iki adet parçaya, ayrı ayrı uygulanmıştır. Parçalar kurumaya bırakılmıştır. Numunelerin boşluklarına enjekte edilen diyatomit harcının kuruması tamamlandıktan sonra, 250x500 mm boyutlarındaki ikişer adet numune, daha önce belirtildiği şekilde karılan harçla birleştirilmiştir. Şekil 3.14’de diyatomit dolgu harcının hazırlanması görülmektedir.



Şekil 3.14. Diyatomit Harcı Karışımının Hazırlanması

3.2.3. Duvar Bloklarının Boşluklarının Perlit Harcıyla Doldurulması

Duvar bloklarının boşlukları bir diğer karışım olan 0-1 mm İnper marka perlit, saten alçı, hava sürükleyici katkı maddesi ve su ile oluşturulan harçla doldurulmuştur. Harç karma işlemi çelik bir tekne içersinde yapılmıştır. Deneme karışımlarının el ile karılması işleminde perlit ve alçı birlikte su ilave edilmeden karıştırılmıştır. Harman düzgün olarak dağılıncaya kadar su ilave edilmeden karıştırılmıştır. Karma suyu ve katkı maddesi harmana katılır ve harman istenilen kıvamda, homojen bir karışım elde edilinceye kadar karılır. Karma süresi 5 dakikadan az olmamalıdır. İstenilen kıvamı elde etmek için su miktarının araştırıldığı deneme harmanları, karma süresinin gereğinden fazla uzadığı hallerde, numunelerin hazırlanmasında kullanılmamıştır. Bu durumda belirlenen gerekli su miktarı ile yeni bir harman hazırlanmıştır.

Deneme karışımları olarak değişik oranlarda karışımlar denenerek özellikleri belirlenmiştir. Bu karışımlardan dolgu malzemesi olarak kullanılabilen en uygun karışım denenerek seçilmiştir. Buna göre 30 kg perlit, 15 kg saten alçı, 400 gr hava sürükleyici kimyasal katkı ve 30 kg su ile en ideal karışım elde edilmiştir.

Karma işlemleri tamamlandıktan sonra hazırlanan dolgu harcı, duvar bloklarının boşluklarına doldurulur. Doldurma işlemi, en az iki tabaka halinde olmalıdır. Harç sıkıştırılıp doldurulduktan sonra üst yüzü tesviye edilir. Doldurulan duvar bloklarının yüzeyi düzlenip perdahlanır. Bu amaçla, üst yüzeyden taşan harç şişleme çubuğu veya mala ile sıyrılır, düzlenen yüzey mala veya master ile perdahlanır. Bu işlemler en kısa zamanda ve en pratik bir şekilde tamamlanmalıdır. Şekil 3.15’de perlit dolgu harcının hazırlanması görülmektedir.



Şekil 3.15. Perlit Harcı Karışımının Hazırlanması

Duvar bloğu numunelerinin boşluklarına enjekte edilen perlit harcının kurumması amacıyla, numuneler kurumaya bırakılmıştır. Duvar bloğu numunelerinin kuruma işlemi tamamlandıktan sonra, duvar bloğu numunelerinin örülmesi işlemine geçilmiştir. Örülen numuneler laboratuarda kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan numuneler 105 °C’ye ayarlanmış etüvde 24 saat tutularak nemi uzaklaştırılmıştır. Fırınlama sonrasında duvar bloklarının, ısı iletim katsayılarının ölçülmesi işlemine geçilmiştir.

3.2.4. Birim Hacim Ağırlık Tayini

Deney numunelerin, TS 2823 standardın da belirtilen esaslara uygun olarak, dış boyutları 0.1 mm. hassasiyetle ölçülerek hacimleri bulunmuştur. Hacimleri bulunan numuneler, 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutmanın son dört saatlik süresi içinde numunenin ağırlığında %0.2'den fazla azalma görülmediği için bu ağırlık değişmez ağırlık olarak kabul edilmiştir. Numune tartılmadan önce, etüvde soğuması beklenmiştir. Sonrasında 0.1 g. hassasiyetle tartılmıştır. Elde edilen numuneye ait kütle, numunenin hacmine bölünerek numunenin kuru birim hacim ağırlığı elde edilmiştir (TS 2823, 1998).



Şekil 3.16. Duvar Bloklarının Görünümü

3.2.5. Duvar Bloklarının Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Basınç mukavemeti, numunenin eksenel basınç altındaki kırılma yükünün, yükleme doğrultusuna dik yöndeki malzeme kesit alanına oranı olarak TS 3239 EN 1354'e uygun olarak tayin edilmiştir (TS 3239 EN 1354, 1996). Şekil 3.17'de duvar bloklarının basınç dayanımlarının tayini için kırılma anı görülmektedir.



Şekil 3.17. Duvar Bloklarının Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Basınç mukavemeti 5'er adet deney numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boyutları 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek basınç uygulanacak yüzeyin brüt alanı tesbit edilmiştir. Numunenin basınç uygulanacak yüzünün, düzgün ve terazisinde olması önemlidir. Bunu sağlamak için, bir hacim portlant çimentosu ve bir hacim ince kum ile hazırlanan harç kullanılmıştır.

Düzgün bir cam yüzeyi yardımı ile yüzeyler düzlenerek deneye hazırlanmıştır. Meydana getirilen başlık düzleme harcı tabakasının kalınlığı, yaklaşık 5 mm olarak düzenlenmiştir. Bu şekilde hazırlanan başlık düzleme harcı tabakalarının prizinin tamamlaması için beklenmiştir. Daha sonrasında deney, basınç deney presinde,

numuneler kırılana kadar artırılan kuvvet uygulaması ile yapılmıştır. Kuvvet artışı, saniyede $0,05 \text{ N/mm}^2$ – $0,2 \text{ N/mm}^2$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney numunesinin basınç mukavemeti, kırılma anındaki maksimum yükün, yük taşıyan kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

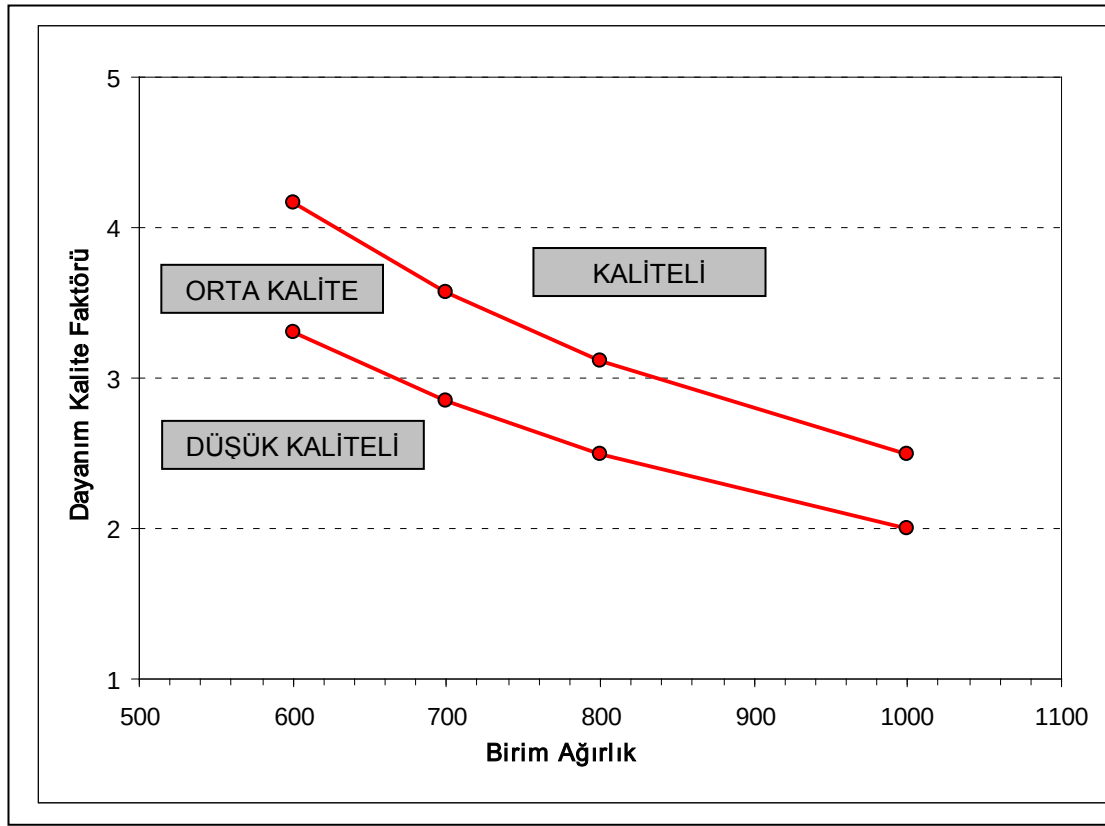
Üretilen blokların basınç mukavemetlerini belirlemek amacı ile numuneler 28. günün sonunda, yükleme hızı $2,5 \text{ kg/cm}^2/\text{sn}$ olacak şekilde Alşa marka TSE-Sojultest kalibrasyon belgeli, klas 1 sınıfında tek eksenli basınç presinde kırılmıştır. Sonuçlar 4. bölümde, bulgular ve tartışma kısmında verilmiştir.

3.2.6. Duvar Bloklarının Dayanım Kalite Faktörü Analizi

Duvar bloklarının değerlendirmesinde önemli ölçütlerden birisi de, dayanım açısından kalite katsayısının belirlenmesidir. Bu ölçüt belirlenirken, duvar bloğunun basınç dayanımının, bloğun birim hacim ağırlığına oranı olarak bulunan değer, duvar bloğunun dayanım kalite faktörü (f_o) olarak tanımlanır. Duvar bloklarının dayanım kalite faktörleri, minimum basınç dayanım değeri 20 kg/cm^2 ve ortalama basınç dayanımı 25 kg/cm^2 değerleri ile en büyük birim hacim ağırlıkları olarak tanımlanan ($600 - 700 - 800 - 1000 \text{ kg/cm}^3$) değerleri kullanılarak, standart dayanım kalite faktörleri belirlenmiştir (TS EN 771-3, TS EN 772-1, 2005). Dayanım kalite faktörleri Çizelge 3.12’de verilmiştir. Ayrıca bu değerlerin uygulanabilirlik limitleri belirlenerek Şekil 3.18’de grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 3.13. Dayanım Kalite Faktörleri

Birim Hacim Ağırlık (kg/cm^3)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Dayanım Kalite Faktörü (f_o)
600	20 (min.)	3.33
	25 (ort.)	4.17
700	20 (min.)	2.85
	25 (ort.)	3.57
800	20 (min.)	2.50
	25 (ort.)	3.12
1000	20 (min.)	2.00
	25 (ort.)	2.50



Şekil 3.18. Duvar Bloklarının Standart Dayanım Faktörleri

3.2.7. Duvar Bloklarının 500x500 mm Boyutlarında Örülmesi

Deney aletimizde folyo boyutları 500x500xD mm olarak tasarlandığından üretilen duvar bloğu numuneleri Şekil 3.19’da görüldüğü gibi 500x500xD mm boyutlarında olacak şekilde örülmüştür.

Öncelikle 150x240xD boyutundaki yarım numune yaklaşık 20 mm harç ile 330x240xD boyutundaki tam duvar bloğu ile birleştirilmiştir. Toplam genişlik 500 mm olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu blok gene yaklaşık 20 mm harç ile aynı şekilde hazırlanan diğer duvar bloğuna birleştirilmiştir. Böylelikle 500x500xD boyutunda deney bloğu oluşturulmuştur.



Şekil 3.19. Duvar Bloklarının 500x500xD mm Boyutlarına Göre Ayarlanması

Duvar blokları örülürken derz harcı için ırmak kumu kullanılmıştır. Duvar bloğunun sıva suyunu emmesini önlemek için, önce duvar bloğu, daha sonra da sıva aralıklı olarak ıslatılmıştır. Duvar bloklarının örülmesinde harç için uygulamada da kullanıldığı gibi 4 birim ince kum, 1 birim çimento ve 1 birim kireç kullanılmıştır. Harcın istenen özellikleri sağlayabilmesi ve üniform olması için karışıma giren malzemeler kürekle kuru halde iyice karıştırılmış, daha sonra su ilave edilerek tüm malzemenin üniform olarak karışması sağlanmıştır. Su istenen kıvama ulaşana kadar harç karışımına dikkatlice ilave edilmiştir. Hazırlanan harç karışımı bu haliyle yaklaşık 5 dakika bekletildikten sonra yeniden karıştırılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Duvar bloklarının örülmesi aşamasında, derzlerden dışarıya harç taşmamasına özen gösterilmiştir. Örülen 500x500xD mm'lik deney numuneleri, iki adet tam ve iki adet yarım duvar bloğundan teşkil edilmiştir. Duvar blokları, uygulamada yapıldığı gibi derzlerin çakışmaması amacıyla, şaşırtmalı olarak örülmüştür. Duvar blokları yerine yerleştirildikten sonra lastik tokmak ile hafif darbelerle hizalanmış, yandaki bloğa yanaştırılıp Şekil 3.20 ve 3.21'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.20. Duvar Bloklarının Derzlerinin Oluşturulması



Şekil 3.21. Duvar Bloklarının 500x500xD mm Boyutlarında Örülmesi

Dört adet duvar bloğunun aynı anda yapıştırılması işleminin zor olmasından dolayı, ilk olarak bir tam, bir yarım duvar bloğu birleştirilmiştir. Daha sonraki aşama da, iki adet 250x500xD mm boyutlarındaki numuneler üst üste birleştirilmiştir. Kenarlardaki fazlalıklar taş kesme makinesinde kesilerek numunenin cihaza kolay yerleşmesi sağlanmıştır. Örülen duvar bloklarındaki harç fazlalıkları Şekil 3.22’de görüldüğü gibi sert fırça yardımıyla düzeltilmiştir.



Şekil 3.22. Duvar Bloklarındaki Harç Tabakalarının Düzlenmesi

Deney aletine yerleştirilecek numunelerin yüzeylerinin, düzgün olması deney sonuçlarının güvenilirliği açısından çok önemlidir. Bu sebepten dolayı, numune yüzeyleri fırçayla düzlendikten sonra zımpara ile gönyesi kontrol edilmiş ve deneye hazır hale getirilmiştir.

Ölçüm öncesi tüm hazırlıklar tamamlandıktan sonra, üretilen deney numunelerinin üzerlerine asetatlı kalem ile kodları yazılmıştır. Numunelerin özelliğine bağlı olarak, farklı notasyonlar kullanılarak numaralandırma işlemi yapılmıştır. Numaralandırma işlemi, deney numunelerine ait değerlerin daha düzenli bir şekilde tutulmasında yarar sağlamıştır. Hazırlanan duvar bloklarının harcının kuruması için laboratuvar ortamında Şekil 3.23’de görüldüğü gibi bekletilmiştir.



Şekil 3.23. Hazırlanan Bir Kısım Duvar Bloklarının Kurumaya Bırakılması

Isı iletim katsayısını etkileyen en önemli etken nemdir. Isı iletim katsayısının hesaplanmasında nemin dikkate alınması termodinamik formülleri ile mümkün olamamaktadır. Bu yüzden ısı iletim katsayısı hesaplanırken, numunenin boşluklarında nem olmadığı kabulünden hareketle, numuneler Şekil 3.24’de görüldüğü gibi öncelikle laboratuvar ortamında daha sonrasında etüvde kurutulmuştur.

105 °C sıcaklıkta kırk sekiz saat etüvde kalan numuneler, etüv kapatıldıktan sonra soğuması için Şekil 3.25’de görüldüğü gibi etüv içerisinde bekletilmiştir. Numunenin etüvde bekletilmesinin sebebi, numunenin soğuması sırasında ortamdan nem almasını engellemektir. Ayrıca, sıcak ortamdan soğuk ortama ani geçişte, numune boşluklarındaki yoğuşma, daha rahat gerçekleşebilmektedir. Deney parçasının kütlesi belirlendikten sonra, havalandırılmalı etüvde, sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmiştir. Tamamen soğumadan mahfazalı sıcak plaka cihazına yerleştirilen numune, deney aletinin daha kısa zamanda istenilen sıcaklık değerlerine ulaşmasına yardımcı olabilmektedir.



Şekil 3.24. Dolgulu Duvar Bloklarının Laboratuvar Ortamında Kurutulması



Şekil 3.25. Hazırlanan Duvar Bloklarının Etüvde Kurutulması

3.2.8. Isı İletim Katsayısı Değeri Tayini

Duvar bloklarının ısı iletim katsayılarını tespit ederken mahfazalı plaka cihazı kullanılmıştır. Buna göre mahfazalı plaka cihazının en alt tabakası olan soğutucu plakanın üzerine folyo yerleştirilmiştir. Termoçiftlerin bulunduğu folyo, mahfazalı sıcak plaka cihazının tam merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kaymasını önlemek için köşelerinden alt plakaya bantlanmıştır.

Deney parçasının soğuk yüzeyinin sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoçiftler, standarda uygun olarak çapı 0.2 mm'den daha büyük olmayan kalibre edilmiş tellerden yapılmıştır. Bundan dolayı numuneyi yerleştirilirken kabloların düzenine zarar vermemeye özen gösterilmiştir.

Deney numunesi, iki tarafından tutularak düzgün bir şekilde, Şekil 3.26'da görüldüğü gibi soğuk folyonun üzerine tam oturacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney numunesi yerleştirilirken deney numunesinden dökülen toz, parçacıklar, elektrik süpürgesi yardımı ile temizlenmiştir. Ayrıca, numunenin üst yüzeyine yerleştirilecek sıcak folyonun tam oturmasını sağlamak amacıyla, numunenin üst yüzeyi temizlenmiştir.



Şekil 3.26. Termoçiftlerin Olduğı Folyonun Yerleştirilmesi

Numunelerin her iki yüzeyine yerleştirilen termoçiftlerin bulunduğu folyolar sayesinde yüzey sıcaklıkları kontrol edilmektedir. Soğutucu ve ısıtıcı plakadan termoçiftler ve kalibre edilen kablolar aracılığı ile sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir.

Mahfazalı sıcak plaka cihazı, ısıtma ve soğutma üniteleri arasındaki numune kalınlığı kadar oluşacak boşluk deney parçasının etrafı düşük iletkenliğe sahip strafor malzemesiyle sarılmıştır. Böylelikle numunenin dört bir tarafından gerçekleşebilecek ısı transferi önlenmiştir. Daha sonra sıcak folyo numunenin merkezine gelecek şekilde Şekil 3.27 ve 3.28’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.27. Numunenin Soğutucu Plaka Üzerine Yerleştirilmesi

Numunenin etrafına yerleştirilen strafor malzemelerinin yüksekliği, deney numunesi ile aynı seviyede olmalıdır. Bu yüzden, deney numunesi kalınlığına bağlı olarak, uygun boyutlarda strafor malzemesi kullanılmıştır.

Sıcak folyo yerleştirildikten sonra üzerine Şekil 3.29’de görüldüğü gibi sıcak plaka kapatılmıştır. Isıtıcı levha sıcak folyoya ait termoçiftleri kapsayacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.28. Sıcak Folyonun Yerleştirilmesi



Şekil 3.29. Sıcak Plakanın Yerleştirilmesi

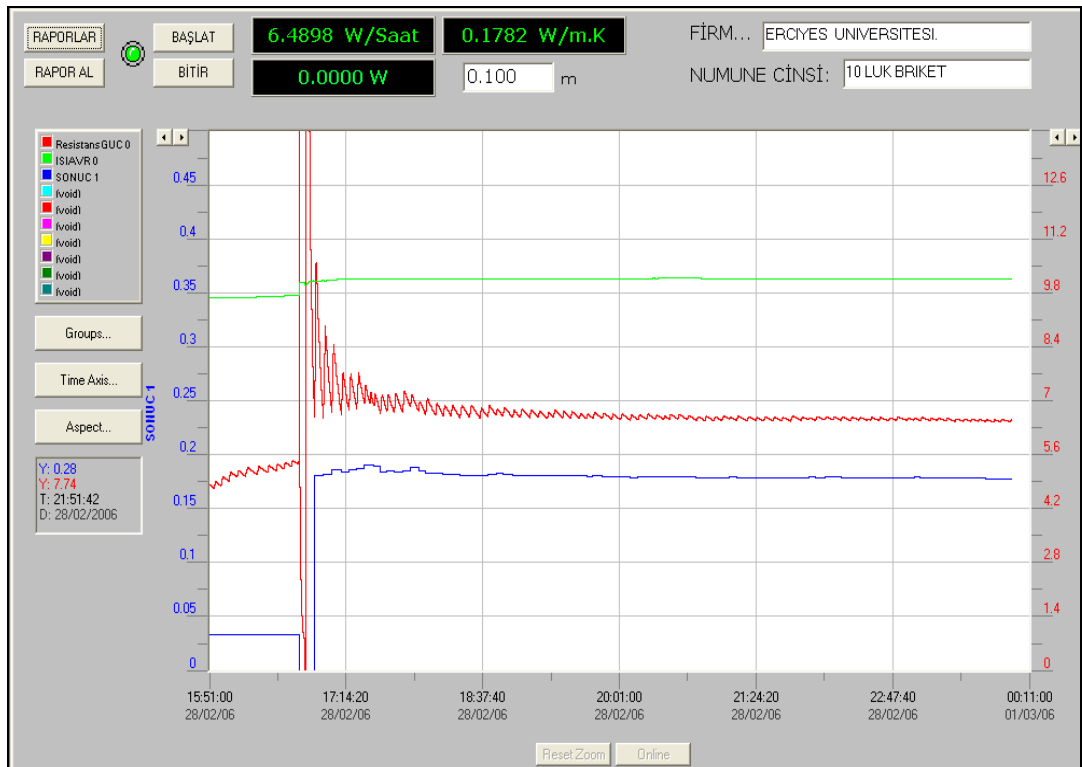
Sıcak levha yerleştirildikten sonra en üste numunenin tam olarak yerleşmesi, numunenin etrafına yerleştirilen straforların aralarındaki boşlukların tamamen kapanması, plakaların birbirine ve folyolara tam olarak temas etmesi için muhafaza levhası yerleştirilmiştir. Muhafaza levhası kullanılmasının bir diğer amacı da sıcak levhadan ısı kaçışını önlemektir. Bilindiği gibi ısı, sıcak ortamdaki soğuk ortama doğru hareket etmektedir. Eğer ortam sıcaklığı, soğuk yüzey sıcaklığından daha düşük bir sıcaklık değerinde ise, ısı yukarı yönde hareket edecektir. Oysaki ısı iletim katsayısını hesaplamak için verilen ısıнын tamamının, deney numunesi üzerinden geçmesi gerekmektedir. Verilen ısıнын tamamının soğuk yüzeye doğru akmasını sağlamak amacıyla, sıcak yüzeyden yukarıya doğru ısı kaybını engellemek için, bu levha tasarlanmıştır. Şekil 3.30’da görülen en üstteki mahfaza levhasının sıcaklığını, ısıtıcı levha sıcaklığı ile aynı tutmamız gerekmektedir. Bu sayede ısı, kendisi ile aynı sıcaklık değerine sahip bir ortama hareket etmek yerine, kendinden daha düşük sıcaklık seviyesinde bulunan soğuk ortam yönünde hareket edecektir.



Şekil 3.30. Muhafaza Levhasının Yerleştirilmesi

Deney aletinden ölçülen değerlerin bilgisayar programına aktarılması için algılayıcılar ve data aktarım kabloları uygun yerlerine takılmıştır. Bu algılayıcılar deney numunesine ait ölçüm değerlerinin ve ısıtıcının ısınması için gerekli enerjinin sağlandığı düzeneklerdir. Tüm işlemlerin tamamlanmasından sonra, son kontroller yapılarak deney aletinin kapağı kapatılır. Daha sonra muhafazalı sıcak plaka cihazının kontrol paneli ve bilgisayar ünitesi kullanılarak cihaz çalıştırılır. Deney aletinin kararlı hale gelmesi beklenir. Metot, prensip olarak kararlı hal şartlarını kabul ettiğinden özelliklerin tayininde doğru değer elde etmek amacıyla cihazın ve deney parçasının ısıl dengeye ulaşması için yeterli bir süre beklemek şarttır. Deney aletinin kararlı hale gelmesi, sıcaklık farkının 15°C civarında olması ayrıca sisteme verilen enerjinin değişmediğinin gözlenmesiyle anlaşılabilir. Aynı zamanda, mahfazalı sıcak plaka cihazı ile bilgisayar programı aynı anda çalıştırılarak, sistemin kararlı hale gelme evresi, program üzerinden değerler ve Şekil 3.31’de görüldüğü gibi grafikler yardımıyla da kontrol edilebilir.

Dengeye ulaşmak için gerekli olan süre birkaç dakikadan birkaç güne kadar değişebilir ve bu süre cihaza, deney parçasına ve bunların etkileşimine bağlıdır. Kararlı hale gelme süresi ünitelerin ısıl kapasitelerine, kontrol sistemlerine cihazın yalıtımına, deney sırasında ortam sıcaklığına, deney başlangıcında deney parçasının sıcaklığına ve nem muhtevasına bağlı olarak değişir.



Şekil 3.31. Mahfazalı Plaka Cihazının Kararlı Halinin Grafikselsel Görünümü

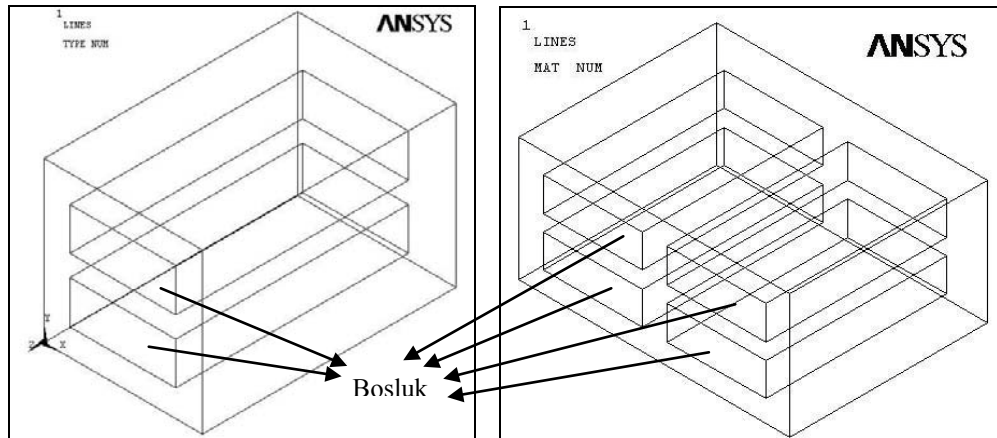
3.2.9. Duvar Bloklarının Sonlu Elemanlar Metoduyla Modelleme

3.2.9.1. Boşluklu Duvar Bloklarının Modellenmesi

Laboratuar şartlarında pratik olarak deneylerini yapmış olduğumuz duvar blokları, ANSYS paket programında sonlu elemanlar metoduyla bir ısı transferi problemi olarak modellenerek davranışları incelenmiştir.

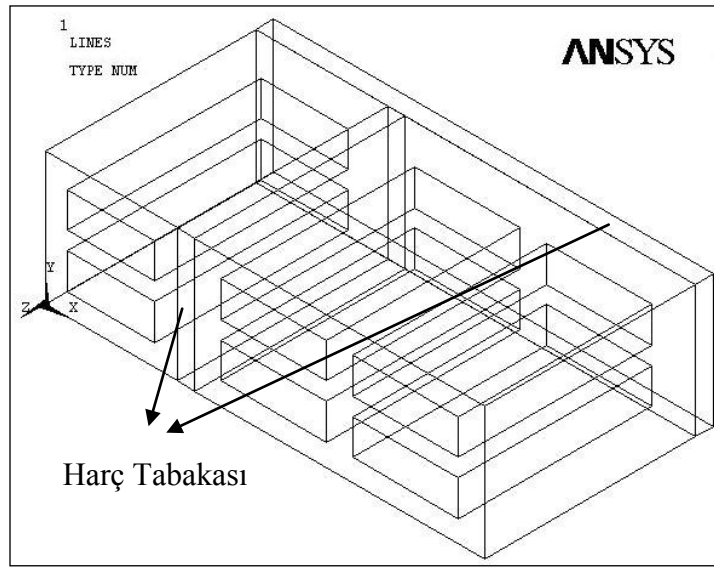
Örnek olarak iki sıra boşluklu 150'lik duvar bloklarından kontrol numunesinin modellenmesi alınmıştır. Diğer numunelerde aynı şekilde modellenmiştir.

İşlem öncesi tanımlamalar ve modelleme, sonlu elemanlar metodunun en önemli adımıdır. Bu aşamada incelenecek modele uygun eleman tipi seçildi, malzeme özellikleri belirlendi. Öncelikle mahfazalı plaka cihazına göre örülen 500x500 mm bloklarda kullandığımız yarım ve tam duvar blokları Şekil 3.32'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



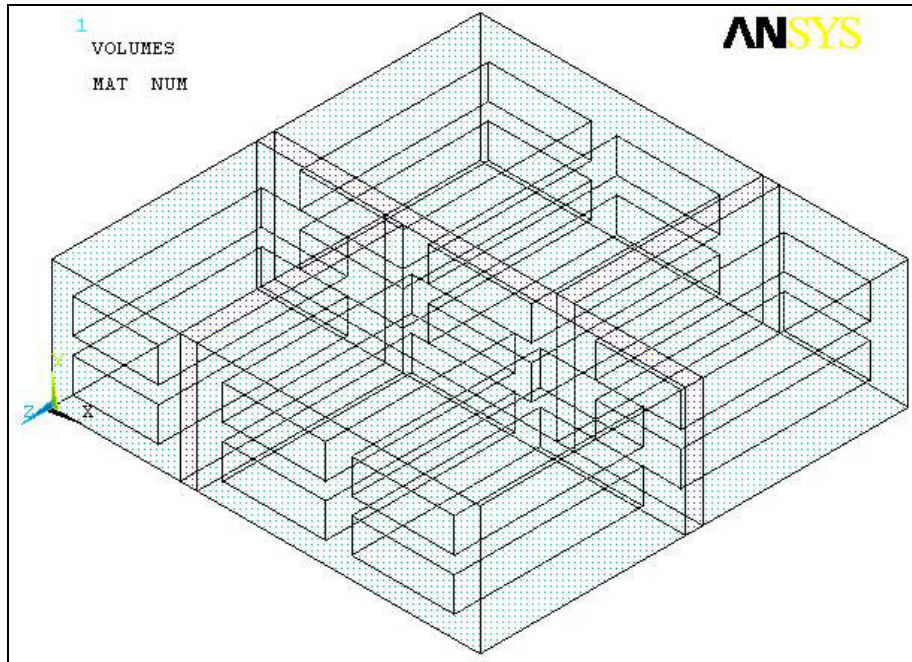
Şekil 3.32. 2-DBK-150 Kodlu Yarım ve Tam Duvar Bloklarının Modeli

Daha sonra yarım ve tam duvar bloklarının ara yüzeyi boyunca 20 mm harç tanımlanmış ve birleştirilmiştir. Böylelikle 500x500x150 mm duvar bloklarının yarım kısmı olan 240x500x150 blokları modellenmiştir. Harçla birleştirilen yarım ve tam duvar bloklarının alt yüzeylerine de 20 mm'lik harç tanımlanmıştır. Böylelikle 1. aşama olarak Şekil 3.33'de görüldüğü gibi 500x500x150 mm duvar bloklarının yarım kısmı modellenmiştir.



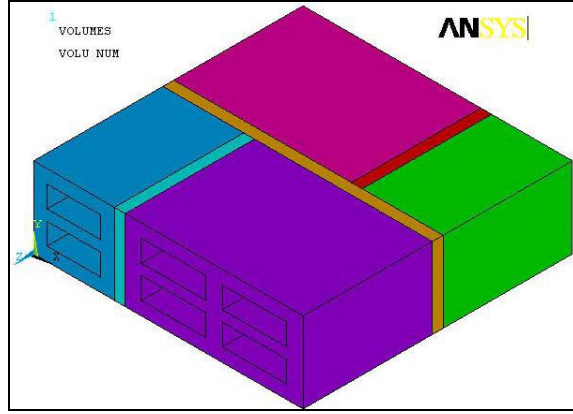
Şekil 3.33. 250x500x150 mm Boyutundaki Duvar Bloklarının Modeli

Alt tabakada tanımlanan harç tabakasıyla beraber 260x500x150 mm boyutunda olan yarım blok, 240x500x150 mm boyutunda tanımlanan diğer blokla birleştirildiğinde, deneylerini yaptığımız 500x500x150 mm boyutundaki 2-DBK-150 kodlu numunenin modeli Şekil 3.34’de görüldüğü gibi tamamlanmıştır.



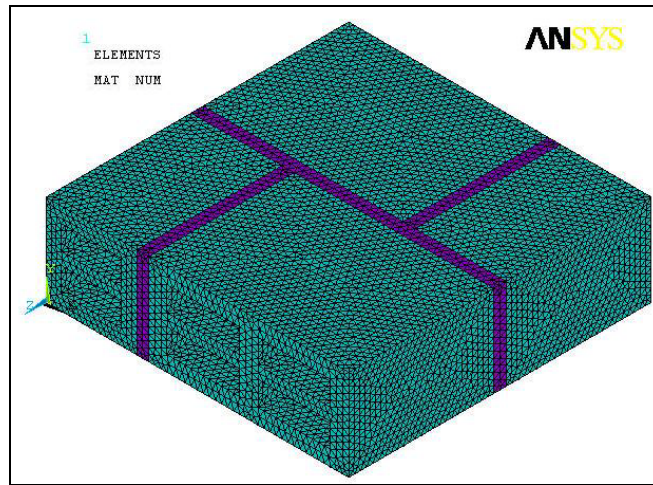
Şekil 3.34. 500x500x150 mm Boyutundaki Duvar Bloklarının Modeli

Bir sonraki aşamada model elemanlara ayrılmıştır. Modelde kullanılacak elemanlar mümkün olduğunca serbest ve düzenli olacak şekilde seçilerek ısı akısı çizgilerinin daha doğru sonuçlarla gösterilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.35’de modeldeki hacimler Şekil 3.36’da ise meshlenmiş hacimler görülmektedir.

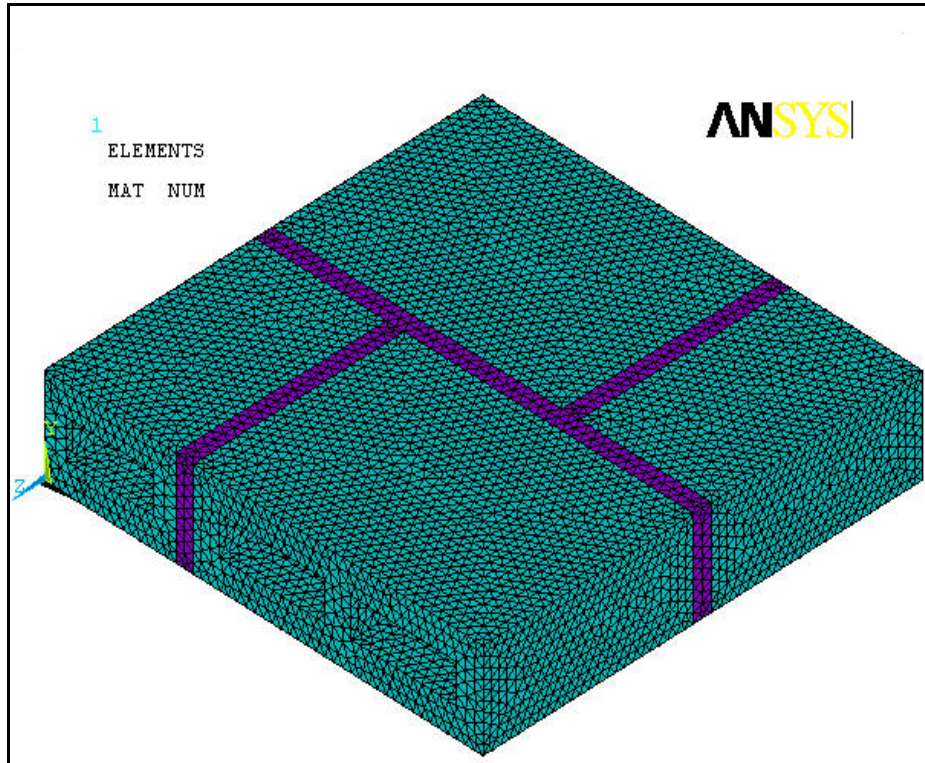
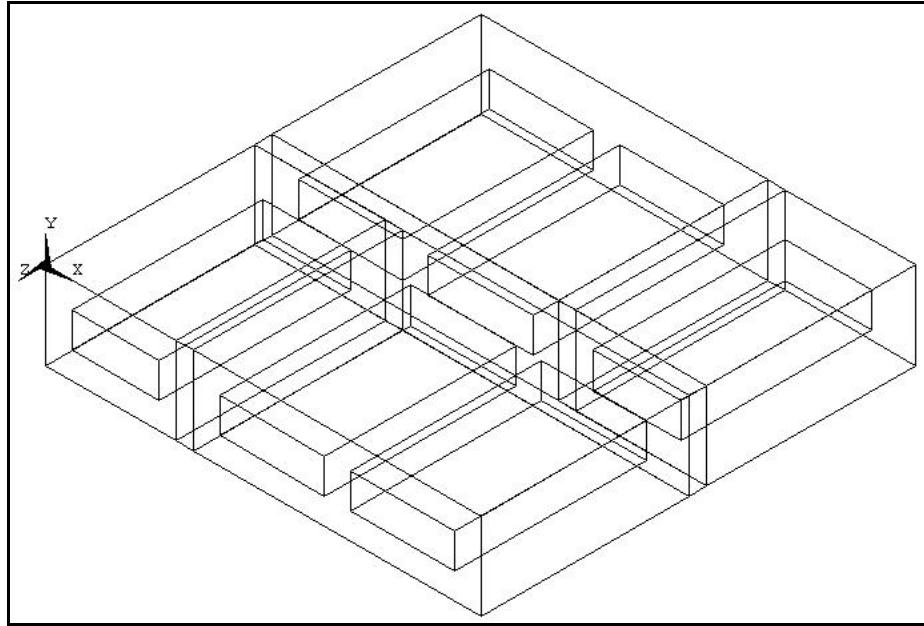


Şekil 3.35. 2-DBK-150 kodlu Modelde Hacimlerin Görünümü

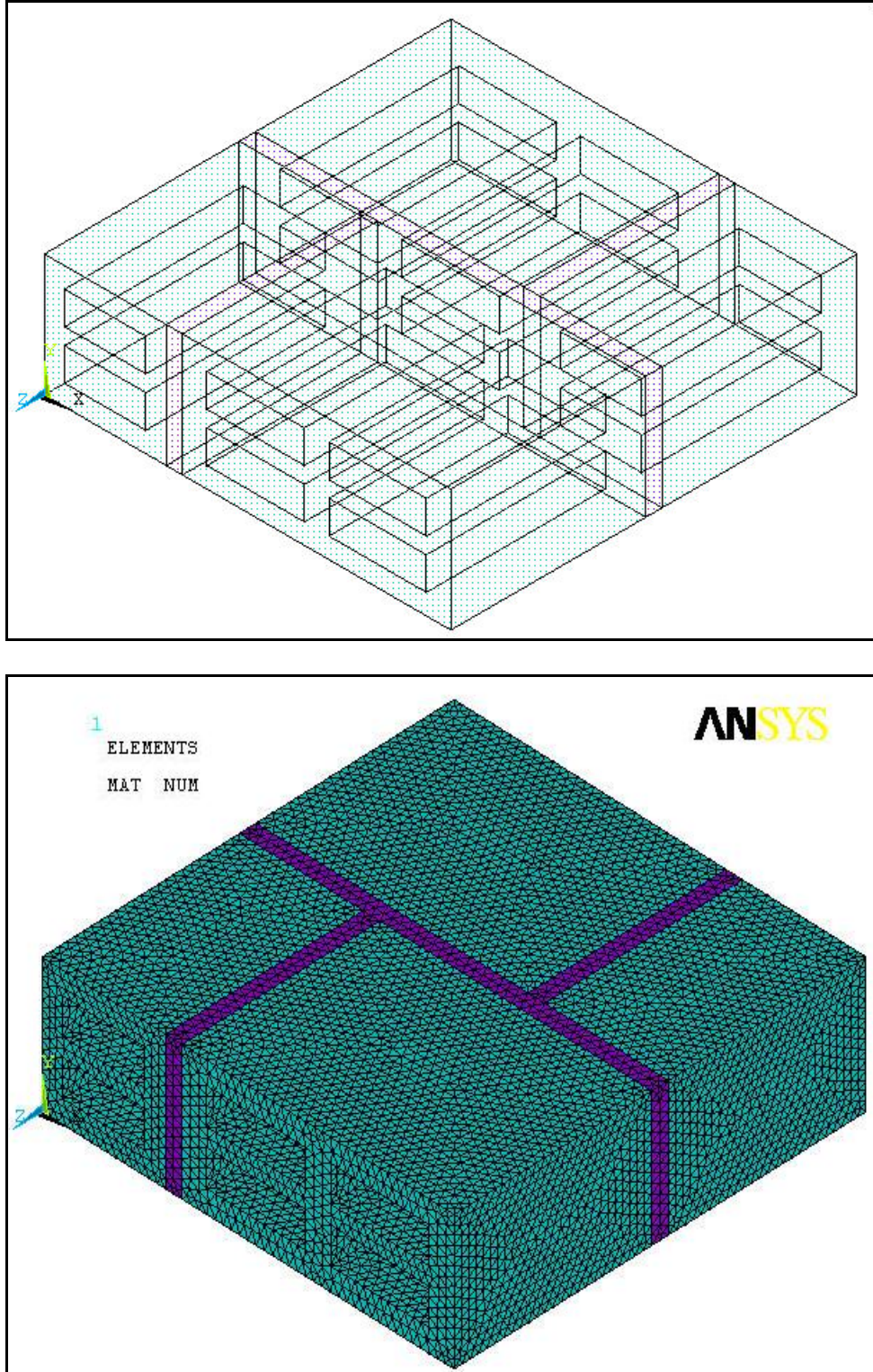
ANSYS gibi sonlu eleman programlarında çözümü hızlandırmak için sınır şartları tanımlanır. Çözüm aşamasında sınır şartları ve dış koşullar belirlenmiş ve ardından da model çözümlenmiştir. Sınır şartlarının doğru belirlenmesi tüm mühendislik problemlerinde olduğu gibi büyük önem arz eder. Şekil 3.35, 3.36, 3.37’de boşluklu duvar bloklarının modelleri görülmektedir.



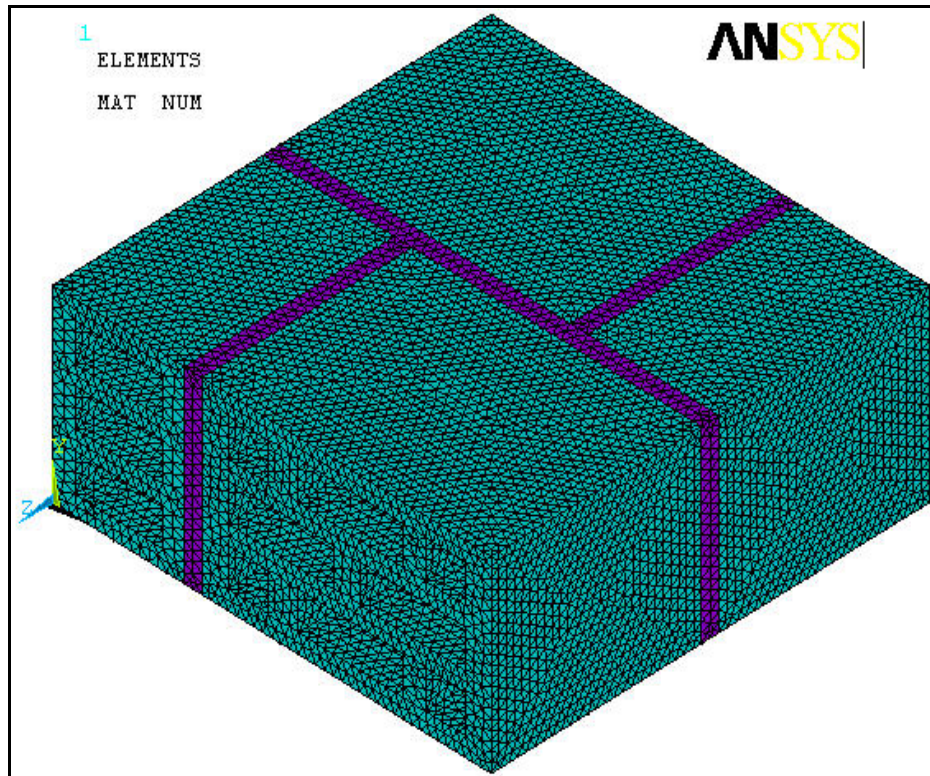
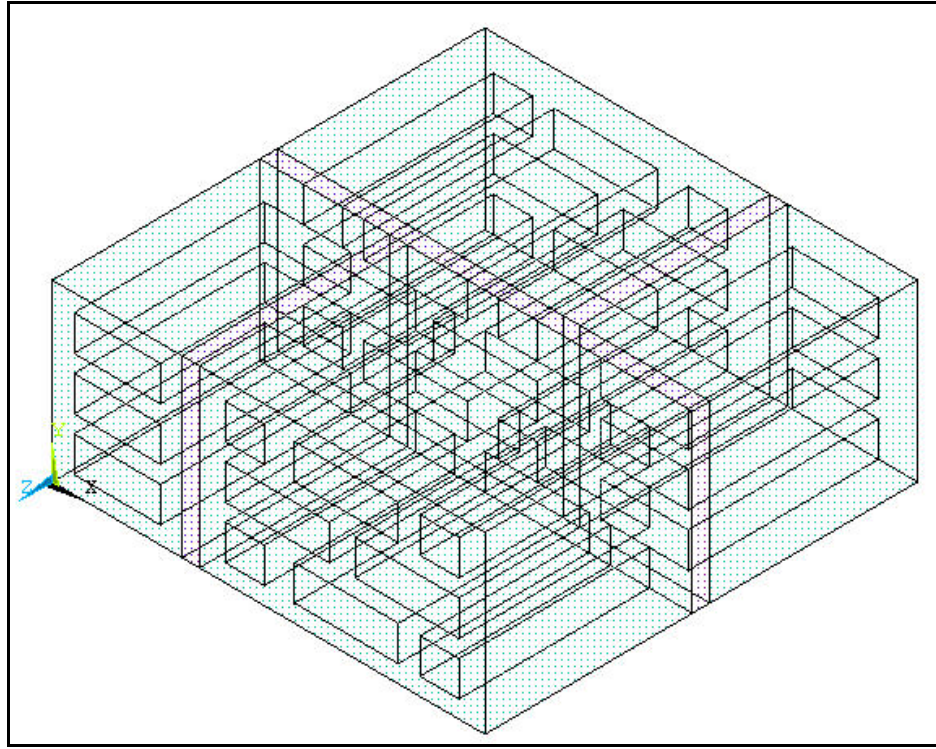
Şekil 3.36. 2-DBK-150 Kodlu Modelin Meshlere Ayrılması



Şekil 3.37. DBK-100 Kodlu Duvar Bloklarının Modeli



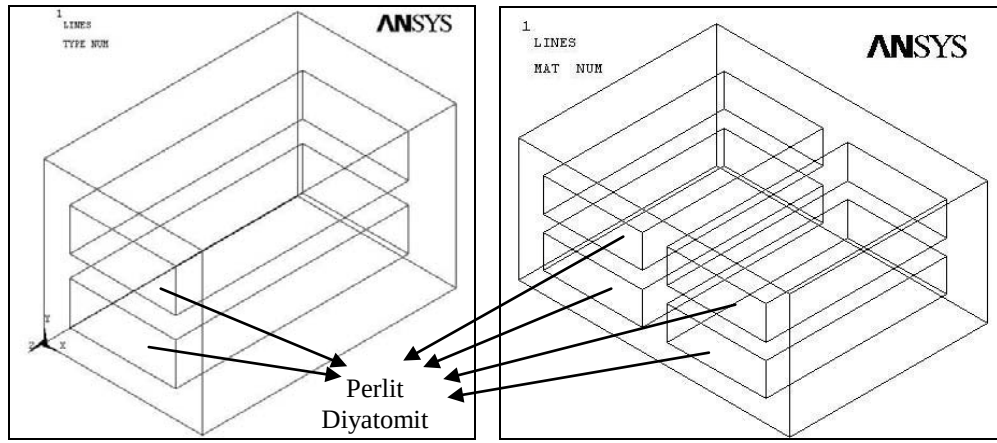
Şekil 3.38. DBK-150 Kodlu Duvar Bloklarının Modeli



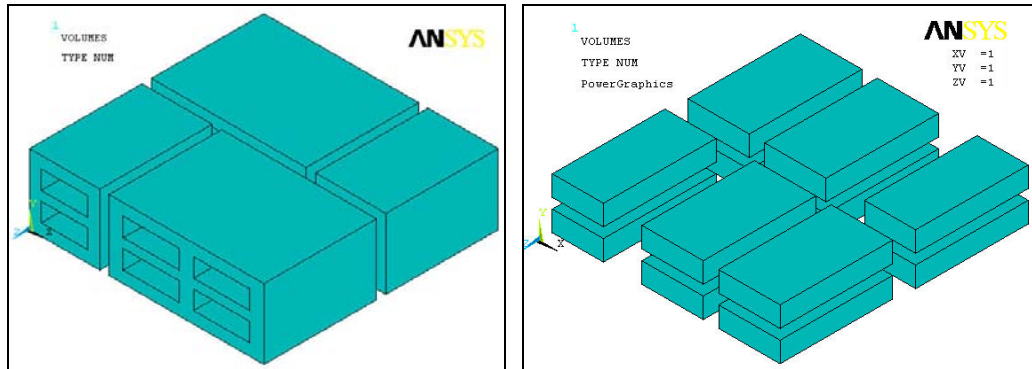
Şekil 3.39. DBK-200 Kodlu Duvar Bloklarının Modeli

3.2.9.2. Dolgulu Duvar Bloklarının Modellenmesi

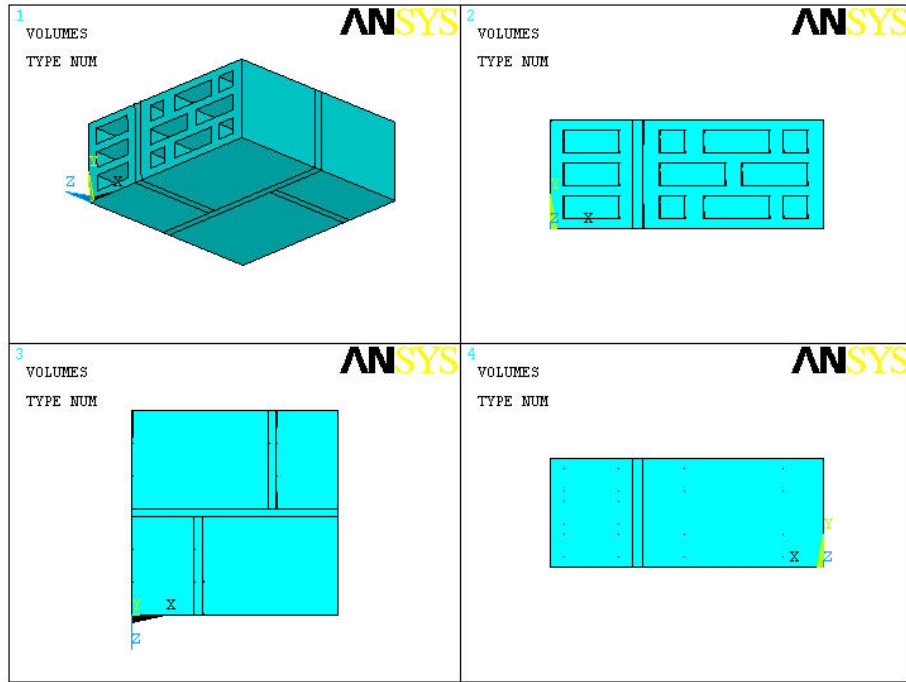
Dolgulu olarak üretilen iki sıra boşluklu 150'lik duvar bloklarından diyatomit dolgulu numunenin modellenmesi örnek olarak alınmıştır. Diğer perlit dolgulu numunelerde aynı şekilde modellenmiştir. Hacimlerin ve harç tabakaları oluşturulması boşluklu duvar bloklarıyla aynı şekildedir. Sadece boşlukları oluşturduktan sonra overlap komutuyla boşluklara diyatomit malzemesi tanımlanmıştır. Şekil 3.40 ve 3.41'de boşluklara doldurulan perlit veya diyatomit modeli görülmektedir.



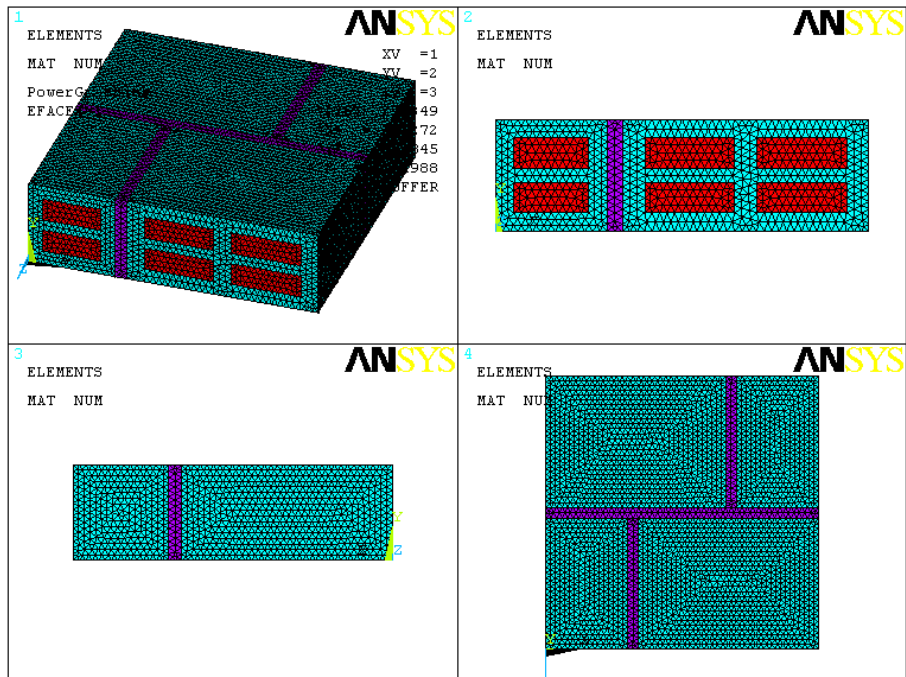
Şekil 3.40. ANSYS'de Dolgulu Yarım ve Tam Duvar Bloklarının Modeli



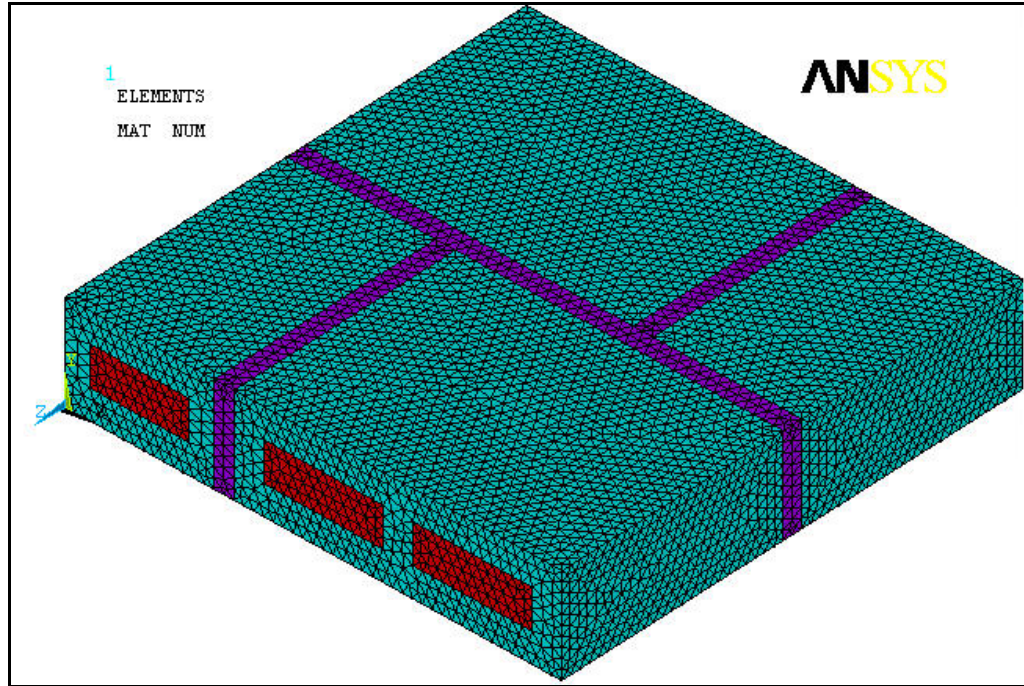
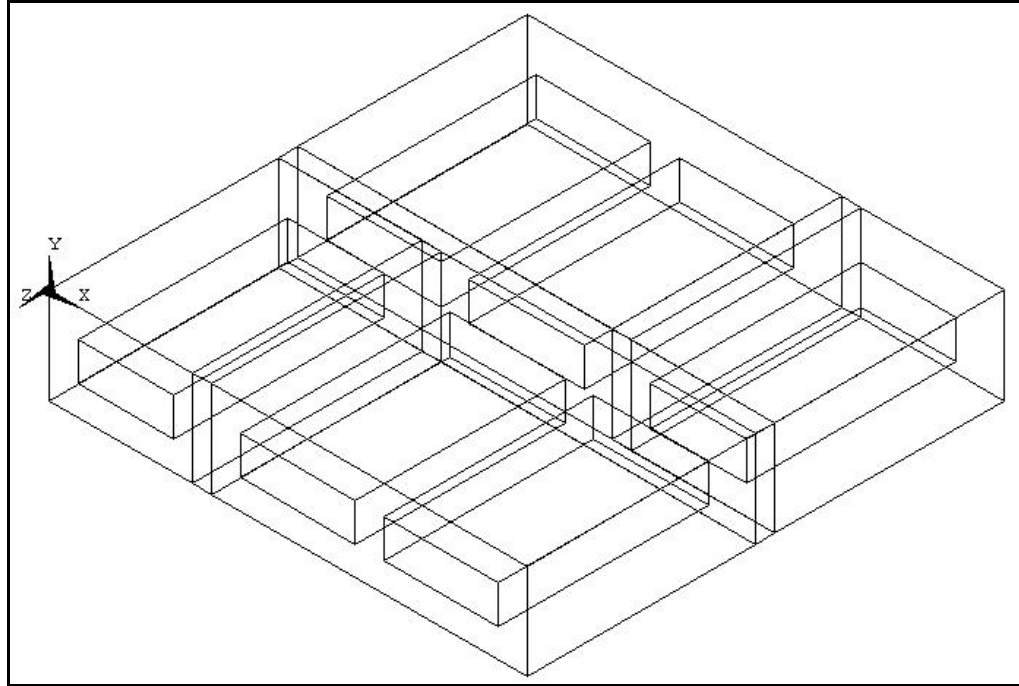
Şekil 3.41. Dolgulu Duvar Bloklarının Modeli



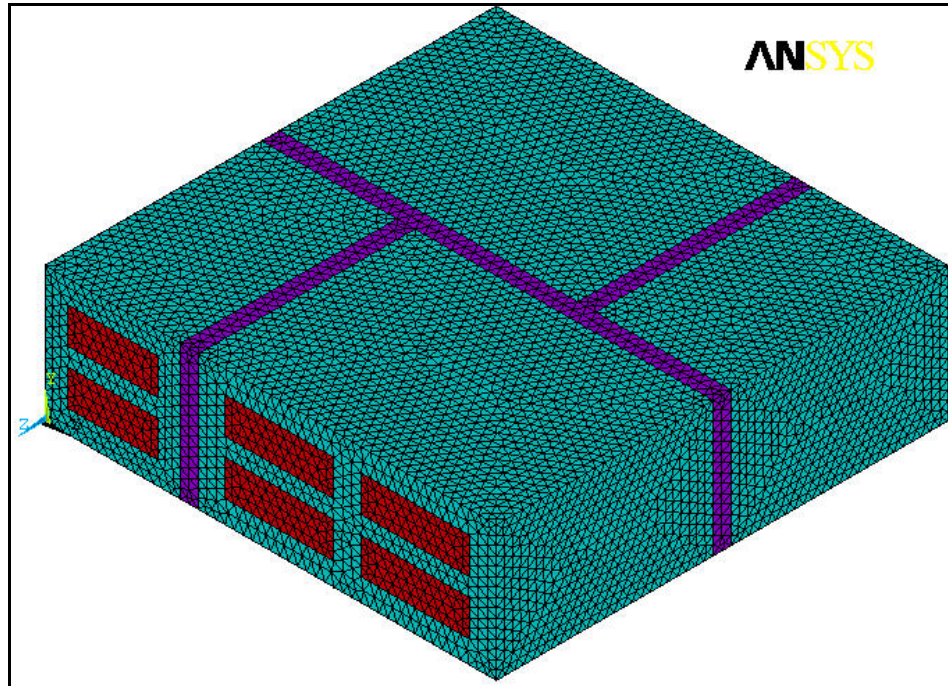
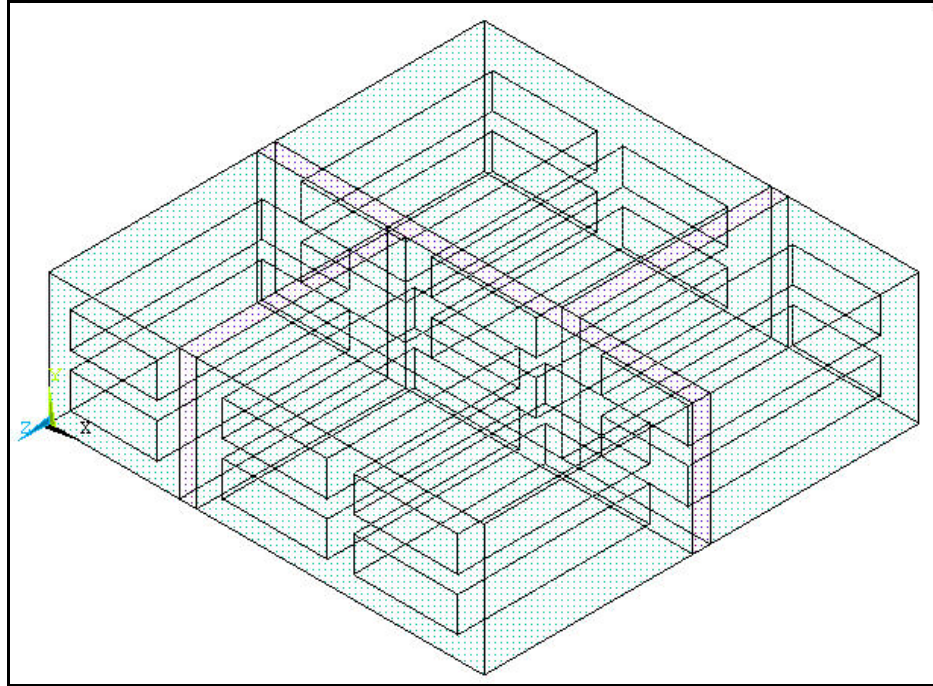
Şekil 3.42. Dolgulu Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-1



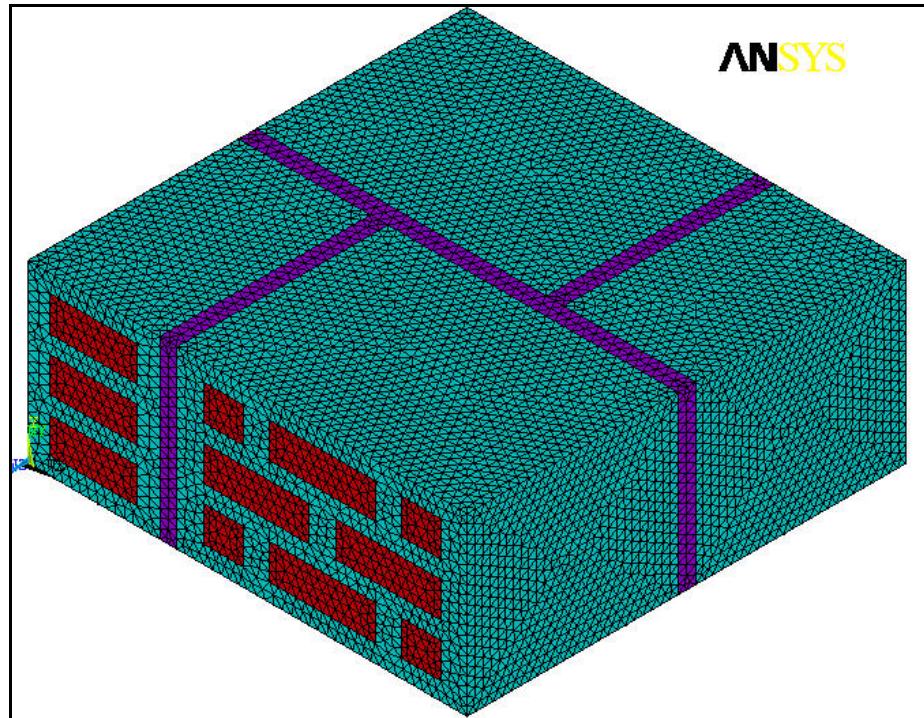
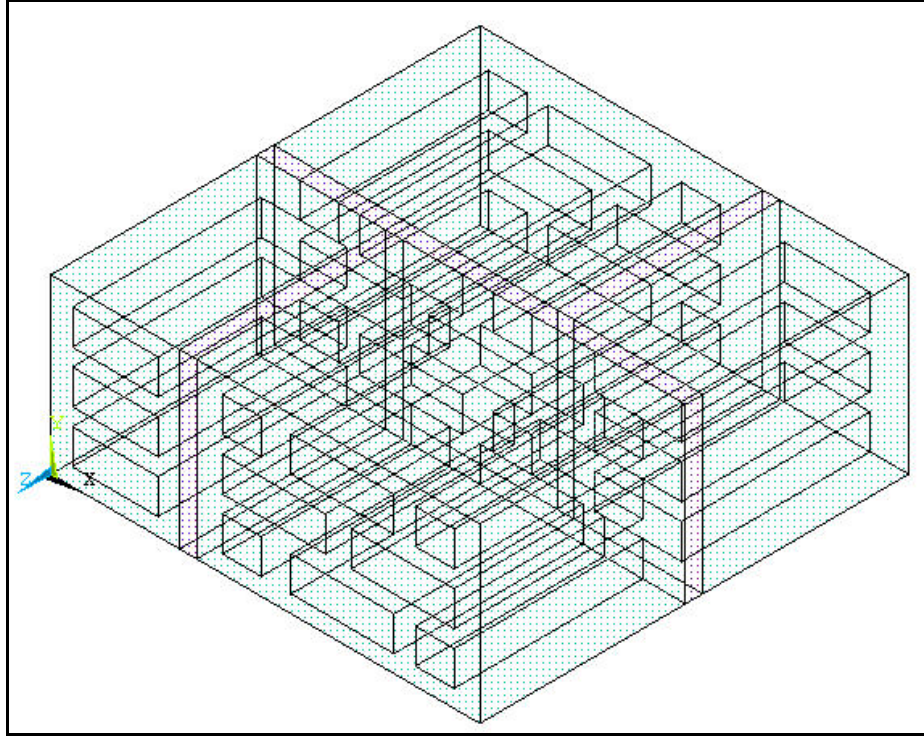
Şekil 3.43. Dolgulu Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-2



Şekil 3.44. (1-DB-DD) Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-1



Şekil 3.45. (2-DB-DD) Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması-2



Şekil 3.46. (3-DB-DD) Duvar Blokları Modellerinin Oluşturulması



Şekil 3.47. Katkılı ve Katkısız Harçların İ.İ.K. Tespiti İçin Numune Üretimi



Şekil 3.48. Perlit ve Diyatomit Harçların İ.İ.K. Tespiti İçin Numune Üretimi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Üretilen duvar bloklarının özelliklerinin iyileştirilmesinin amaçlandığı bu deneysel çalışma kapsamında, bu bölümde numuneler üzerinde yapılan birim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik deneyleri ile ilgili bulgular, çizelgeler ve grafikler sunulmuştur.

4.1. Kontrol D.B. Kalınlığa Göre Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen kontrol duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayısı araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kontrol duvar blokları diatomit ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilecektir. Kontrol duvar bloklarının deneyleri ile ilgili sonuçlar Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, ve 4.6'da verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm'lik 5 adet kontrol numunelerinin birim ağırlıkları 863 ile 875 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik 5 adet kontrol numunelerinin birim ağırlıkları 850 ile 858 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm'lik 5 adet kontrol numunelerinin birim ağırlıkları ise 844 ile 850 kg/m³ arasında değişmektedir.

Duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm'lik 5 adet kontrol numunelerinin basınç dayanımları 2.37 ile 2.43 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik 5 adet kontrol numunelerinin basınç dayanımları 2.57 ile 2.65 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm'lik 5 adet kontrol numunelerinin basınç dayanımları ise 2.73 ile 2.78 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.1. (1-DBK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DBK-100-1	863	2.42
1-DBK-100-2	872	2.39
1-DBK-100-3	875	2.37
1-DBK-100-4	874	2.43
1-DBK-100-5	868	2.41
Ortalama	870	2.40

Çizelge 4.2. (2-DBK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DBK-150-1	850	2.64
2-DBK-150-2	858	2.57
2-DBK-150-3	853	2.63
2-DBK-150-4	858	2.65
2-DBK-150-5	851	2.59
Ortalama	854	2.62

Çizelge 4.3. (3-DBK-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DBK-200-1	850	2.75
3-DBK-200-2	849	2.78
3-DBK-200-3	848	2.77
3-DBK-200-4	844	2.73
3-DBK-200-5	845	2.76
Ortalama	847	2.76

Çizelge 4.4. (1-DBK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

TEK SIRA
BOŞLUKLU
KONTROL

Boyutlar (mm)	100x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ort. Ağırlık (kg)	4.1
Birim Ağırlık (kg/m ³)	870
Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.4
Ort. Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.209

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DBK-100-1	100	13.0	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.214
1-DBK-100-2	100	13.1	15.2	14.9	30.1	-0.2	0.209
1-DBK-100-3	100	13.1	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.210
1-DBK-100-4	100	13.0	15.3	15.0	30.3	-0.1	0.207
1-DBK-100-5	100	13.1	15.0	15.0	30.0	-0.2	0.205
1-DBK-100-6	100	13.1	15.2	15.0	30.2	-0.1	0.211
1-DBK-100-7	100	13.1	15.2	14.7	29.9	-0.3	0.210
1-DBK-100-8	100	13.0	15.2	15.0	30.2	-0.2	0.211
1-DBK-100-9	100	13.1	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.210
1-DBK-100-10	100	13.1	15.0	15.0	30.0	-0.2	0.206
1-DBK-100-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.209

Çizelge 4.5. (2-DBK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ort. Ağırlık (kg)	5.9
Birim Ağırlık (kg/m ³)	854
Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.62
Ort. Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.181

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklı k (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
2-DBK-150-1	150	13.2	15.1	15.1	30.2	-0.4	0.185
2-DBK-150-2	150	13.1	15.4	14.4	29.8	-0.2	0.189
2-DBK-150-3	150	13.0	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.179
2-DBK-150-4	150	13.0	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.184
2-DBK-150-5	150	13.1	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.174
2-DBK-150-6	150	13.0	15.4	14.9	30.3	-0.3	0.182
2-DBK-150-7	150	13.0	15.3	14.6	29.9	-0.2	0.187
2-DBK-150-8	150	13.1	15.2	14.8	30.0	-0.1	0.181
2-DBK-150-9	150	13.1	14.8	15.2	30.0	-0.3	0.180
2-DBK-150-10	150	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.4	0.172
2-DBK-150-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.181

Çizelge 4.6. (3-DBK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

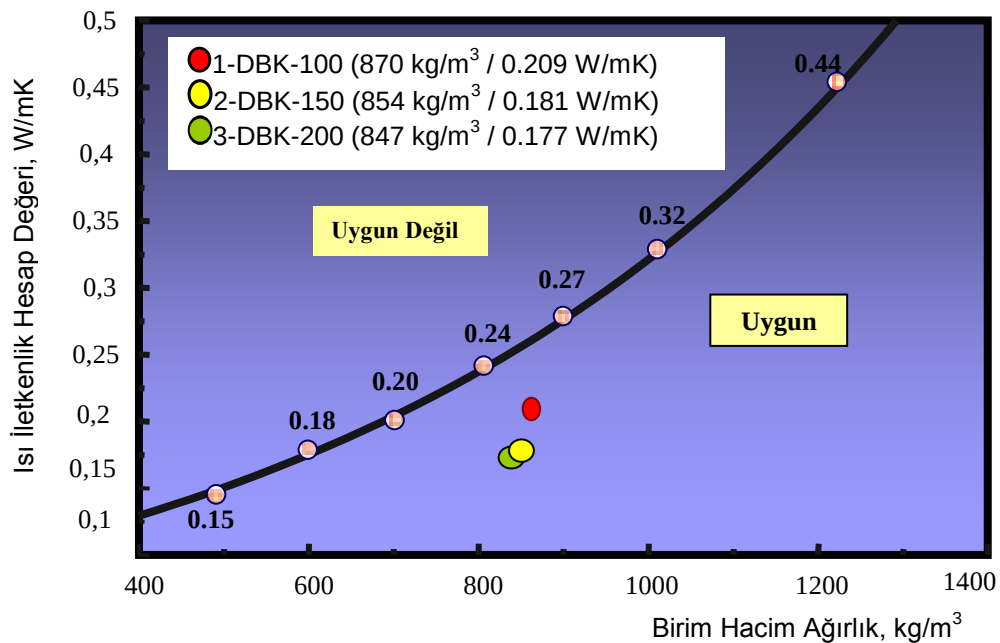
ÜÇ SIRA
BOŞLUKLU
KONTROL

Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ort. Ağırlık (kg)	7.8
Birim Ağırlık (kg/m ³)	847
Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.76
Ort. Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.177

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/m K)
3-DBK-200-1	200	13.4	15.5	14.6	30.1	-0.3	0.174
3-DBK-200-2	200	13.3	15.1	15.1	30.2	-0.4	0.181
3-DBK-200-3	200	13.2	15.5	14.5	30.0	-0.2	0.173
3-DBK-200-4	200	13.1	15.4	14.4	29.8	-0.1	0.179
3-DBK-200-5	200	13.0	15.0	15.3	30.3	-0.5	0.177
3-DBK-200-6	200	13.4	15.1	15.1	30.2	-0.4	0.182
3-DBK-200-7	200	13.6	15.2	15.0	30.2	-0.3	0.180
3-DBK-200-8	200	13.2	15.0	14.7	29.7	-0.2	0.175
3-DBK-200-9	200	13.4	15.6	14.6	30.2	-0.2	0.171
3-DBK-200-10	200	13.3	15.4	14.7	30.1	-0.2	0.182
3-DBK-200-Ortalama Isı iletim Katsayısı							0.177

1-DBK-10 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.205-0.214 W/mK değerleri arasında, 2-DBK-15 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.172-0.179 W/mK değerleri arasında ve 3-DBK-20 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.171-0.182 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksek yani yalıtım açısından daha kötü olduğu Şekil 4.1'de de görülmektedir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki hava boşlukların bulunduğu gözenek sayısından kaynaklanmaktadır.

Isı iletim katsayısı değeri en düşük olan malzeme, yalıtım özelliği en iyi olan malzemedir. Şekil 4.1'deki grafikten görüldüğü üzere, kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm kontrol (3-DBK-20) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm kontrol (1-DBK-10) duvar bloklarıdır. Şekil 4.1'de TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.1. (DBK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.2. Diyatomit Dolgulu D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen diyatomit dolgulu duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Diyatomit dolgulu duvar blokları kontrol ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilecektir. Diyatomit dolgulu duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet diyatomit dolgulu numunelerinin birim ağırlıkları 977 ile 988 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet diyatomit dolgulu numunelerinin birim ağırlıkları 947 ile 958 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet diyatomit dolgulu numunelerinin birim ağırlıkları ise 943 ile 954 kg/m³ arasında değişmektedir.

Duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet diyatomit dolgulu numunelerinin basınç dayanımları 2.51 ile 2.57 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet diyatomit dolgulu numunelerinin basınç dayanımları 2.67 ile 2.73 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet diyatomit dolgulu numunelerinin basınç dayanımları ise 2.85 ile 2.93 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.7. (1-DB-DD-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-DD-10-1	982	2.54
1-DB-DD-10-2	984	2.52
1-DB-DD-10-3	977	2.57
1-DB-DD-10-4	985	2.56
1-DB-DD-10-5	988	2.51
Ortalama	983	2.54

Çizelge 4.8. (2-DB-DD-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-DD-15-1	951	2.69
2-DB-DD-15-2	956	2.67
2-DB-DD-15-3	949	2.73
2-DB-DD-15-4	958	2.69
2-DB-DD-15-5	947	2.71
Ortalama	952	2.70

Çizelge 4.9. (3-DB-DD-200)- Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-DD-20-1	948	2.85
3-DB-DD-20-2	945	2.93
3-DB-DD-20-3	943	2.89
3-DB-DD-20-4	954	2.85
3-DB-DD-20-5	953	2.85
Ortalama	949	2.87

Çizelge 4.10. (1-DB-DD-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

	Boyutlar (mm)	100x330x240
	m ² /adet	11.5 adet
	Ağırlık (kg)	4.7
	Birim Ağırlık (kg/m ³)	983
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.54
	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.169

TEK SIRA
DIATOMİT HARCI
DOLGULU

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklı k (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-DD-100-1	100	13.2	15.3	15.0	30.3	-0.2	0.166
1-DB-DD-100-2	100	13.0	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.173
1-DB-DD-100-3	100	13.1	15.2	15.2	30.4	-0.4	0.171
1-DB-DD-100-4	100	13.1	15.3	14.8	30.1	-0.3	0.166
1-DB-DD-100-5	100	13.1	15.2	15.0	30.2	-0.1	0.173
1-DB-DD-100-6	100	13.2	15.0	15.3	30.3	-0.3	0.165
1-DB-DD-100-7	100	13.0	15.0	15.2	30.2	-0.2	0.169
1-DB-DD-100-8	100	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.1	0.168
1-DB-DD-100-9	100	13.1	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.169
1-DB-DD-100-10	100	13.0	15.1	14.9	30.0	-0.3	0.172
1-DB-DD-100 Ortalama Isı iletim Katsayısı							0.169

Çizelge 4.11. (2-DB-DD-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	6.8
Birim Ağırlık (kg/m ³)	952
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.70
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.143

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
2-DB-DD-150-1	150	13.1	15.0	15.0	30.0	-0.3	0.141
2-DB-DD-150-2	150	13.0	15.2	14.7	29.9	-0.2	0.144
2-DB-DD-150-3	150	13.2	15.1	15.1	30.2	-0.6	0.144
2-DB-DD-150-4	150	13.1	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.145
2-DB-DD-150-5	150	13.2	15.1	15.0	30.1	-0.5	0.145
2-DB-DD-150-6	150	13.1	15.3	14.5	29.8	-0.4	0.144
2-DB-DD-150-7	150	13.1	15.2	14.7	29.9	-0.1	0.139
2-DB-DD-150-8	150	13.0	15.1	14.8	29.9	-0.3	0.142
2-DB-DD-150-9	150	13.3	15.0	15.1	30.1	-0.5	0.139
2-DB-DD-150-10	150	13.2	14.9	14.9	29.8	-0.3	0.144
2-DB-DD-150-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.143

Çizelge 4.12. (3-DB-DD-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



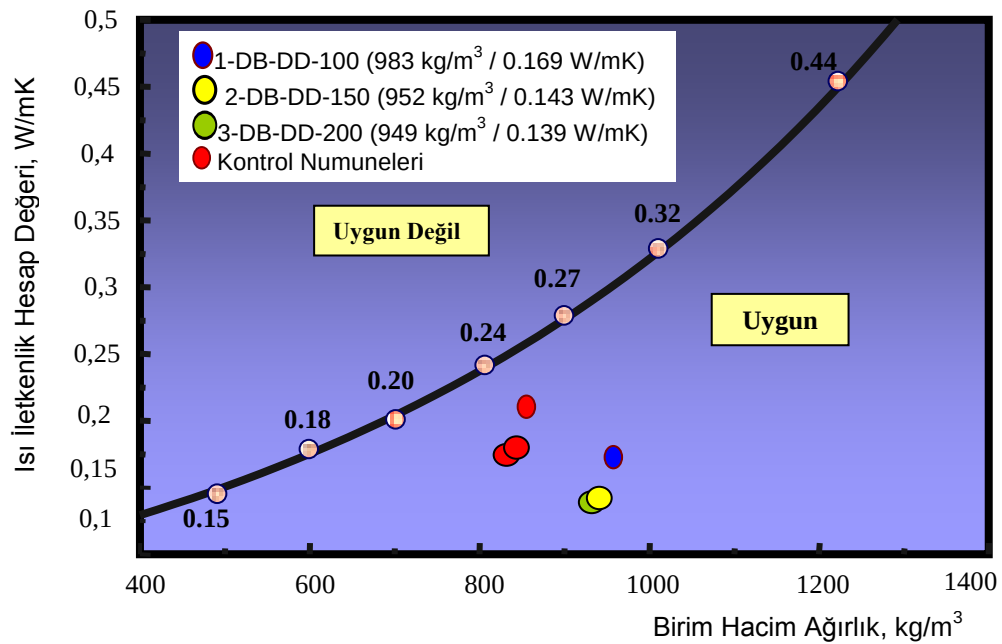
Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	9.0
Birim Ağırlık (kg/m ³)	949
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.87
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.139

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklı k (°C)	Soğu k Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-DD-200-1	200	13.3	15.2	15.0	30.2	-0.2	0.138
3-DB-DD-200-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.142
3-DB-DD-200-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.141
3-DB-DD-200-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.139
3-DB-DD-200-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.139
3-DB-DD-200-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.141
3-DB-DD-200-7	200	13.5	15.1	15	30.1	-0.2	0.136
3-DB-DD-200-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.136
3-DB-DD-200-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.137
3-DB-DD-200-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.141
3-DB-DD-200-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.139

1-DB-DD-100 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.165-0.173 W/mK değerleri arasında, 2-DB-DD-150 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.139-0.145 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-DD-200 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.136-0.142 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu diyatomit dolgulu 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu diyatomit dolgulu 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu diyatomit dolgulu 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının boşluk sayısından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.2'deki grafikten görüldüğü üzere diyatomit dolgulu numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm diyatomit dolgulu (3-DB-DD-200) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm diyatomit dolgulu (1-DB-DD-100) duvar bloklarıdır.

Şekil 4.2'de TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.2. (DB-DD)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.3. Perlit Dolgulu D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen perlit dolgulu duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Perlit dolgulu duvar blokları kontrol ve diyatomit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilecektir. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Perlit dolgulu duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18’de verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet perlit dolgulu duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet perlit dolgulu numunelerinin birim ağırlıkları 922 ile 927 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet perlit dolgulu numunelerinin birim ağırlıkları 877 ile 888 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet perlit dolgulu numunelerinin birim ağırlıkları ise 871 ile 887 kg/m³ arasında değişmektedir.

Perlit dolgulu duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet perlit dolgulu numunelerinin basınç dayanımları 2.50 ile 2.55 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet perlit dolgulu numunelerin basınç dayanımları 2.64 ile 2.67 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet perlit dolgulu numunelerinin basınç dayanımları ise 2.79 ile 2.88 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.13. (1-DB-PD-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-PD-100-1	924	2.55
1-DB-PD-100-2	922	2.51
1-DB-PD-100-3	927	2.52
1-DB-PD-100-4	925	2.50
1-DB-PD-100-5	922	2.51
Ortalama	924	2.52

Çizelge 4.14. (2-DB-PD-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-PD-150-1	885	2.69
2-DB-PD-150-2	878	2.67
2-DB-PD-150-3	888	2.66
2-DB-PD-150-4	877	2.69
2-DB-PD-150-5	887	2.69
Ortalama	883	2.68

Çizelge 4.15. (3-DB-PD-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-PD-200-1	871	2.81
3-DB-PD-200-2	879	2.83
3-DB-PD-200-3	883	2.85
3-DB-PD-200-4	876	2.88
3-DB-PD-200-5	887	2.79
Ortalama	879	2.83

Çizelge 4.16. (1-DB-PD-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	100x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	4.5
Birim Ağırlık (kg/m ³)	924
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.52
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.158
PERLİT HARCI DOLGULU	

Deney No	h (mm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-PD-100-1	100	13.0	15.0	15.2	30.2	-0.4	0.157
1-DB-PD-100-2	100	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.5	0.161
1-DB-PD-100-3	100	13.2	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.155
1-DB-PD-100-4	100	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.3	0.159
1-DB-PD-100-5	100	13.3	15.1	14.8	29.9	-0.2	0.164
1-DB-PD-100-6	100	13.1	15.2	14.9	30.1	-0.2	0.151
1-DB-PD-100-7	100	13.1	15.2	14.9	30.1	-0.1	0.155
1-DB-PD-100-8	100	13.1	15.1	14.8	29.9	-0.3	0.159
1-DB-PD-100-9	100	13.0	15.2	14.6	29.8	-0.1	0.154
1-DB-PD-100-10	100	13.2	15.0	15.2	30.2	-0.2	0.161
1-DB-PD-100-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.158

Çizelge 4.17. (2-DB-PD-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	6.4
Birim Ağırlık (kg/m ³)	883
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.68
Isıl Davranış Özelliği (W/mK)	0.136

Deney No	h (mm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
2-DB-PD-150-1	150	13.1	15.0	15.0	30.0	-0.3	0.140
2-DB-PD-150-2	150	13.0	15.2	14.7	29.9	-0.2	0.134
2-DB-PD-150-3	150	13.2	15.1	15.1	30.2	-0.6	0.132
2-DB-PD-150-4	150	13.1	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.137
2-DB-PD-150-5	150	13.2	15.1	15.0	30.1	-0.5	0.143
2-DB-PD-150-6	150	13.1	15.3	14.5	29.8	-0.4	0.134
2-DB-PD-150-7	150	13.1	15.2	14.7	29.9	-0.1	0.133
2-DB-PD-150-8	150	13.0	15.1	14.8	29.9	-0.3	0.138
2-DB-PD-150-9	150	13.3	15.0	15.1	30.1	-0.5	0.134
2-DB-PD-150-10	150	13.2	14.9	14.9	29.8	-0.3	0.136
2-DB-PD-150-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.136

Çizelge 4.18. (3-DB-PD-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

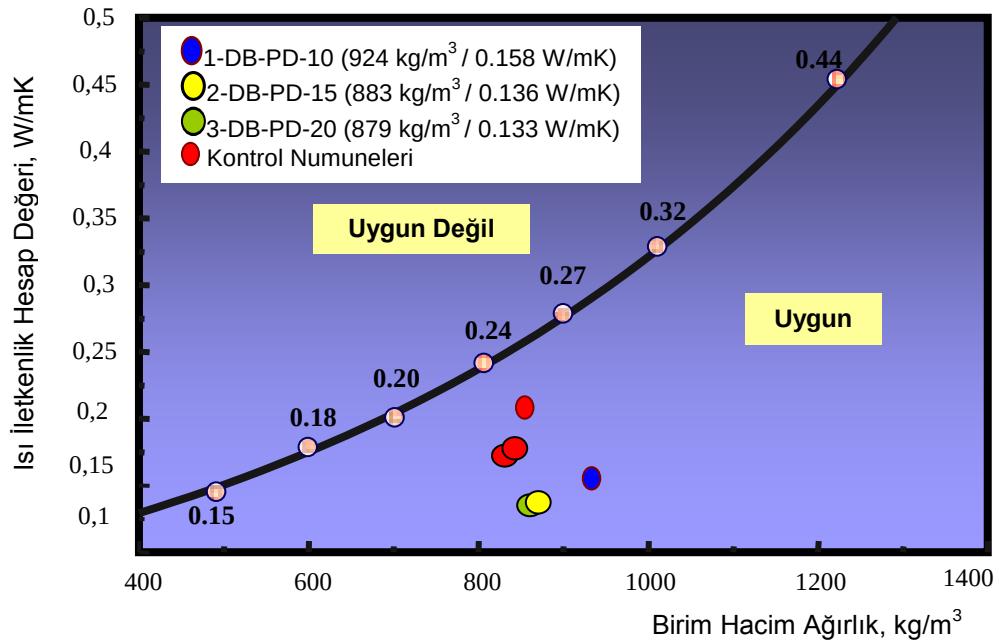


Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	8.3
Birim Ağırlık (kg/m ³)	879
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.83
Isıl Davranış Özelliği (W/mK)	0.133

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-PD-200-1	200	13.3	15.2	15.0	30.2	-0.2	0.135
3-DB-PD-200-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.131
3-DB-PD-200-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.133
3-DB-PD-200-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.134
3-DB-PD-200-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.134
3-DB-PD-200-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.132
3-DB-PD-200-7	200	13.5	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.132
3-DB-PD-200-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.131
3-DB-PD-200-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.131
3-DB-PD-200-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.132
3-DB-PD-200-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.133

1-DB-PD-10 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.151-0.161 W/mK değerleri arasında, 2-DB-PD-15 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.132-0.143 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-PD-20 kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.131-0.135 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksek yani yalıtım açısından daha kötü olduğu görülmektedir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki hava boşlukların bulunduğu gözenek sayısından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.3'deki grafikten görüldüğü üzere perlit dolgulu numunelerin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm (3-DB-PD-20) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm perlit dolgulu (1-DB-PD-10) duvar bloklarıdır. Şekil 4.3'de TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.3. (DB-PD)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.4. 20 kg Diyatomit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen 20 kg diyatomit katkılı duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 20 kg diyatomit katkılı duvar blokları, kontrol ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilmiştir. 20 kg diyatomit katkılı duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24’de verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 20 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 848 ile 854 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 20 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 838 ile 847 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları ise 836 ile 843 kg/m³ arasında değişmektedir.

Diyatomit katkılı duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 20 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.32 ile 2.37 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 20 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.40 ile 2.48 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 20 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları ise 2.39 ile 2.44 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.19. (1-DB-20DK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-20DK-1	863	2.32
1-DB-20DK-2	864	2.34
1-DB-20DK-3	861	2.36
1-DB-20DK-4	862	2.37
1-DB-20DK-5	865	2.36
Ortalama	863	2.35

Çizelge 4.20. (2-DB-20DK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-20DK-1	842	2.46
2-DB-20DK-2	845	2.43
2-DB-20DK-3	840	2.40
2-DB-20DK-4	847	2.48
2-DB-20DK-5	838	2.48
Ortalama	842	2.45

Çizelge 4.21. (3-DB-20DK-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-20DK-1	837	2.39
3-DB-20DK-2	841	2.41
3-DB-20DK-3	836	2.44
3-DB-20DK-4	843	2.39
3-DB-20DK-5	840	2.40
Ortalama	839	2.41

Çizelge 4.22. (1-DB-20DK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

 TEK SIRA 20 kg DIATOMİT KATKILI	Boyutlar (mm)	100x330x240
	m ² /adet	11,5 adet
	Ağırlık (kg)	4.0
	Birim Ağırlık (kg/m ³)	863
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.35
	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.171

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-20DK-1	100	15.3	15.1	30.2	-0.2	0.168
1-DB-20DK-2	100	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.173
1-DB-20DK-3	100	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.172
1-DB-20DK-4	100	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.169
1-DB-20DK-5	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.173
1-DB-20DK-6	100	15.0	15.2	30.2	-0.3	0.167
1-DB-20DK-7	100	15.0	15.1	30.1	-0.2	0.169
1-DB-20DK-8	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.169
1-DB-20DK-9	100	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.172
1-DB-20DK-10	100	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.173
1-DB-20DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.171

Çizelge 4.23. (2-DB-20DK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	5.5
Birim Ağırlık (kg/m ³)	842
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.45
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.151

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
2-DB-20DK-1	150	15.1	15.0	30.0	-0.3	0.151
2-DB-20DK-2	150	15.0	14.7	29.9	-0.2	0.149
2-DB-20DK-3	150	15.2	15.1	30.2	-0.6	0.154
2-DB-20DK-4	150	15.1	14.9	30.1	-0.3	0.150
2-DB-20DK-5	150	15.0	15.0	30.1	-0.5	0.152
2-DB-20DK-6	150	15.2	14.5	29.8	-0.4	0.148
2-DB-20DK-7	150	15.3	14.7	29.9	-0.1	0.149
2-DB-20DK-8	150	15.2	14.8	29.9	-0.3	0.152
2-DB-20DK-9	150	15.1	15.1	30.1	-0.5	0.149
2-DB-20DK-10	150	15.1	14.9	29.8	-0.3	0.154
2-DB-20DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.151

Çizelge 4.24. (3-DB-20DK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



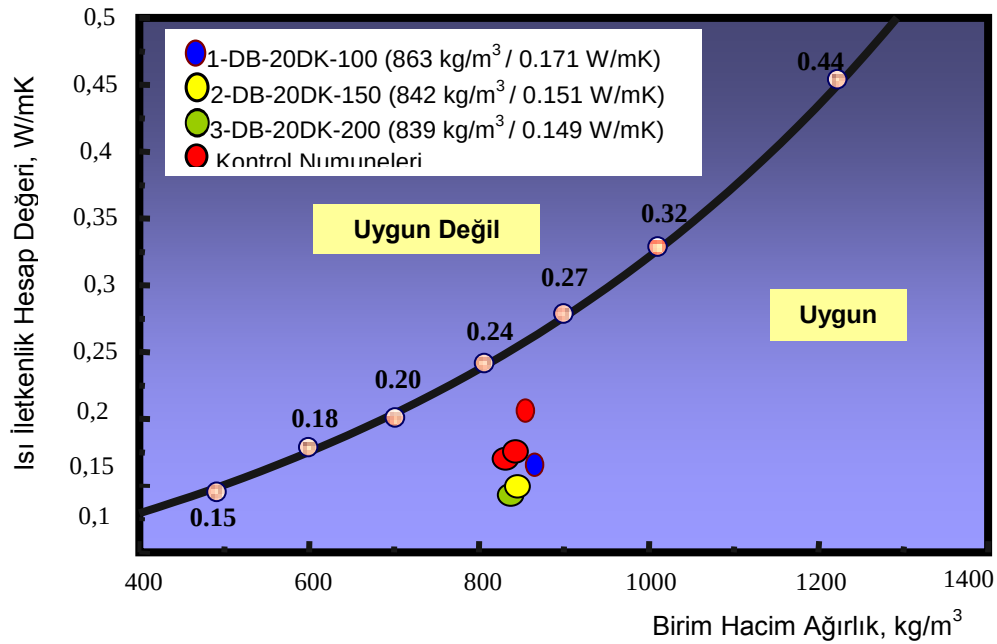
ÜÇ SIRA
20 kg DİATOMİT
KATKILI

Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	7,4
Birim Ağırlık (kg/m ³)	839
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.41
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.149

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-20PK-1	200	13.3	15.2	15.0	30.2	-0.2	0.148
3-DB-20PK-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.152
3-DB-20PK-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.151
3-DB-20PK-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.149
3-DB-20PK-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.149
3-DB-20PK-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.151
3-DB-20PK-7	200	13.5	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.146
3-DB-20PK-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.146
3-DB-20PK-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.147
3-DB-20PK-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.151
3-DB-20PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.149

Şekil 4.4'deki grafikten görüldüğü üzere kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm, 20 kg diyatomit katkılı (3-DB-20DK) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm, 20 kg diatmoit katkılı (1-DB-20DK) duvar bloklarıdır.

1-DB-20DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.167-0.173 W/mK değerleri arasında, 2-DB-20DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.148-0.154 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-20DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.146-0.152 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki hava boşlukların bulunduğu gözenek sayısından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.4'de TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.4. (DB-20DK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.5. 30 kg Diyatomit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen diyatomit katkılı duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Diyatomit katkılı duvar blokları, kontrol ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilmiştir. Diyatomit katkılı duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30’da verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 30 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 644 ile 649 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 30 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 622 ile 628 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 30 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları ise 617 ile 623 kg/m³ arasında değişmektedir.

Katkılı duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 30 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.28 ile 2.31 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 30 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.14 ile 2.18 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 30 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları ise 2.13 ile 2.22 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.25. (1-DB-30DK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-30DK-1	845	2.29
1-DB-30DK-2	844	2.31
1-DB-30DK-3	849	2.28
1-DB-30DK-4	849	2.30
1-DB-30DK-5	844	2.28
Ortalama	846	2.29

Çizelge 4.26. (2-DB-30DK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-30DK-1	824	2.18
2-DB-30DK-2	823	2.14
2-DB-30DK-3	822	2.15
2-DB-30DK-4	827	2.18
2-DB-30DK-5	828	2.14
Ortalama	825	2.16

Çizelge 4.27. (3-DB-30DK-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-30DK-1	817	2.18
3-DB-30DK-2	818	2.15
3-DB-30DK-3	822	2.22
3-DB-30DK-4	823	2.13
3-DB-30DK-5	820	2.17
Ortalama	820	2.17

Çizelge 4.28. (1-DB-30DK-100) Isı İletim Katsayısı Değerleri

 TEK SIRA 30 kg DİATOMİT KATKILI	Boyutlar (mm)	100x330x240
	Katkı	30 kg Diyatomit
	Ağırlık (kg)	3.9
	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	846
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.29
	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.168

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-30DK-1	100	15.3	15.1	30.2	-0.2	0.171
1-DB-30DK-2	100	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.165
1-DB-30DK-3	100	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.168
1-DB-30DK-4	100	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.167
1-DB-30DK-5	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.168
1-DB-30DK-6	100	15.0	15.2	30.2	-0.3	0.169
1-DB-30DK-7	100	15.0	15.1	30.1	-0.2	0.170
1-DB-30DK-8	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.168
1-DB-30DK-9	100	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.171
1-DB-30DK-10	100	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.167
1-DB-30DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.168

Çizelge 4.29. (2-DB-30DK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	5.5
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	825
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.16
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.147

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	Ç. Fark (°C)	M. Fark (°C)	λ_h (W/mK)
2-DB-30DK-1	150	15.1	15.0	30.0	-3.3	-0.3	0.148
2-DB-30DK-2	150	15.0	14.7	29.9	-2.9	-0.2	0.147
2-DB-30DK-3	150	15.2	15.1	30.2	-3.1	-0.6	0.146
2-DB-30DK-4	150	15.1	14.9	30.1	-2.9	-0.3	0.149
2-DB-30DK-5	150	15.0	15.0	30.1	-3.2	-0.5	0.144
2-DB-30DK-6	150	15.2	14.5	29.8	-3.1	-0.4	0.146
2-DB-30DK-7	150	15.3	14.7	29.9	-3.0	-0.1	0.146
2-DB-30DK-8	150	15.2	14.8	29.9	-3.1	-0.3	0.149
2-DB-30DK-9	150	15.1	15.1	30.1	-3.2	-0.5	0.149
2-DB-30DK-10	150	15.1	14.9	29.8	-2.9	-0.3	0.145
2-DB-30DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.147

Çizelge 4.30. (3-DB-30DK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



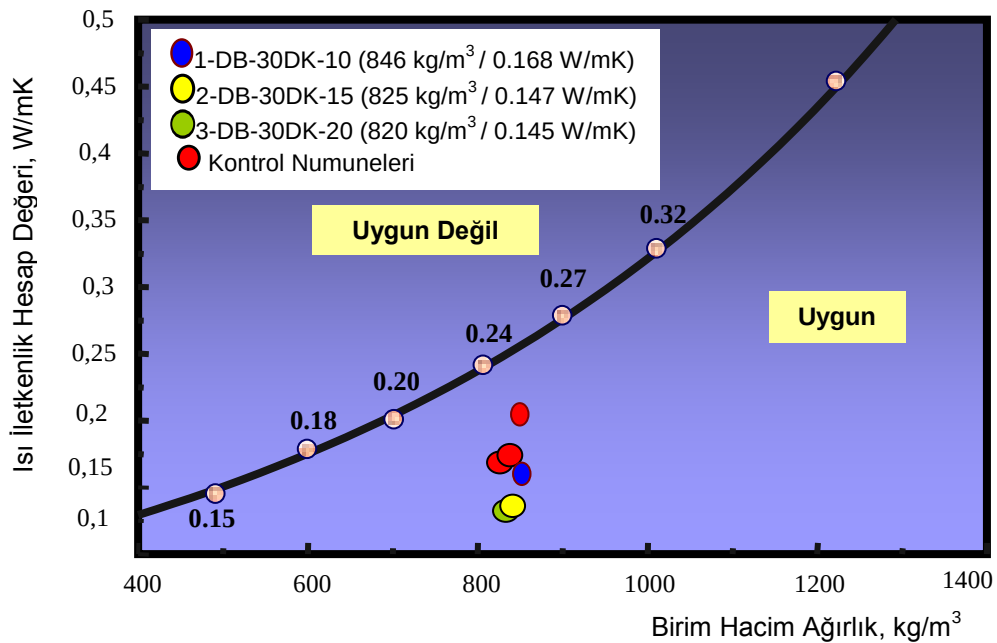
ÜÇ SIRA
30 kg DİATOMİT
KATKILI

Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	7.4
Kuru Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	839
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.41
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.145

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-30DK-1	200	13.3	15.2	15	30.2	-0.2	0.144
3-DB-30DK-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.148
3-DB-30DK-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.147
3-DB-30DK-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.145
3-DB-30DK-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.145
3-DB-30DK-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.148
3-DB-30DK-7	200	13.5	15.1	15	30.1	-0.2	0.142
3-DB-30DK-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.142
3-DB-30DK-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.143
3-DB-30DK-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.147
3-DB-30DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.145

Şekil 4.5’deki grafikten görüldüğü üzere kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm, 30 kg diyatomit katkılı (3-DB-30DK) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm, 30 kg diyatomit katkılı (1-DB-30DK) duvar bloklarıdır.

1-DB-30DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0,165-0,171 W/mK değerleri arasında, 2-DB-30DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.144-0.149 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-30DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.142-0.148 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 30 kg diyatomit katkılı 150 mm’lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 30 kg diyatomit katkılı 200 mm’lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 30 kg diyatomit katkılı 100 mm’lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki boşlukların durumundan ve sayısından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.5’de TS 825, Madde 5.3.3’e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



4.6. 40 kg Diyatomit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen diyatomit katkılı duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Diyatomit katkılı duvar blokları, kontrol ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilmiştir. Diyatomit katkılı duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36'da verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm'lik 5 adet 40 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 632 ile 637 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik 5 adet 40 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 612 ile 617 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm'lik 5 adet 40 kg diyatomit katkılı numunelerin birim ağırlıkları ise 610 ile 615 kg/m³ arasında değişmektedir.

Katkılı duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm'lik 5 adet 40 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları 1.96 ile 2.01 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm'lik 5 adet 40 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları 1.90 ile 1.95 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm'lik 5 adet 40 kg diyatomit katkılı numunelerin basınç dayanımları ise 1.83 ile 1.92 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.31. (1-DB-40DK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-40DK-1	835	2.01
1-DB-40DK-2	835	1.96
1-DB-40DK-3	837	2.00
1-DB-40DK-4	832	1.98
1-DB-40DK-5	834	1.98
Ortalama	835	1.99

Çizelge 4.32. (2-DB-40DK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-40DK-1	810	1.95
2-DB-40DK-2	813	1.90
2-DB-40DK-3	812	1.94
2-DB-40DK-4	812	1.92
2-DB-40DK-5	817	1.94
Ortalama	813	1.93

Çizelge 4.33. (3-DB-40DK-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-40DK-1	815	1.88
3-DB-40DK-2	813	1.87
3-DB-40DK-3	812	1.92
3-DB-40DK-4	813	1.83
3-DB-40DK-5	810	1.85
Ortalama	814	1.87

Çizelge 4.34. (1-DB-40DK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

 TEK SIRA 40 kg DIATOMİT KATKILI	Boyutlar (mm)	100x330x240
	m ² /adet	11.5 adet
	Ağırlık (kg)	3.8
	Birim Ağırlık (kg/m ³)	835
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.99
	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.165

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-40DK-1	100	15.3	15.1	30.2	-0.2	0.163
1-DB-40DK-2	100	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.167
1-DB-40DK-3	100	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.164
1-DB-40DK-4	100	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.161
1-DB-40DK-5	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.167
1-DB-40DK-6	100	15.0	15.2	30.2	-0.3	0.166
1-DB-40DK-7	100	15.0	15.1	30.1	-0.2	0.165
1-DB-40DK-8	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.163
1-DB-40DK-9	100	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.167
1-DB-40DK-10	100	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.164
1-DB-40DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.165

Çizelge 4.35. (2-DB-40DK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

 İKİ SIRA 40 kg DIATOMİT KATKILI	Boyutlar (mm)	150x330x240
	m ² /adet	11.5 adet
	Ağırlık (kg)	5.2
	Birim Ağırlık (kg/m ³)	813
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.93
	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.139

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	Ç. Fark (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
2-DB-40DK-1	150	15.1	15.0	30.0	-3.3	-0.3	0.140
2-DB-40DK-2	150	15.0	14.7	29.9	-2.9	-0.2	0.141
2-DB-40DK-3	150	15.2	15.1	30.2	-3.1	-0.6	0.139
2-DB-40DK-4	150	15.1	14.9	30.1	-2.9	-0.3	0.138
2-DB-40DK-5	150	15.0	15.0	30.1	-3.2	-0.5	0.142
2-DB-40DK-6	150	15.2	14.5	29.8	-3.1	-0.4	0.137
2-DB-40DK-7	150	15.3	14.7	29.9	-3.0	-0.1	0.139
2-DB-40DK-8	150	15.2	14.8	29.9	-3.1	-0.3	0.137
2-DB-40DK-9	150	15.1	15.1	30.1	-3.2	-0.5	0.136
2-DB-40DK-10	150	15.1	14.9	29.8	-2.9	-0.3	0.138
2-DB-40DK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.139

Çizelge 4.36. (3-DB-40DK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

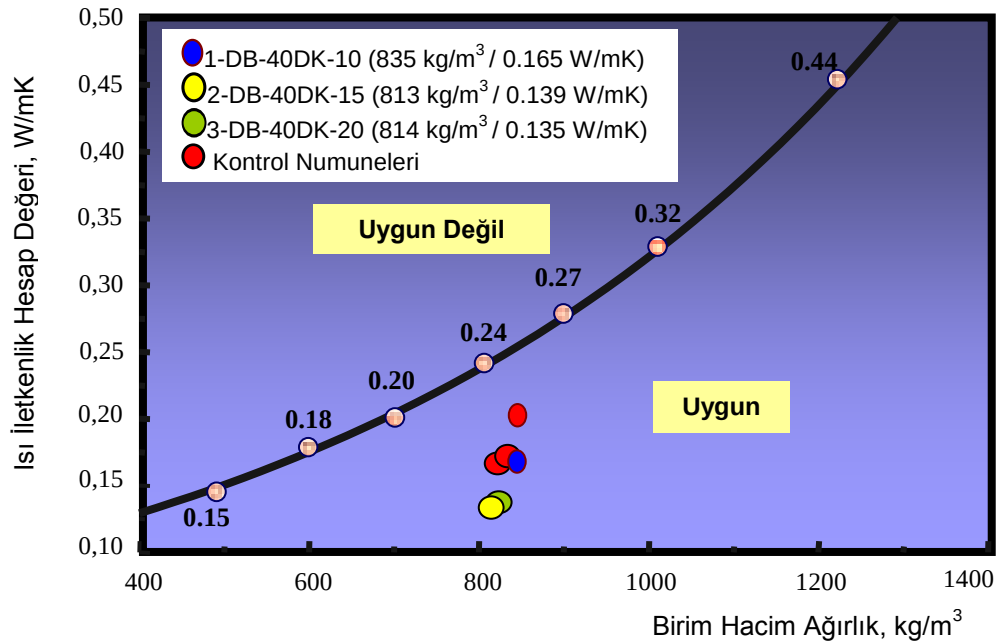


Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	7.4
Birim Ağırlık (kg/m ³)	814
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.87
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.135

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklı k (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-40PK-1	200	13.3	15.2	15	30.2	-0.2	0.133
3-DB-40PK-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.136
3-DB-40PK-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.138
3-DB-40PK-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.133
3-DB-40PK-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.131
3-DB-40PK-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.139
3-DB-40PK-7	200	13.5	15.1	15	30.1	-0.2	0.135
3-DB-40PK-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.138
3-DB-40PK-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.134
3-DB-40PK-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.133
3-DB-40PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.135

Şekil 4.6'daki grafikten görüldüğü üzere kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm, 40 kg diyatomit katkılı (3-DB-40DK) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm, 40 kg diyatomit katkılı (1-DB-40DK) duvar bloklarıdır.

1-DB-40DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.161-0.167 W/mK değerleri arasında, 2-DB-40DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.136-0.142 W/mK arasında ve 3-DB-40DK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.131-0.139 W/mK arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 40 kg diyatomit katkılı, 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 40 kg diyatomit katkılı, 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 40 kg diyatomit katkılı, 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki boşlukların durumundan ve sayısından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.6'da TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.6. DB-40DK-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.7. 20 kg Perlit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen perlit katkılı duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden ağırlık, birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Perlit katkılı duvar blokları, kontrol ve diyatomit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilmiştir. Perlit katkılı duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 ve 4.42’de verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 20 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 849 ile 853 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 20 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 817 ile 825 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 20 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları ise 806 ile 816 kg/m³ arasında değişmektedir.

Katkılı duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 20 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.28 ile 2.35 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 20 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.34 ile 2.38 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 20 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları ise 2.30 ile 2.35 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.37. (1-DB-20PK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-20PK-1	851	2.30
1-DB-20PK-2	853	2.33
1-DB-20PK-3	852	2.35
1-DB-20PK-4	851	2.28
1-DB-20PK-5	849	2.28
Ortalama	851	2.31

Çizelge 4.38. (2-DB-20PK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-20PK-1	823	2.37
2-DB-20PK-2	825	2.34
2-DB-20PK-3	820	2.38
2-DB-20PK-4	817	2.36
2-DB-20PK-5	818	2.35
Ortalama	821	2.36

Çizelge 4.39. (3-DB-20PK-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-20PK-1	813	2.31
3-DB-20PK-2	816	2.33
3-DB-20PK-3	806	2.35
3-DB-20PK-4	811	2.30
3-DB-20PK-5	813	2.32
Ortalama	812	2.32

Çizelge 4.40. (1-DB-20PK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	100x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	3.9
Birim Ağırlık (kg/m ³)	851
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.31
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.167

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-20PK-1	100	15.3	15.1	30.2	-0.2	0.165
1-DB-20PK-2	100	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.170
1-DB-20PK-3	100	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.167
1-DB-20PK-4	100	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.168
1-DB-20PK-5	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.169
1-DB-20PK-6	100	15.0	15.2	30.2	-0.3	0.165
1-DB-20PK-7	100	15.0	15.1	30.1	-0.2	0.170
1-DB-20PK-8	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.168
1-DB-20PK-9	100	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.164
1-DB-20PK-10	100	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.168
1-DB-20PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.167

Çizelge 4.41. (2-DB-20PK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	5.4
Birim Ağırlık (kg/m ³)	821
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.36
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.148

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	Ç. Fark (°C)	M. Fark (°C)	λ_h (W/mK)
2-DB-20PK-1	150	15.1	15.0	30.0	-3.3	-0.3	0.144
2-DB-20PK-2	150	15.0	14.7	29.9	-2.9	-0.2	0.149
2-DB-20PK-3	150	15.2	15.1	30.2	-3.1	-0.6	0.150
2-DB-20PK-4	150	15.1	14.9	30.1	-2.9	-0.3	0.147
2-DB-20PK-5	150	15.0	15.0	30.1	-3.2	-0.5	0.150
2-DB-20PK-6	150	15.2	14.5	29.8	-3.1	-0.4	0.146
2-DB-20PK-7	150	15.3	14.7	29.9	-3.0	-0.1	0.149
2-DB-20PK-8	150	15.2	14.8	29.9	-3.1	-0.3	0.151
2-DB-20PK-9	150	15.1	15.1	30.1	-3.2	-0.5	0.149
2-DB-20PK-10	150	15.1	14.9	29.8	-2.9	-0.3	0.147
2-DB-20PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.148

Çizelge 4.42. (3-DB-20PK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri

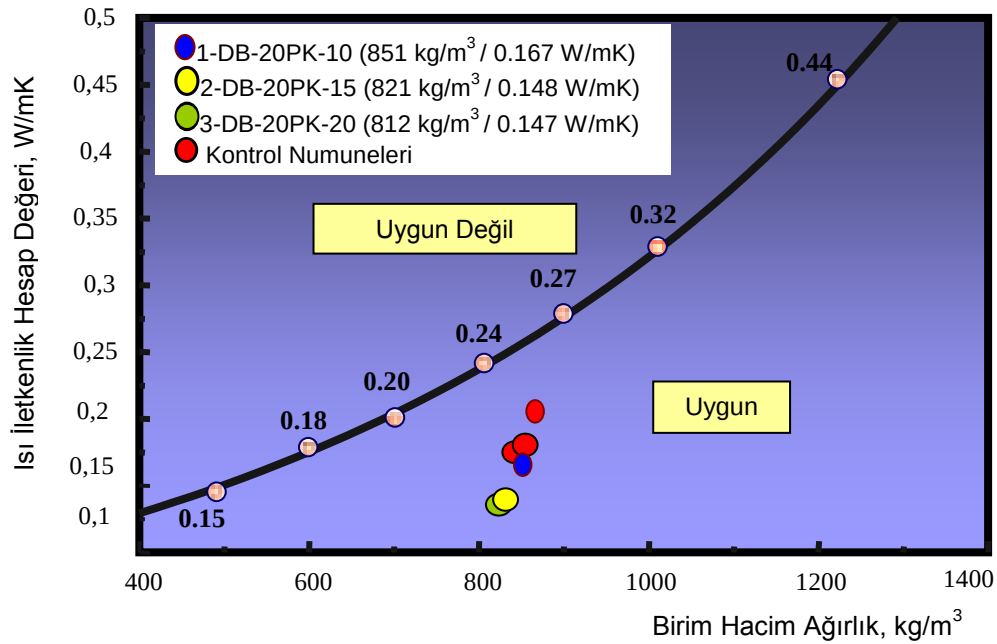


Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	7.2
Birim Ağırlık (kg/m ³)	812
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.32
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.147

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-20PK-1	200	13.3	15.2	15	30.2	-0.2	0.146
3-DB-20PK-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.147
3-DB-20PK-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.153
3-DB-20PK-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.146
3-DB-20PK-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.151
3-DB-20PK-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.145
3-DB-20PK-7	200	13.5	15.1	15	30.1	-0.2	0.145
3-DB-20PK-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.147
3-DB-20PK-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.145
3-DB-20PK-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.147
3-DB-20PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.147

Şekil 4.7’deki grafikten görüldüğü üzere kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm, 20 kg perlit katkı (3-DB-20PK) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm, 20 kg perlit katkı (1-DB-20PK) duvar bloklarıdır.

1-DB-20PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.165-0.170 W/mK değerleri arasında, 2-DB-20PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.144-0.151 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-20PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.145-0.153 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 200 mm’lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 100 mm’lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki hava boşlukların bulunduğu gözenek sayısından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.7’de TS 825, Madde 5.3.3’e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.7. (DB-20PK)-TS 825 Madde 5.3.3’e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.8. 25 kg Perlit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen perlit katkılı duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden birim ağırlık, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Perlit katkılı duvar blokları, kontrol ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilmiştir. Perlit katkılı duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.43, 4.44, 4.45, 4.46, 4.47 ve 4.48’de verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 25 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 837 ile 840 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 25 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 808 ile 816 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 25 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları ise 800 ile 808 kg/m³ arasında değişmektedir.

Katkılı duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 25 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.15 ile 2.22 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 25 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları 2.17 ile 2.20 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 25 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları ise 2.12 ile 2.15 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.43. (1-DB-25PK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-25PK-1	840	2.17
1-DB-25PK-2	840	2.20
1-DB-25PK-3	839	2.15
1-DB-25PK-4	837	2.22
1-DB-25PK-5	838	2.15
Ortalama	839	2.18

Çizelge 4.44. (2-DB-25PK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-25PK-1	812	2.17
2-DB-25PK-2	814	2.20
2-DB-25PK-3	808	2.20
2-DB-25PK-4	816	2.19
2-DB-25PK-5	808	2.18
Ortalama	812	2.19

Çizelge 4.45. (3-DB-25PK-200)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-25PK-1	807	2.14
3-DB-25PK-2	808	2.15
3-DB-25PK-3	802	2.12
3-DB-25PK-4	803	2.13
3-DB-25PK-5	800	2.12
Ortalama	804	2.13

Çizelge 4.46. (1-DB-25PK-100)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



TEK SIRA
25 kg PERLİT
KATKILI

Boyutlar (mm)	100x330x240
Katkı	25 kg Perlit
Ağırlık (kg)	3.8
Birim Ağırlık (kg/m ³)	839
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.18
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.162

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-25PK-1	100	15.3	15.1	30.2	-0.2	0.165
1-DB-25PK-2	100	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.160
1-DB-25PK-3	100	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.162
1-DB-25PK-4	100	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.163
1-DB-25PK-5	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.160
1-DB-25PK-6	100	15.0	15.2	30.2	-0.3	0.160
1-DB-25PK-7	100	15.0	15.1	30.1	-0.2	0.163
1-DB-25PK-8	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.161
1-DB-25PK-9	100	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.164
1-DB-25PK-10	100	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.160
1-DB-25PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.162

Çizelge 4.47. (2-DB-25PK-150)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11,5 adet
Ağırlık (kg)	5.2
Birim Ağırlık (kg/m ³)	812
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.19
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.144

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	Ç. Fark (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
2-DB-25PK-1	150	15.1	15.0	30.0	-3.3	-0.3	0.145
2-DB-25PK-2	150	15.0	14.7	29.9	-2.9	-0.2	0.147
2-DB-25PK-3	150	15.2	15.1	30.2	-3.1	-0.6	0.144
2-DB-25PK-4	150	15.1	14.9	30.1	-2.9	-0.3	0.139
2-DB-25PK-5	150	15.0	15.0	30.1	-3.2	-0.5	0.146
2-DB-25PK-6	150	15.2	14.5	29.8	-3.1	-0.4	0.144
2-DB-25PK-7	150	15.3	14.7	29.9	-3.0	-0.1	0.141
2-DB-25PK-8	150	15.2	14.8	29.9	-3.1	-0.3	0.145
2-DB-25PK-9	150	15.1	15.1	30.1	-3.2	-0.5	0.146
2-DB-25PK-10	150	15.1	14.9	29.8	-2.9	-0.3	0.142
2-DB-25PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.144

Çizelge 4.48. (3-DB-25PK-200)-Isı İletim Katsayısı Değerleri



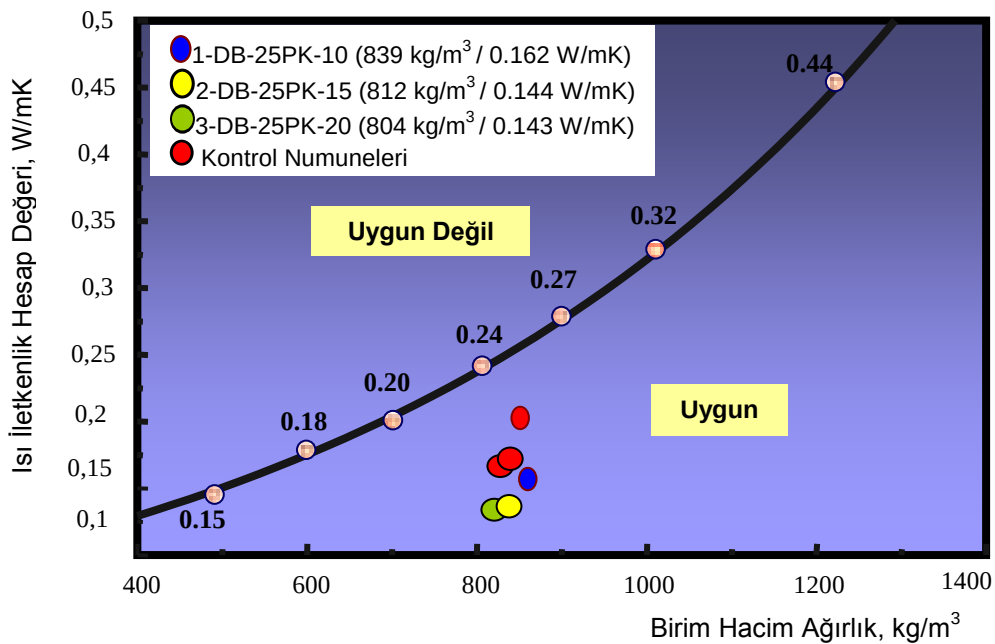
ÜÇ SIRA
25 kg PERLİT
KATKILI

Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	7.0
Birim Ağırlık (kg/m ³)	804
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2.13
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.143

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-25PK-1	200	13.3	15.2	15.0	30.2	-0.2	0.139
3-DB-25PK-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.148
3-DB-25PK-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.148
3-DB-25PK-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.141
3-DB-25PK-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.142
3-DB-25PK-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.146
3-DB-25PK-7	200	13.5	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.142
3-DB-25PK-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.140
3-DB-25PK-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.142
3-DB-25PK-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.139
3-DB-25PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.143

Şekil 4.8'deki grafikten görüldüğü üzere kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm 25 kg katkılı (3-DB-25PK) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm 25 kg perlit katkılı (1-DB-25PK) duvar bloklarıdır.

1-DB-25PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.160-0.165 W/mK değerleri arasında, 2-DB-25PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.139-0.147 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-25PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.140-0.148 W/mK değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 25 kg perlit katkılı, 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 25 kg perlit katkılı, 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 25 kg perlit katkılı, 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki boşlukların durumundan ve sayısından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.8'de TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.8. (DB-25PK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.9. 30 kg Perlit Katkılı D. B. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen perlit katkılı duvar bloklarının fiziksel özelliklerinden ağırlık, birim hacim ağırlığı, basınç mukavemeti ve ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Basınç mukavemeti deneyi 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Perlit katkılı duvar blokları, kontrol ve perlit katkılı duvar bloklarıyla kıyaslanmadan önce kendi arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde karışık olarak değerlendirilmiştir. Perlit katkılı duvar bloklarının mekanik deneyleriyle ilgili sonuçları Çizelge 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53 ve 4.54’da verilmiştir.

Üretilen farklı kombinasyonlardaki 5 adet duvar bloğunun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 30 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 833 ile 836 kg/m³ arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 30 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları 803 ile 809 kg/m³ arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 30 kg perlit katkılı numunelerin birim ağırlıkları ise 792 ile 800 kg/m³ arasında değişmektedir.

Katkılı duvar bloklarının basınç dayanımları belirlenmiştir. Buna göre tek sıra boşluklu 100 mm’lik 5 adet 30 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları 1.88 ile 1.96 N/mm² arasında değişmektedir. İki sıra boşluklu 150 mm’lik 5 adet 30 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları 1.87 ile 1.90 N/mm² arasında değişmektedir. Üç sıra boşluklu 200 mm’lik 5 adet 30 kg perlit katkılı numunelerin basınç dayanımları ise 1.80 ile 1.87 N/mm² arasında değişmektedir.

Çizelge 4.49. (1-DB-30PK-100)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1-DB-30PK-1	835	1.94
1-DB-30PK-2	836	1.90
1-DB-30PK-3	835	1.96
1-DB-30PK-4	833	1.92
1-DB-30PK-5	834	1.88
Ortalama	834	1.92

Çizelge 4.50. 2-DB-30PK-150)-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2-DB-30PK-1	803	1.90
2-DB-30PK-2	809	1.90
2-DB-30PK-3	803	1.88
2-DB-30PK-4	804	1.87
2-DB-30PK-5	805	1.89
Ortalama	805	1.89

Çizelge 4.51. 3-DB-30PK-200-Deney Sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
3-DB-30PK-1	794	1.81
3-DB-30PK-2	799	1.87
3-DB-30PK-3	800	1.82
3-DB-30PK-4	792	1.80
3-DB-30PK-5	794	1.85
Ortalama	796	1.83

Çizelge 4.52. 1-DB-30PK-100-Isı İletim Katsayısı Değerleri

 TEK SIRA 30 kg PERLİT KATKILI	Boyutlar (mm)	100x330x240
	m ² /adet	11.5 adet
	Ağırlık (kg)	3.7
	Birim Ağırlık (kg/m ³)	834
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.92
	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.156

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
1-DB-30PK-1	100	15.3	15.1	30.2	-0.2	0.153
1-DB-30PK-2	100	15.1	15.0	30.1	-0.3	0.152
1-DB-30PK-3	100	15.2	15.0	30.2	-0.4	0.159
1-DB-30PK-4	100	15.2	14.9	30.1	-0.3	0.154
1-DB-30PK-5	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.157
1-DB-30PK-6	100	15.0	15.2	30.2	-0.3	0.156
1-DB-30PK-7	100	15.0	15.1	30.1	-0.2	0.155
1-DB-30PK-8	100	15.1	15.0	30.1	-0.1	0.153
1-DB-30PK-9	100	15.1	15.0	30.1	-0.2	0.157
1-DB-30PK-10	100	15.1	15.1	30.2	-0.3	0.154
1-DB-30PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı						0.156

Çizelge 4.53. 2-DB-30PK-150-Isı İletim Katsayısı Değerleri



Boyutlar (mm)	150x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	5.1
Birim Ağırlık (kg/m ³)	805
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.89
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.142

Deney No	h (cm)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	Ç. Fark (°C)	M. Fark (°C)	λ_h (W/mK)
2-DB-30PK-1	150	15.1	15.0	30.0	-3.3	-0.3	0.144
2-DB-30PK-2	150	15.0	14.7	29.9	-2.9	-0.2	0.140
2-DB-30PK-3	150	15.2	15.1	30.2	-3.1	-0.6	0.141
2-DB-30PK-4	150	15.1	14.9	30.1	-2.9	-0.3	0.143
2-DB-30PK-5	150	15.0	15.0	30.1	-3.2	-0.5	0.141
2-DB-30PK-6	150	15.2	14.5	29.8	-3.1	-0.4	0.144
2-DB-30PK-7	150	15.3	14.7	29.9	-3.0	-0.1	0.145
2-DB-30PK-8	150	15.2	14.8	29.9	-3.1	-0.3	0.139
2-DB-30PK-9	150	15.1	15.1	30.1	-3.2	-0.5	0.143
2-DB-30PK-10	150	15.1	14.9	29.8	-2.9	-0.3	0.142
2-DB-30PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.142

Çizelge 4.54. 3-DB-30PK-200-Isı İletim Katsayısı Değerleri



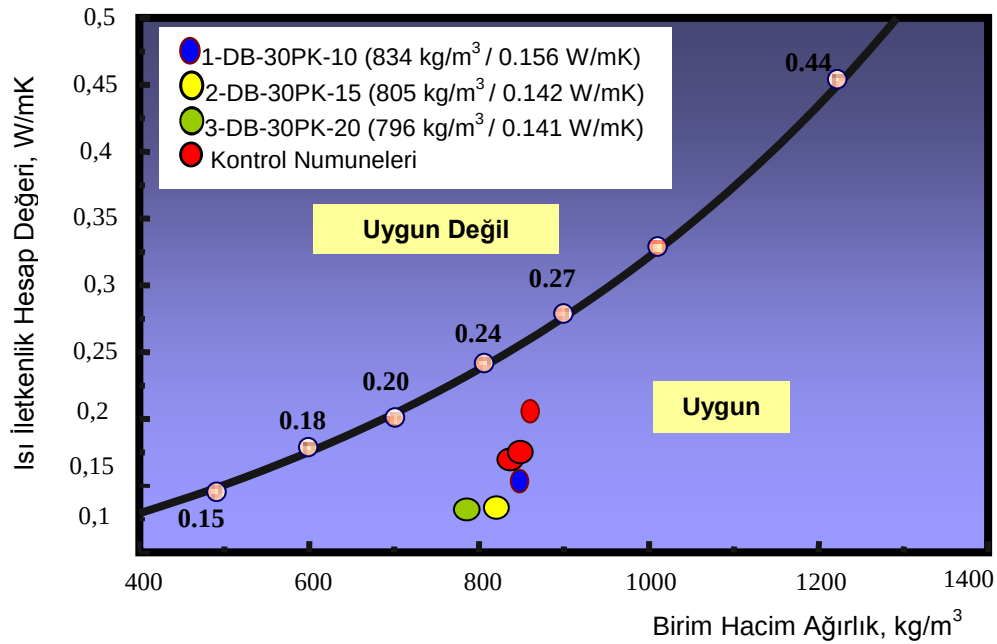
ÜÇ SIRA
30 kg PERLİT
KATKILI

Boyutlar (mm)	200x330x240
m ² /adet	11.5 adet
Ağırlık (kg)	6.8
Birim Ağırlık (kg/m ³)	796
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.83
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.141

Deney No	h (cm)	Tank Sıcaklık (°C)	Soğuk Folyo (°C)	ΔT (°C)	Sıcak Folyo (°C)	M. Fark (°C)	λ _h (W/mK)
3-DB-30PK-1	200	13.3	15.2	15	30.2	-0.2	0.143
3-DB-30PK-2	200	13.0	15.0	15.1	30.1	-0.3	0.140
3-DB-30PK-3	200	13.1	15.3	14.7	30.0	-0.1	0.138
3-DB-30PK-4	200	13.0	15.2	14.8	30.0	-0.2	0.141
3-DB-30PK-5	200	13.0	15.2	14.9	30.1	-0.4	0.140
3-DB-30PK-6	200	13.0	15.3	14.7	30.0	-0.3	0.143
3-DB-30PK-7	200	13.5	15.1	15	30.1	-0.2	0.139
3-DB-30PK-8	200	13.4	15.1	15.2	30.3	-0.1	0.140
3-DB-30PK-9	200	13.2	15.3	14.8	30.1	-0.1	0.138
3-DB-30PK-10	200	13.1	15.2	15.1	30.3	-0.1	0.143
3-DB-30PK-Ortalama Isı İletim Katsayısı							0.141

Şekil 4.9'daki grafikten görüldüğü üzere kontrol numunelerinin kendi arasındaki tüm serilerde, en etkin ısı iletim katsayısına sahip blok, 3 sıra boşluklu 200 mm, 30 kg perlit katkı (3-DB-30PK) duvar bloklarıdır. En kötü ısı iletim katsayısına sahip blok, 1 sıra boşluklu 100 mm, 30 kg perlit katkı (1-DB-30PK) duvar bloklarıdır.

1-DB-30PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.152-0.159 W/mK değerleri arasında, 2-DB-30PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları 0.139-0.145 W/mK değerleri arasında ve 3-DB-30PK kodlu numunelerin ısı iletim katsayıları da 0.139-0.143 W/mK arasında değiştiği görülmektedir. İki sıra boşluklu 30 kg perlit katkı, 150 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması, üç sıra boşluklu 30 kg perlit katkı, 200 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalamasına oldukça yakındır. Ancak tek sıra boşluklu 30 kg perlit katkı, 100 mm'lik duvar bloklarının ısı iletim katsayısı ortalaması diğer duvar bloklarına oranla daha yüksektir. Bu fark duvar bloklarının içerisindeki boşlukların durumundan ve sayısından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.9'da TS 825, Madde 5.3.3'e göre bimsbetondan mamul blokların ısı iletkenlik hesap değerleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.9. (DB-30PK)-TS 825 Madde 5.3.3'e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.10. Duvar Bloklarının D. Kalite Faktörleri Bakımından Değerlendirilmesi

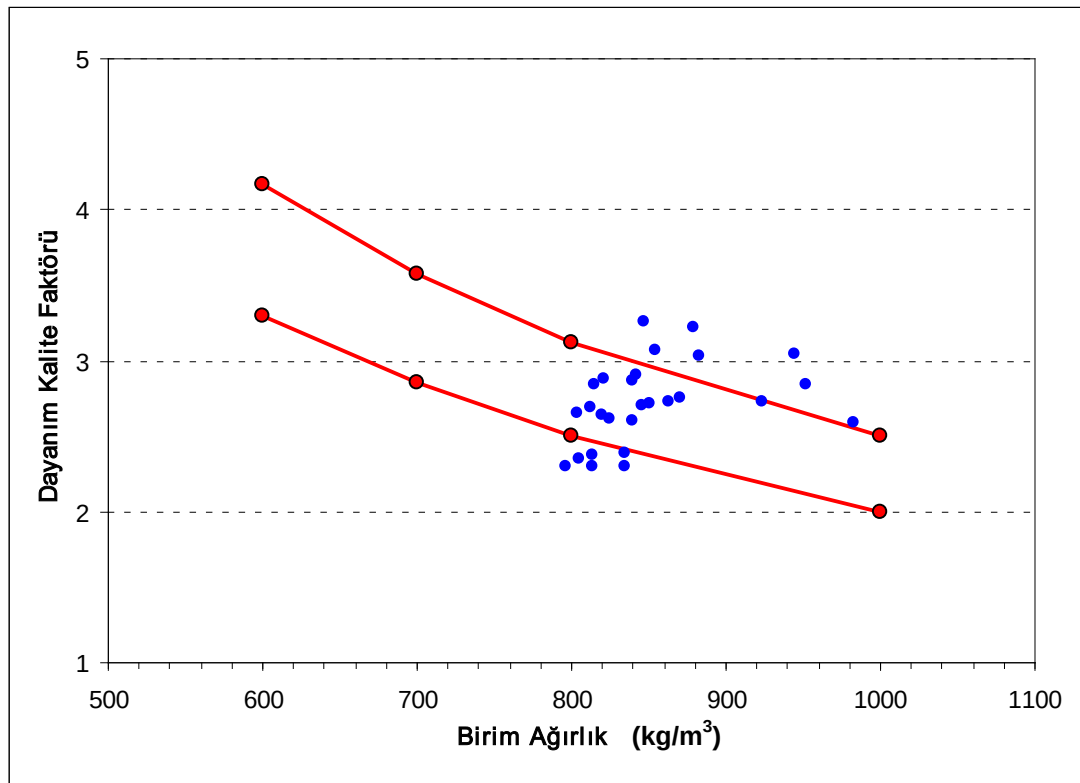
Duvar bloklarının dayanım kalite faktörleri, minimum basınç dayanım değeri 20 kg/cm^2 ve ortalama basınç dayanımı 25 kg/cm^2 değerleri ile en büyük birim hacim ağırlıkları olarak tanımlanan ($600 - 700 - 800 - 1000 \text{ kg/cm}^3$) değerleri kullanılarak, standart dayanım kalite faktörleri belirlenmiştir (TS EN 771-3, TS EN 772-1, 2005). Buna göre duvar bloklarının preste kırılması Şekil 4.10'da, dayanım kalite faktörleri Çizelge 4.55'de, grafiği ise Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.10. Üretilen Numunelerin Dayanım Kalite Faktörleri

Çizelge 4.55. Duvar Bloklarının Dayanım Kalite Faktörleri

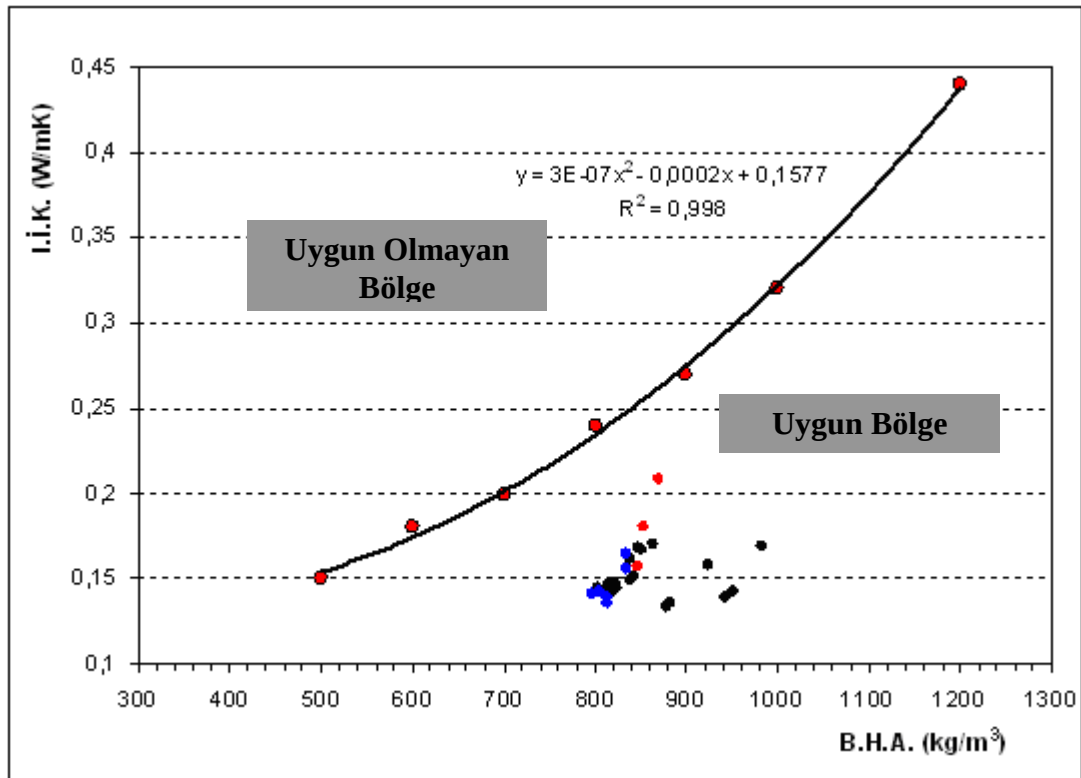
N.Kodu	D.K.F.	N.Kodu	D.K.F.	N.Kodu	D.K.F.
1-DBK	2,76	2-DBK	3,07	3-DBK	3,26
1-DD	2,58	2-DD	2,84	3-DD	3,04
1-PD	2,73	2-PD	3,04	3-PD	3,22
1-20DK	2,72	2-20DK	2,91	3-20DK	2,87
1-30DK	2,71	2-30DK	2,62	3-30DK	2,65
1-40DK	2,38	2-40DK	2,37	3-40DK	2,30
1-20PK	2,71	2-20PK	2,87	3-20PK	2,85
1-25PK	2,60	2-25PK	2,70	3-25PK	2,65
1-30PK	2,30	2-30PK	2,35	3-30PK	2,30



Şekil 4.11. Üretilen Numunelerin Dayanım Kalite Faktörleri

4.11. Duvar Bloklarının Isı İletim Katsayıları Bakımından Değerlendirilmesi

Bimsbetondan mamul duvar bloklarının ısı iletkenlik hesap değeri TS 825, Madde 5.3.3’de birim hacim ağırlıklarına göre değerlendirilmiştir. Üretilen ve bu çalışmada deneyleri yapılan 270 adet numunenin ortalamaları olan 27 farklı numune kodu için elde edilen ısı iletkenlik katsayısı değerleri, TS 825, “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standartında geçen, birim hacim ağırlıklarına göre ısı iletkenlik hesap değerleri uygun bölge içerisinde kalmıştır. Şekil 4.12’de ısı iletkenlik katsayılarının değerlendirilmesi görülmektedir. Grafikte görülen 3 adet kırmızı seri, kontrol numunelerdir. 6 adet mavi renkteki seri ısı iletim katsayısı bakımından uygun bölge içerisinde kalsa da dayanım kalite faktörü açısından standart dışı olan numuneleri temsil etmektedir. Siyah renkte görülen 18 adet seri ise kalan diğer numunelerin ısı iletim katsayılarını temsil etmektedir.



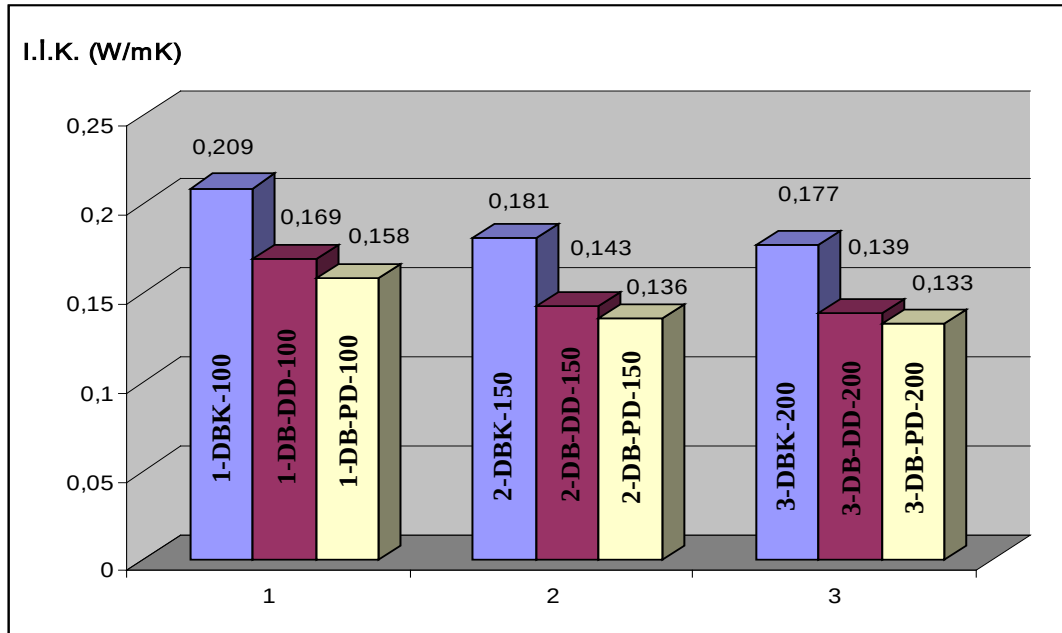
Şekil 4.12. Üretilen Numunelerin TS 825’e Göre Isı İletkenlik Hesap Değerleri

4.12. Dolgulu Duvar Bloklarının Dolgu Malzemesine Göre Değerlendirilmesi

Çizelge 4.56’da üretilen dolgulu duvar bloklarının dolgu malzemesine göre deney sonuçları Şekil 4.13’de de grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.56. Dolgulu Duvar Bloklarının Karşılaştırmalı Deney Sonuçları

Numune Kodu	B.H.A. (kg/m ³)	%	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	%	Isı İletim Katsayısı	%
1-DBK	870	-	2,40	-	0,209	-
1-DD	983	13,0	2,54	5,8	0,169	19,1
1-PD	924	6,2	2,52	5,0	0,158	24,4
2-DBK	854	-	2,62	-	0,181	-
2-DD	952	11,5	2,70	3,1	0,143	21,0
2-PD	883	3,4	2,68	2,3	0,136	24,9
3-DBK	847	-	2,76	-	0,177	-
3-DD	944	11,5	2,87	4,0	0,139	21,5
3-PD	879	3,8	2,83	2,5	0,133	24,9



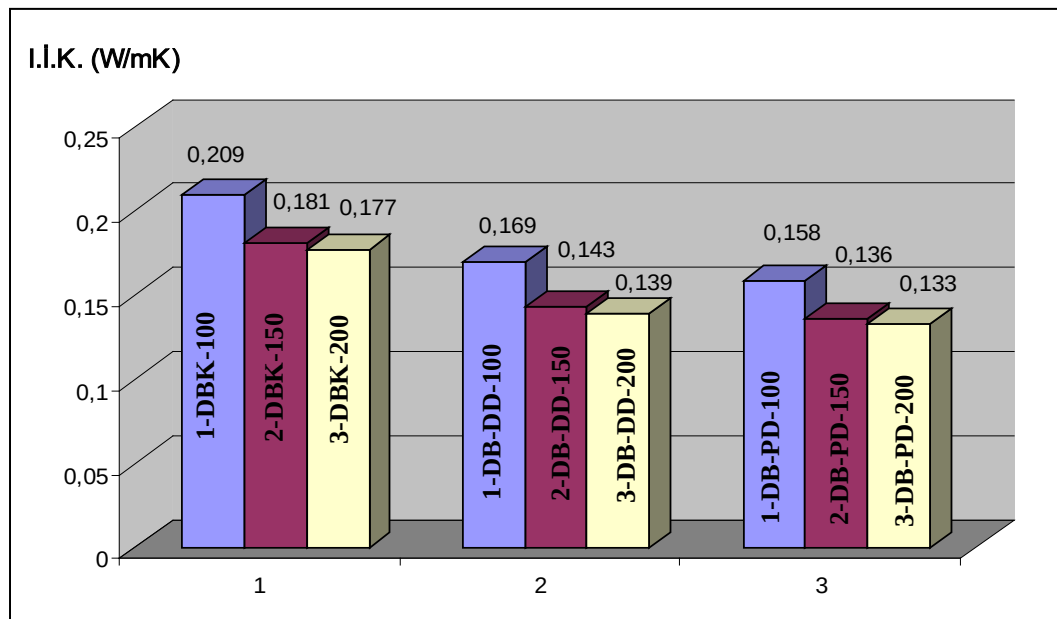
Şekil 4.13. Dolgulu D. Bloklarının I.I.Katsayılarının Karşılaştırmalı Grafiği-1

4.13 Dolgulu Duvar Bloklarının Kalınlıklarına Göre Değerlendirilmesi

Çizelge 4.57’de, üretilen dolgulu duvar bloklarının kendi içerisindeki kıyaslamaları ve Şekil 4.14’de de grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.57. Dolgulu Duvar Bloklarının Kendi İçerisindeki Deney Sonuçları

Numune Kodu	B.H.A. (kg/m ³)	%	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	%	Isı İletim Katsayısı	%
1-DBK	870	-	2.40	-	0.209	-
2-DBK	854	1.8	2.62	9.2	0.181	13.4
3-DBK	847	2.6	2.76	15.0	0.177	15.3
1-DD	983	-	2.54	-	0.169	-
2-DD	952	3.2	2.70	6.3	0.143	15.4
3-DD	944	4.0	2.87	13.0	0.139	17.8
1-PD	924	-	2.52	-	0.158	-
2-PD	883	4.4	2.68	6.3	0.136	13.9
3-PD	879	4.9	2.83	12.3	0.133	15.8



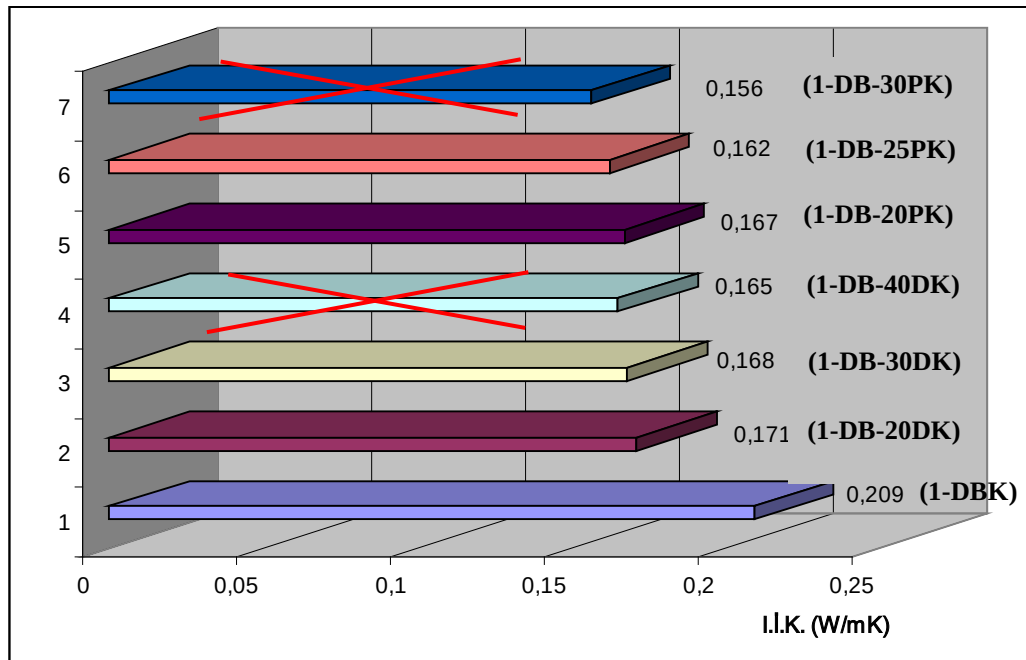
Şekil 4.14. Dolgulu D. Bloklarının I.I.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-2

4.14. (1-DB)-Katkılı Duvar Bloklarının Değerlendirilmesi

Çizelge 4.58’de üretilen (1-DB-100) katkılı duvar bloklarının kendi içerisindeki kıyaslamaları ve Şekil 4.14’de ise grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.58. 1-DB-100 Kodlu Numunelerin Deney Sonuçları

Numune Kodu	B.H.A. (kg/m ³)	%	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	%	Isı İletim Katsayısı	%
1-DBK	<u>870</u>	-	<u>2,40</u>	-	<u>0,209</u>	-
1-20DK	863	0,8	2,35	2,1	0,171	18,2
1-30DK	846	2,8	2,29	4,6	0,168	19,6
1-40DK	835	4,0	x 1,99	17,1	0,165	21,1
1-20PK	851	2,2	2,31	3,7	0,167	20,1
1-25PK	839	3,6	2,18	9,2	0,162	22,5
1-30PK	834	4,1	x 1,92	20,0	0,156	25,4
x -Dayanım Kalite Faktörüne Göre Standart Dışı Duvar Bloğu						



Şekil 4.15. Katkılı D. Bloklarının I.I.Katsayılarının Karşılaştırılmalı Grafiği-1

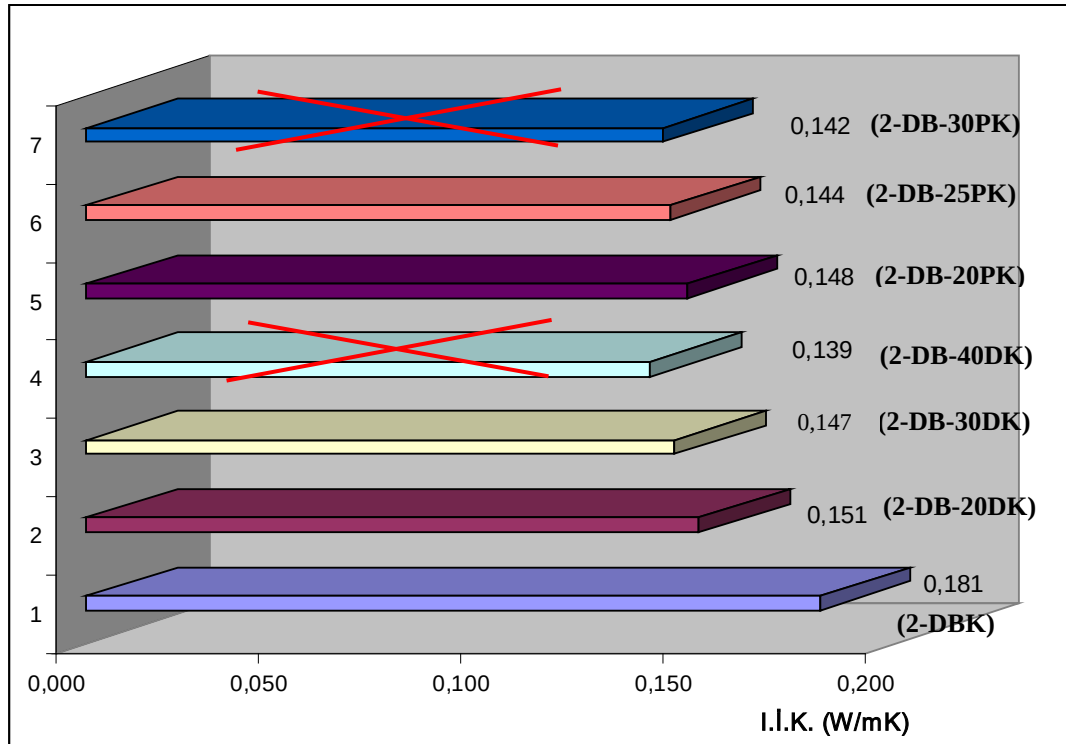
4.15. (2-DB)-Katkılı Duvar Bloklarının Değerlendirilmesi

Çizelge 4.59’da üretilen (2-DB-150) katkılı duvar bloklarının kendi içerisindeki kıyaslamaları ve Şekil 4.16’da ise grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.59. 2-DB-150 Kodlu Numunelerin Deney Sonuçları

Numune Kodu	B.H.A. (kg/m ³)	%	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	%	Isı İletim Katsayısı	%
2-DBK	854	0	2,62	0	0,181	0
2-20DK	842	1,4	2,45	6,5	0,151	16,6
2-30DK	825	3,4	2,16	17,6	0,147	19,9
2-40DK	813	4,8	X 1,93	26,3	0,139	23,2
2-20PK	821	3,9	2,36	9,9	0,148	18,2
2-25PK	812	4,9	2,19	16,4	0,144	20,4
2-30PK	805	5,7	X 1,89	27,9	0,142	21,5

X-Dayanım Kalite Faktörüne Göre Standart Dışı Duvar Bloğu



Şekil 4.16. Katkılı D. Bloklarının I.I.Katsayılarının Karşılaştırmalı Grafiği-2

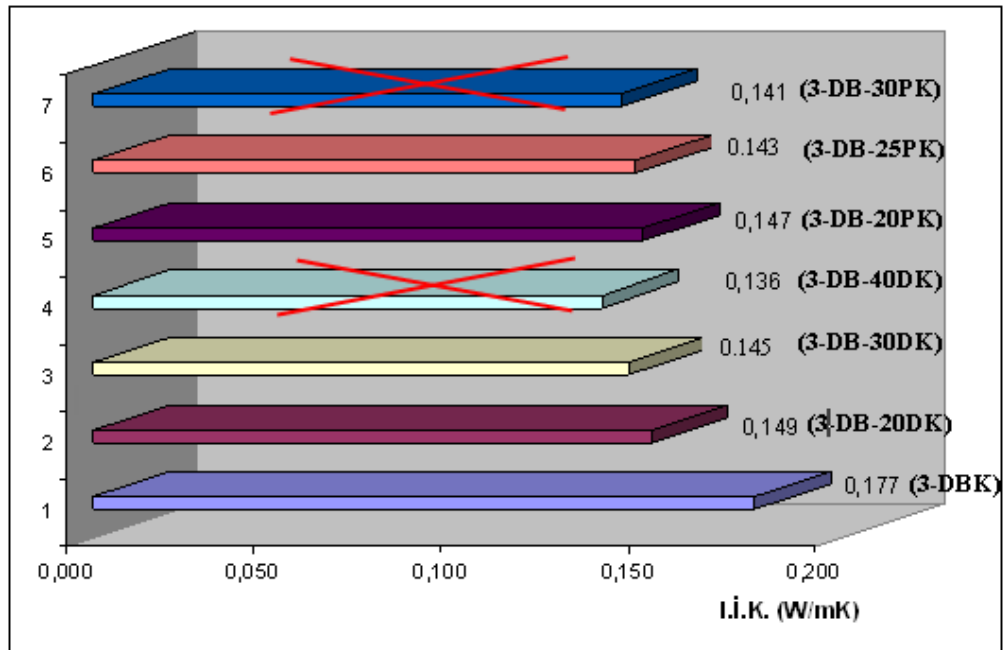
4.16. (3-DB)-Katkılı Duvar Bloklarının Değerlendirilmesi

Çizelge 4.60'da üretilen (3-DB-200) katkılı duvar bloklarının kendi içerisindeki kıyaslamaları ve Şekil 4.17'de ise grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.60. 3-DB-200 Kodlu Numunelerin Deney Sonuçları

Numune Kodu	B.H.A. (kg/m ³)	%	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	%	Isı İletim Katsayısı	%
3-DBK	847	0	2,76	0	0,177	0
3-20DK	839	0,94	2,41	12,6	0,149	15,8
3-30DK	820	3,19	2,17	21,3	0,145	19,2
3-40DK	814	3,90	X 1,87	32,2	0,136	23,2
3-20PK	815	3,78	2,32	15,9	0,147	16,9
3-25PK	804	5,08	2,13	22,8	0,143	18,1
3-30PK	796	6,02	X 1,83	33,7	0,141	20,3

X-Dayanım Kalite Faktörüne Göre Standart Dışı Duvar Bloğu



Şekil 4.17. Katkılı D. Bloklarının I.I.Katsayılarının Karşılaştırmalı Grafiği-3

4.17. Sonlu Elemanlar Metodunun Sonuçları ve Karşılaştırılmalı Analiz

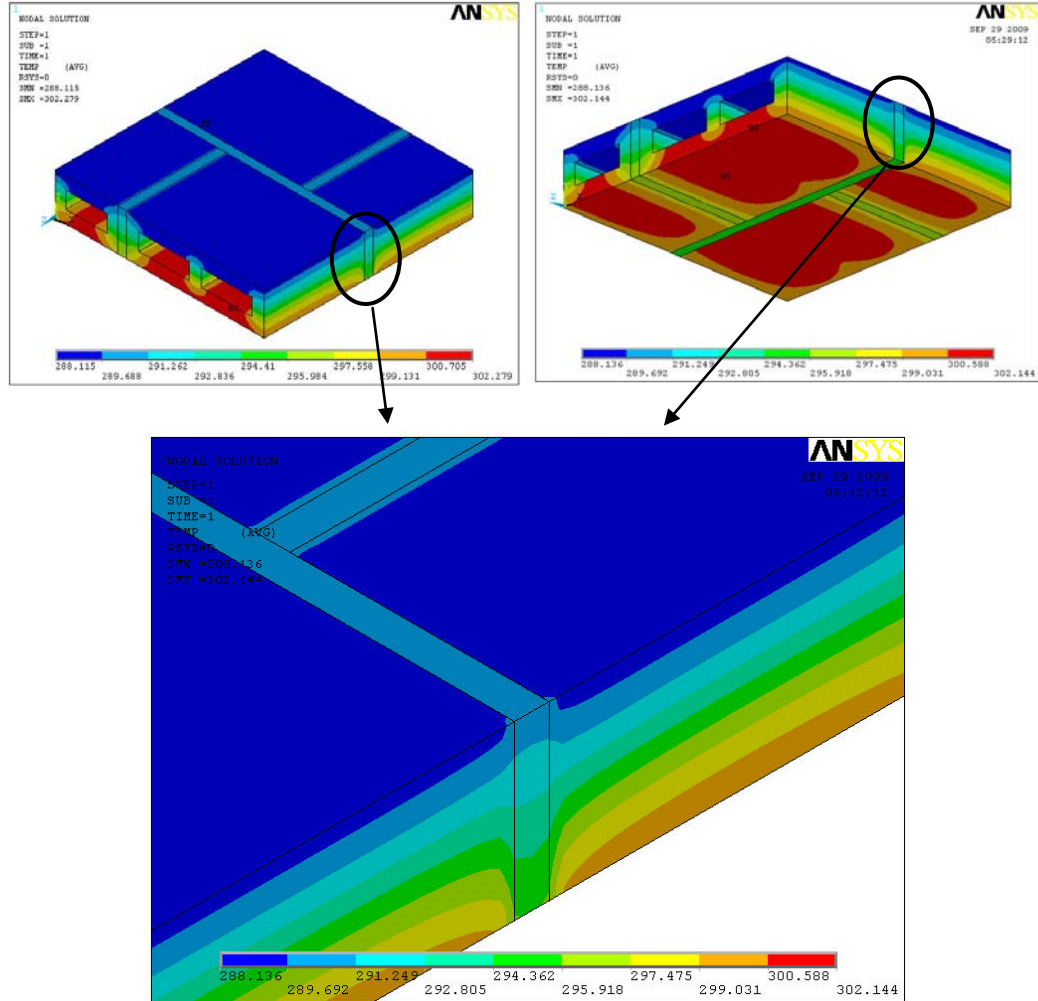
Eleman tipi olarak Thermal Mass-Solid 20node 90 kullanılmıştır. ANSYS’de bu eleman tipi, 20 node’lu üç boyutlu bir termal katı modeldir. Modelin sınır şartları belirlenirken Muhafazalı plaka cihazında olduğu gibi bir yüzeye 15 °C (15+273=288 K), diğer yüzeye ise 30 °C (30+273=303 K) sıcaklık verilmiştir. Karşılıklı 2 yüzeyi dışında diğer yüzeyleri adiabatik kabul edilip bu yüzeylerde ise sabit sıcaklık sınır şartı uygulanmıştır. Bundaki amaç bir yöndeki ısı akışının ANSYS programı yardımıyla bulunup buradan yola çıkarak oluşacak kompozit malzemenin etken ısı geçişini görerek hesaplamaktır.

Modeli sonlu elemanlara bölmek, başlangıçta eleman seçiminin doğru yapılmasıyla birebir ilişkilidir. Yani eleman tipine göre mesh tarzı değişir. Duvar blokları için modelimiz serbest meshlemeye uygundur. Meshleme yapılırken modelin hatlarını belirleyen çizgilerin her biri parçalara bölünmüştür. Bu işlem yapılırken parçaların bizzat uzunluklarının girilmesi suretiyle bölümlleme işlemi yapılmıştır. Element Edge Length 0.01 alınmıştır.

500x500x200 mm boyutlarında 3’er adet ayrı ayrı üretilen numunelerle bims malzemesinin, kullanılan harç malzemesinin, diyatomit dolgu malzemesinin ve perlit dolgu malzemesinin thermal conductivity katsayıları deneysel olarak mahfazalı plaka cihazında ölçülmüştür. Buna göre bims malzemesinin ortalama ısı iletim katsayısı 0,385 W/mK, harç malzemesinin ortalama ısı iletim katsayısı 1,180 W/mK, perlit dolgu harcının ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK, diyatomit dolgu harcının ısı iletim katsayısı 0,087 W/mK olarak bulunmuş ve modellemede bu değerler alınmıştır.

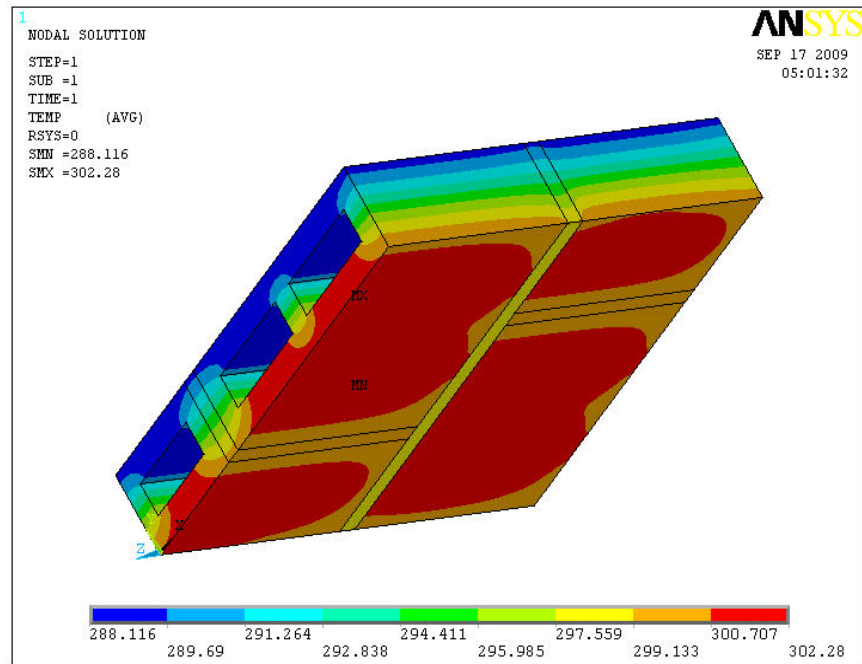
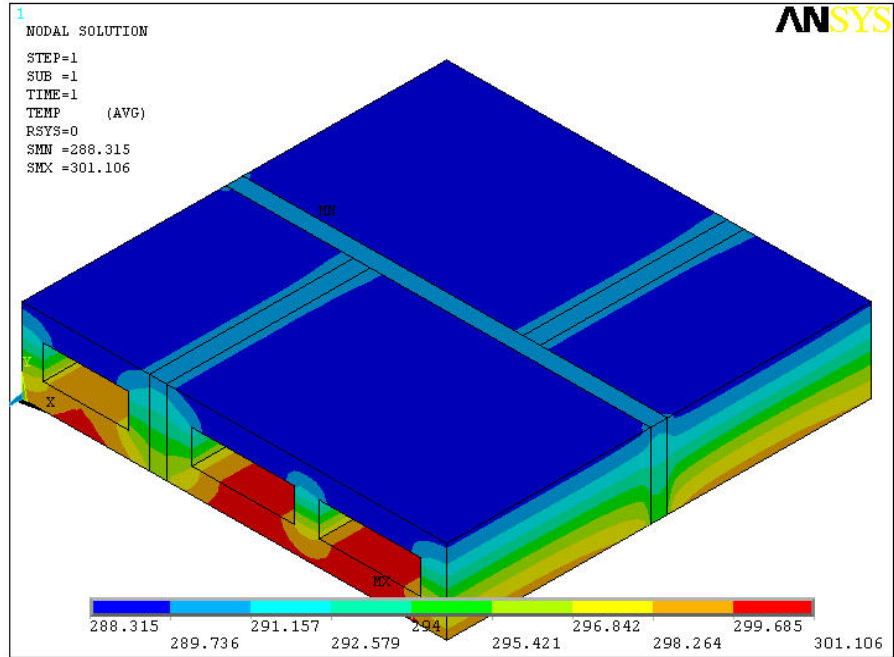
Katkılı harçlarının ısı iletim katsayıları da ayrı ayrı bulunmuştur. 20DK harcın ortalama ısı iletim katsayısı 0,284 W/mK, 30DK harcın ortalama ısı iletim katsayısı 0,278 W/mK, 40DK harcın ortalama ısı iletim katsayısı 0,272 W/mK bulunmuştur. 20PK harcın ortalama ısı iletim katsayısı 0,275 W/mK, 25PK harcın ortalama ısı iletim katsayısı 0,271 W/mK, 30DK harcın ortalama ısı iletim katsayısı 0,265 W/mK bulunmuştur.

Duvar bloklarının değerleri ise yapılan deney sonuçlarına göre atanmıştır. VALI film katsayısı $22 \text{ W/m}^2\text{K}$, VALI Bulk temperature deneylerde de olduğu gibi 15°C (288 K), VALII film katsayısı $6 \text{ W/m}^2\text{K}$, VALII Bulk temperature 30°C (303 K) alınmıştır. Hareketsiz hava için $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$ alınmıştır.

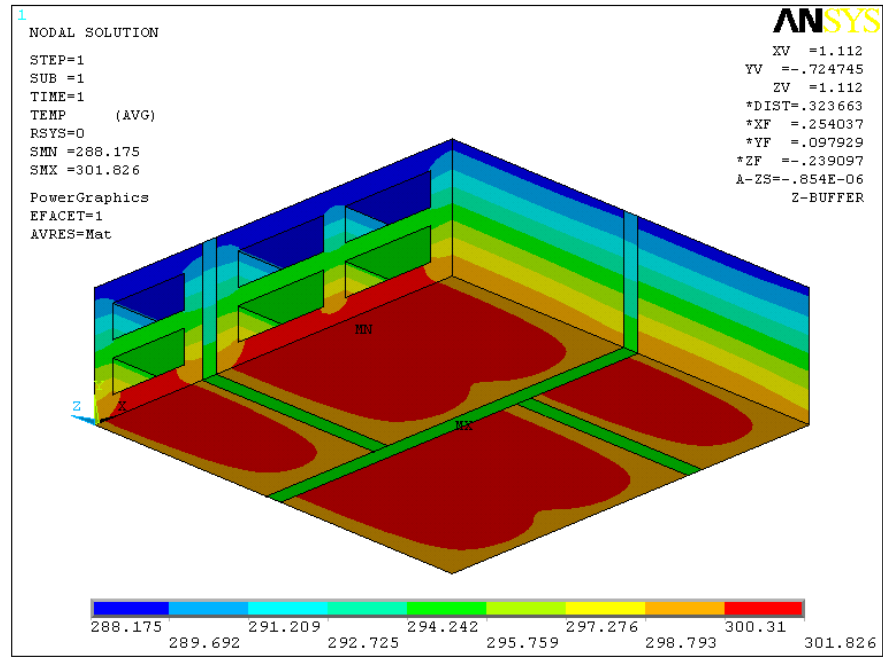
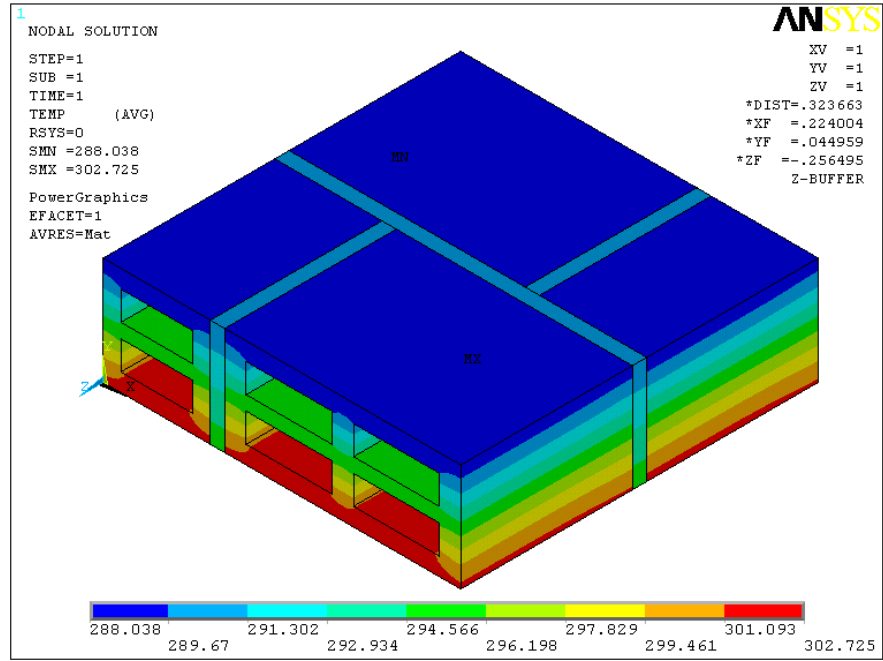


Şekil 4.18. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi

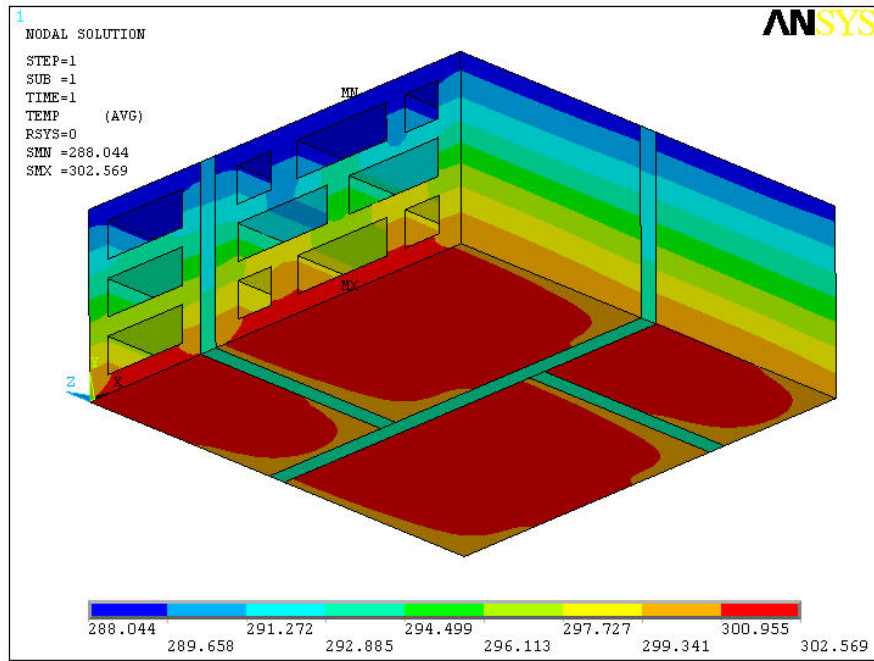
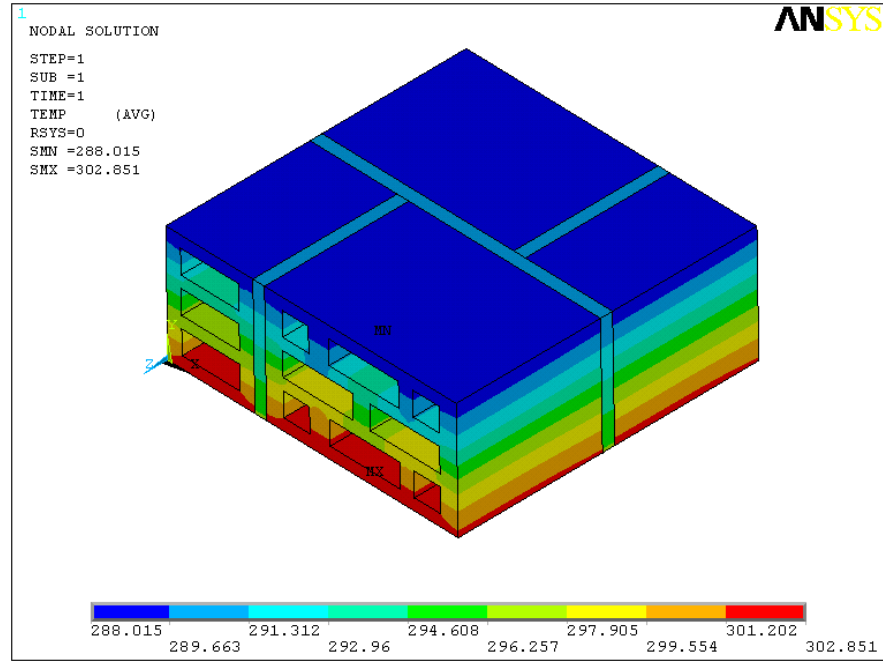
Örnek olarak 1-DBK-100 kodlu numune için analiz sonucu Şekil 4.18’de görüldüğü gibi grafiksel olarak verilmiştir. ANSYS programında model sonuçları tabakalardaki sıcaklık farklarına göre değerlendirilmiştir. Şekil 4.19, 4.20, 4.21’de duvar bloklarının bölgesel sıcaklık değişimleri verilmiştir. Blokların kalınlıkları boyunca sıcaklık değişimleri tablo olarak EK 6-14 arasında verilmiştir.



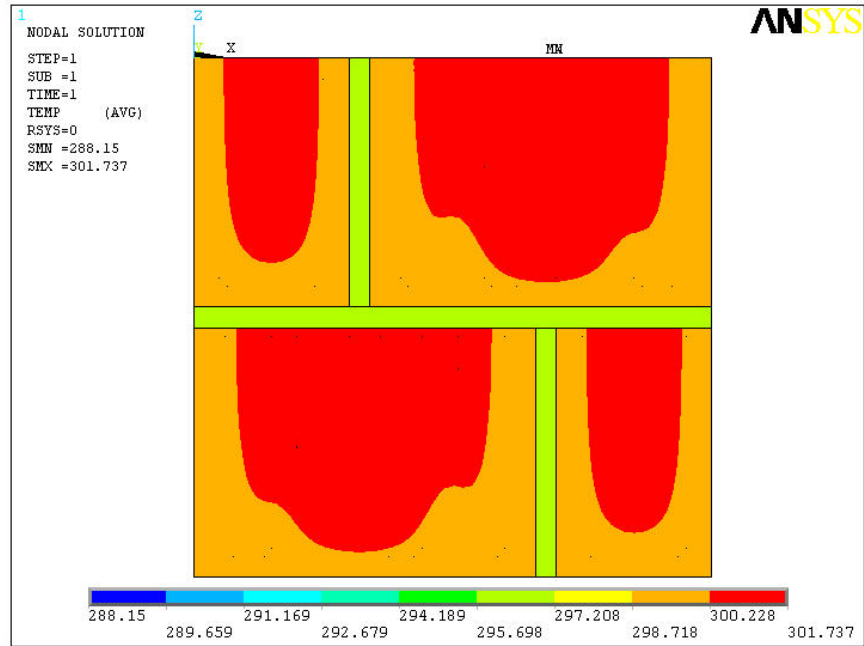
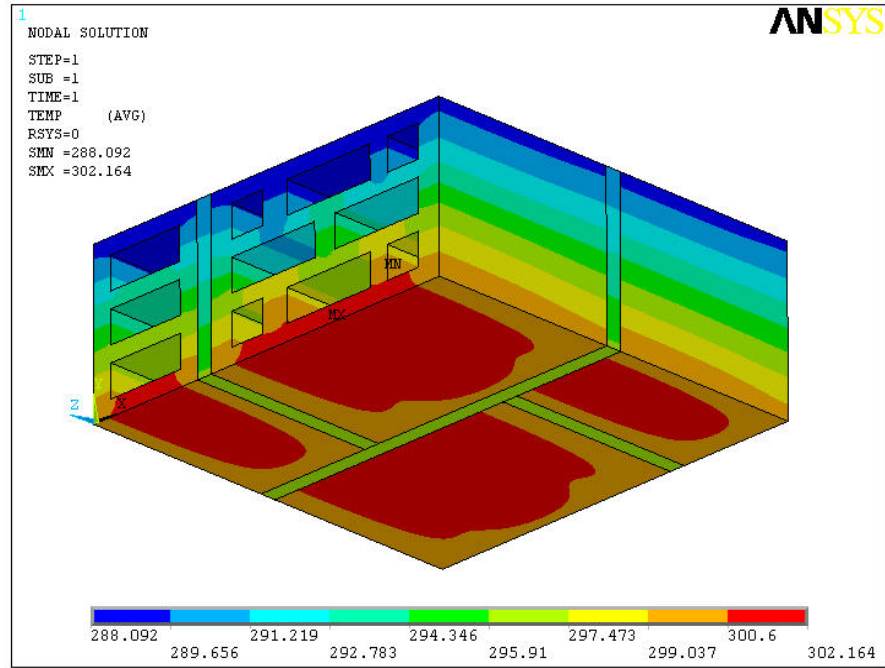
Şekil 4.19. Duvar Bloklarının Bölgesel Sıcaklık Değişimi-1



Şekil 4.20. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi-2



Şekil 4.21. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi-3

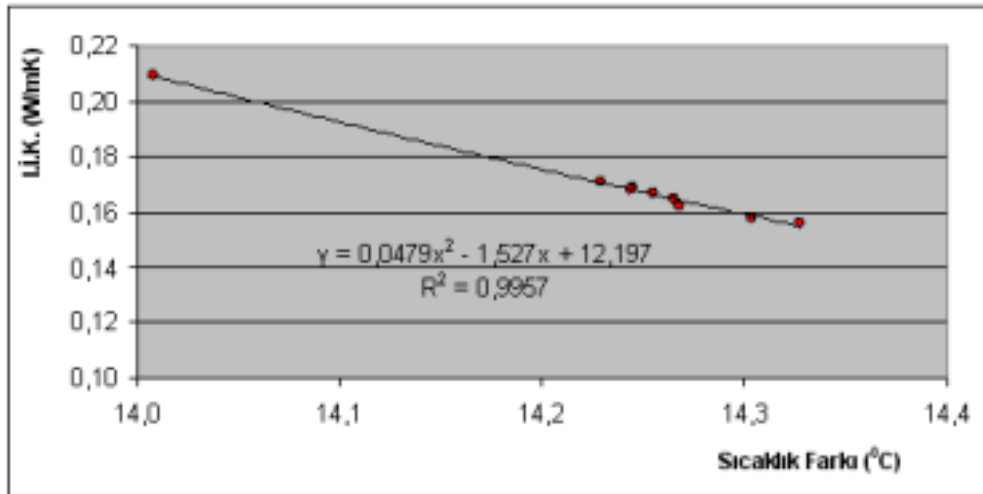


Şekil 4.22. Duvar Bloklarının Enkesitinde Sıcaklık Değişimi-4

ANSYS programında modellenen duvar blokları değerlendirilirken alt ve üst tabakanın sıcaklık değerleri kontrol edilmiştir. EK 6-14 arasında verilen tablolardan alt tabaka ile üst tabaka arasındaki sıcaklık farkı tespit edilmiştir. İki tabaka arasındaki sıcaklık farkları Çizelge 4.61’de, grafiği ise Şekil 4.11’de görülmektedir. Tek Sıralı Numuneler İçin..... $y = 0,0479x^2 - 1,527x + 12,197$ $R^2 = 0,9957$ bulunmuştur. 100’lük numunelerin modelleme sonuçları

Çizelge 4.61. 100’lük Numunelerin Modelleme Sonuçları

Numune No	Alt Tabaka	Üst Tabaka	Tabakalar Arası Sıcaklık Farkı
1-DBK	288,136	302,144	14,008
1-DD	288,104	302,349	14,245
1-PD	288,096	302,399	14,303
1-20 DK	288,106	302,335	14,229
1-30 DK	288,104	302,348	14,244
1-40 DK	288,101	302,366	14,265
1-20 PK	288,103	302,358	14,255
1-25 PK	288,099	302,367	14,268
1-30 PK	288,095	302,422	14,327



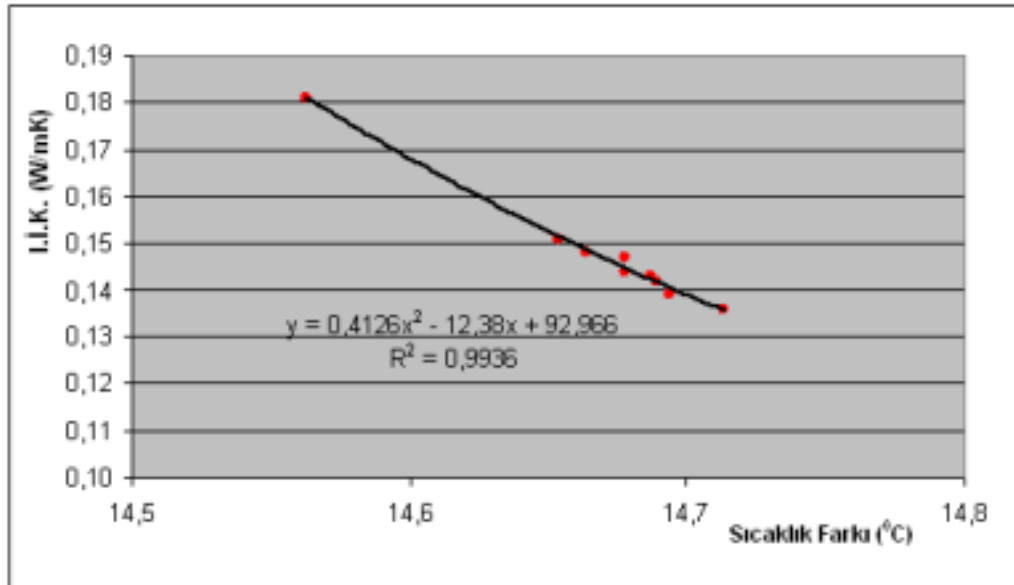
Şekil 4.22. 100’lük Numunelerin Model Grafiği

ANSYS programında modellenen duvar blokları değerlendirilirken alt ve üst tabakanın sıcaklık değerleri kontrol edilmiştir. EK 6-14 arasında verilen tablolardan alt tabaka ile üst tabaka arasındaki sıcaklık farkı tespit edilmiştir. İki tabaka arasındaki sıcaklık farkları Çizelge 4.62’de, grafiği Şekil 4.12’de görülmektedir.

İki Sıralı Numuneler İçin..... $y = 0,4126x^2 - 12,38x + 92,966$ $R^2 = 0,9936$ bulunmuştur.

Çizelge 4.62. 150’lik Numunelerin Modelleme Sonuçları

Numune No	Alt Tabaka	Üst Tabaka	Tabakalar Arası Sıcaklık Farkı
2-DBK	288,054	302,617	14,563
2-DD	288,039	302,726	14,687
2-PD	288,036	302,749	14,713
2-20 DK	288,042	302,696	14,654
2-30 DK	288,04	302,718	14,678
2-40 DK	288,037	302,731	14,694
2-20 PK	288,041	302,705	14,664
2-25 PK	288,039	302,717	14,678
2-30 PK	288,039	302,728	14,689

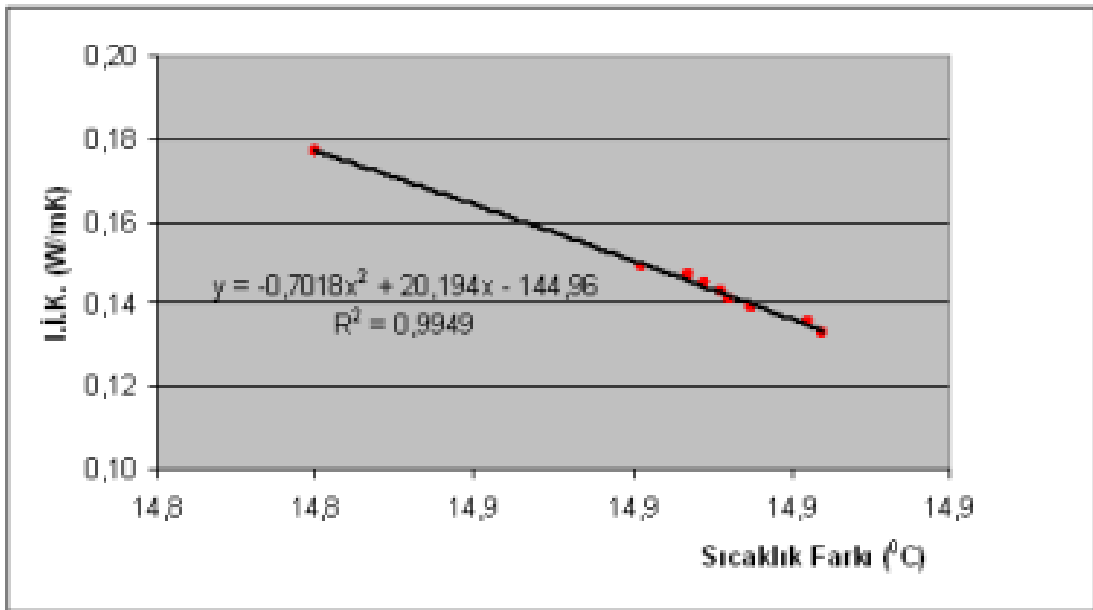


Şekil 4.23. 150’lik Numunelerin Model Grafiği

ANSYS programında modellenen duvar blokları değerlendirilirken alt ve üst tabakanın sıcaklık değerleri kontrol edilmiştir. EK 6-14 arasında verilen tablolardan alt tabaka ile üst tabaka arasındaki sıcaklık farkı tespit edilmiştir. İki tabaka arasındaki sıcaklık farkları Çizelge 4.63’de, grafiği ise Şekil 4.13’de görülmektedir. Üç Sıralı Numuneler İçin..... $y = -0,7018x^2 + 20,194x - 144,96$ $R^2 = 0,9949$ bulunmuştur.

Çizelge 4.63. 200’lük Numunelerin Modelleme Sonuçları

Numune No	Alt Tabaka	Üst Tabaka	Tabakalar Arası Sıcaklık Farkı
3-DBK	288.014	302.854	14.840
3-DD	288.009	302.904	14.895
3-PD	288.009	302.913	14.904
3-20 DK	288.011	302.892	14.881
3-30 DK	288.01	302.899	14.889
3-40 DK	288.009	302.911	14.902
3-20 PK	288.01	302.897	14.887
3-25 PK	288.01	302.901	14.891
3-30 PK	288.01	302.902	14.892



Şekil 4.24. 200’lük Numunelerin Model Grafiği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER**5.1. Sonuçlar**

Yapılan bu doktora tez çalışmasının temel amacı, diyatomit ve perlit dolgusuyla ve katkısıyla üretilen bimsden mamul duvar bloklarının ısı performansının incelenmesidir. Bu çalışmada TSE belgesine sahip, bimsbetondan mamul duvar bloğu üreten firmanın tesislerinden alınan, D=100, 150 ve 200 mm kalınlıklarda ve farklı delik konfigürasyonlarında bimsbeton duvar blokları kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, orijinal haldeki referans numunelerin brüt birim ağırlığı, basınç mukavemeti ve ısı iletkenlik özellikleri ilgili standartlara uygun deneylerle belirlenmiştir. İkinci aşamada, duvar bloklarının boşlukları, alçı ile karılan perlit ve diyatomit harcı ile doldurularak numunelerin özellikleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada 20, 30 ve 40 kg/m³ dozlu diyatomit ve 20, 25 ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı bimsbeton ile üretilen duvar bloklarının aynı özellikleri belirlenmiştir. Böylece diyatomit ve perliti, duvar bloğu deliklerine doldurarak ve ayrıca üretim harcına bir agrega gibi ilave ederek, bimsbetondan mamul duvar bloklarının ısı iletkenliği daha düşük bir yapı malzemesi haline dönüştürülmesi amaçlanmıştır.

Dolgu ve katkı malzemesi olarak Kayseri yöresinde doğal olarak büyük miktarlarda bulunan ve düşük maliyetle elde edilebilen diyatomit ve perlitin yararlı bir biçimde kullanılması da hedeflenmiştir. Doğal mineraller olan diyatomit ve perlit, diğer uygulama alanlarının yanında, ısı yalıtım malzemeleri olarak kullanılabilmekte olup, konu hakkında ilgili Türk Standartları mevcuttur (TS 9773, 1992, TS EN 14316-2, 2007).

5.1.1. Birim Ağırlıklar İle İlgili Sonuçlar

- Diyatomit Dolgulu Duvar Bloklarının Birim Ağırlıkları
Boşluklarına alçı ile karılan diyatomit harcı doldurulan tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim hacim ağırlığı olarak %13.0, iki sıra boşluklu duvar blokları %11.5 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %12.0 oranında artış göstermişlerdir.

- Perlit Dolgulu Duvar Bloklarının Birim Ağırlıkları

Boşluklarına alçı ile karılan perlit harcı doldurulan tek sıra boşluklu duvar blokları, referans numunelerine göre birim hacim ağırlığı olarak %6.2, iki sıra boşluklu duvar blokları %3.4 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %3.8 oranında artış göstermişlerdir.

- Diyatomit Katkılı Duvar Bloklarının Birim Ağırlıkları

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 20 kg diyatomit katkıli tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim ağırlığı olarak %0.8, iki sıra boşluklu duvar blokları %1.4 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %0.9 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 30 kg diyatomit katkıli tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim ağırlığı olarak %2.8, iki sıra boşluklu duvar blokları %3.4 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %3.2 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 40 kg diyatomit katkıli tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim ağırlığı olarak %4.0, iki sıra boşluklu duvar blokları %4.8 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %3.9 oranında düşüş göstermişlerdir.

- Perlit Katkılı Duvar Bloklarının Birim Hacim Ağırlıkları

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 20 kg perlit katkıli tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim ağırlığı olarak %2.2, iki sıra boşluklu duvar blokları %3.9 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %4.1 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 25 kg perlit katkıli tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim ağırlığı olarak %3.6, iki sıra boşluklu duvar blokları %4.9 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %5.1 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 30 kg perlit katkıli tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre birim

ağırlığı olarak %4.1, iki sıra boşluklu duvar blokları %5.7 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %6.0 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının boşlukları alçı ile karılan perlit ve diyatomit harcı ile doldurulduğunda birim ağırlıkları artış gösterirken, 20, 30 ve 40 kg/m³ dozlu diyatomit ve 20, 25 ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı olarak üretilen duvar bloklarının ağırlıkları ise katkı oranlarına bağlı olarak düşüş göstermiştir.

5.1.2. Basınç Dayanımı İle İlgili Sonuçlar

- Diyatomit Dolgulu Duvar Bloklarının Basınç Dayanımları

Boşluklarına alçı ile karılan diyatomit harcı doldurulan tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %5.8, iki sıra boşluklu duvar blokları %3.1 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %4.0 oranında artış göstermişlerdir.

- Perlit Dolgulu Duvar Bloklarının Basınç Dayanımları

Boşluklarına alçı ile karılan perlit harcı doldurulan tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %5.0, iki sıra boşluklu duvar blokları %2.3, ve üç sıra boşluklu duvar blokları %2.5 oranında artış göstermişlerdir.

- Diyatomit Katkılı Duvar Bloklarının Basınç Dayanımları

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregat gibi ilave edilerek üretilen 20 kg diyatomit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %2.1, iki sıra boşluklu duvar blokları %6.5 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %12.7 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregat gibi ilave edilerek üretilen 30 kg diyatomit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %4.6, iki sıra boşluklu duvar blokları %17.6 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %21.4 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregat gibi ilave edilerek üretilen 40 kg diyatomit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre

basınç dayanımı olarak %17.1, iki sıra boşluklu duvar blokları %26.3 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %32.2 oranında düşüş göstermişlerdir.

- **Perlit Katkılı Duvar Bloklarının Basınç Dayanımları**

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregası gibi ilave edilerek üretilen 20 kg perlit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %3.7, iki sıra boşluklu duvar blokları %9.9 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %15.9 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregası gibi ilave edilerek üretilen 25 kg perlit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %9.2, iki sıra boşluklu duvar blokları %16.4 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %22.8 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregası gibi ilave edilerek üretilen 30 kg perlit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre basınç dayanımı olarak %20.0, iki sıra boşluklu duvar blokları %27.9 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %33.7 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının boşlukları alçı ile karılan perlit ve diyatomit harcı ile doldurulduğunda basınç dayanımları artış gösterirken, 20, 30 ve 40 kg/m³ diyatomit dozlu ve 20, 25 ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı olarak üretilen duvar bloklarının basınç dayanımları ise katkı oranlarına bağlı olarak düşüş göstermiştir. Katkılı üretilen duvar bloklarının 40 kg/m³ dozlu diyatomit ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı olarak üretilen duvar blokları dayanım kalite faktörüne göre TS alt sınırlarını sağlamamaktadır (TS EN 771-3, TS EN 772-1, 2005).

5.1.3. Isı İletim Katsayısı İle İlgili Sonuçlar

- **Diyatomit Dolgulu Duvar Bloklarının Isı İletim Katsayıları**

Boşluklarına alçı ile karılan diyatomit harcı doldurulan tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %19.1, iki sıra boşluklu duvar blokları %21.0 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %21.5, oranında düşüş göstermişlerdir.

- Perlit Dolgulu Duvar Bloklarının Isı İletim Katsayıları

Boşluklarına alçı ile karılan perlit harcı doldurulan tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %24.4, iki sıra boşluklu duvar blokları %24.9, ve üç sıra boşluklu duvar blokları %24.9 oranında düşüş göstermişlerdir.

- Diyatomit Katkılı Duvar Bloklarının Isı İletim Katsayıları

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 20 kg diyatomit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %18.2, iki sıra boşluklu duvar blokları %16.6 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %15.8 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 30 kg diyatomit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %19.6, iki sıra boşluklu duvar blokları %19.9 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %18.1 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 40 kg diyatomit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %21.1, iki sıra boşluklu duvar blokları %23.2 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %23.7 oranında düşüş göstermişlerdir.

- Perlit Katkılı Duvar Bloklarının Isı İletim Katsayıları

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 20 kg perlit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %20.1, iki sıra boşluklu duvar blokları %18.2 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %16.9 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 25 kg perlit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı iletim katsayıları olarak %22.5, iki sıra boşluklu duvar blokları %20.4 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %19.2 oranında düşüş göstermişlerdir.

Duvar bloklarının üretim harcına bir agregaya gibi ilave edilerek üretilen 30 kg perlit katkılı tek sıra boşluklu duvar blokları referans numunelerine göre ısı

iletim katsayıları olarak %25.4, iki sıra boşluklu duvar blokları %21.5 ve üç sıra boşluklu duvar blokları %20.3 oranında düşüş göstermişlerdir.

5.1.4. Sonlu elemanlar Metodu İle İlgili Sonuçlar

ANSYS programında modellenen duvar blokları değerlendirilirken alt ve üst tabakanın sıcaklık değerleri kontrol edilmiştir. Buna göre modelleme sonuçlarının değerlendirmesinde, alt tabaka ile üst tabaka arasındaki sıcaklık farkı tespit edilmiştir. Buna göre

Tek Sıralı Numuneler İçin..... $y = 0,0479x^2 - 1,527x + 12,197$ $R^2 = 0,9957$

İki Sıralı Numuneler İçin..... $y = 0,4126x^2 - 12,38x + 92,966$ $R^2 = 0,9936$

Üç Sıralı Numuneler İçin..... $y = -0,7018x^2 + 20,194x - 144,96$ $R^2 = 0,9949$

katsayıları bulunmuştur.

5.1.5. Genel Sonuçlar

Duvar bloklarının üretildiği harç malzemesinin ısı iletim katsayısı bilindiğinde, ANSYS’de modelleme sonucu tabakalar arası farka bağlı olarak en ideal yalıtım özelliğini verecek boşluk konfigürasyonuna karar verilebilecektir.

Yapılan çalışmalar neticesinde malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında, sadece formülde belirtilen değişkenlerin değil, aynı zamanda nem, boşluk konfigürasyonu, etüvde kalma süresi, yüzey pürüzlülüğü v.b. etkenlerin de oldukça önem arz ettiği gözlenmiştir. Porozite arttıkça, ısı iletkenli azalmakta, dolayısıyla katkılı duvar bloklarında olduğu gibi birim ağırlığı azalan numunelerin ısı iletkenlik özellikleri iyileşmektedir.

Duvar blokları ısı iletim katsayısına göre değerlendirildiğinde, hem boşlukları alçı ile karılan perlit ve diyatomit harcı ile doldurulan duvar bloklarında hemde 20, 30 ve 40 kg/m³ diyatomit dozlu ve 20, 25 ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı olarak üretilen duvar bloklarında katkı oranlarına bağlı olarak düşüş göstermiştir.

20, 30 ve 40 kg/m³ diyatomit dozlu ve 20, 25 ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı olarak üretilen duvar blokları değerlendirirken standarta uygun olmayan 40 kg/m³ dozlu diyatomit ve 30 kg/m³ dozlu perlit katkılı olarak üretilen duvar blokları

değerlendirme dışı tutulmuştur. Buna göre katkılı duvar bloklarının arasında en iyi performansı 0.143 W/mK değeri ile 3 sıra boşluklu perlit katkılı duvar blokları göstermiştir.

Bu çalışmada, diyatomit ve perlit ayrı ayrı bimsbetondan mamul duvar bloklarında iki farklı biçimde kullanılmıştır. Birinci uygulamada, bağlayıcı olarak düşük dozda alçı su ile ve hava kabarcıkları oluşturan ucuz bir katkı maddesiyle birlikte karılarak, akıcı bir harç halinde bimsbeton duvar bloklarının boşluk kısımlarına doldurulmuştur. Kısa bir zaman sonra sertleşen bu malzemenin varlığı ile orijinal duvar bloklarına göre, değişmiş olan blokların basınç mukavemeti, %5 - %10 arası artış ve ısı iletkenlik katsayısı da %20 ile %25 arası bir azalma (iyileşme) görülmüştür. Perlit dolgulu bloğun ısı iletkenlik katsayısındaki iyileşme (azalma) yaklaşık %25 iken, diyatomit dolgulu bloğun ısı iletkenlik katsayısındaki azalma (iyileşme) %20 olmuştur. Birim ağırlık ve dayanımda önemsiz değişimler ile ısı iletim katsayısında %20 ve %25 gibi azımsanmayacak iyileşmelere sahip olması, boşluk kısımlarına diyatomit veya perlit harcı doldurulmuş bimsbeton duvar bloklarının, ısı yalıtımında iyileştirilmiş bir biçimde uygulamada kullanılabilecek elemanlar olduğu kanaatine varılmıştır. İkinci uygulamada, boşluk kısımlarında yine orijinal halindeki gibi hava bulunan blokların imalatında kullanılan beton karışımına perlit veya diyatomit malzemeleri, bir agregâ gibi makul dozlarda ilave edilmiştir. Diyatomit ve perlitin üst dozajları basınç dayanımlarının TS şartları içerisinde kalmasına göre karar verilmiştir. Diyatomit için 40 kg/m^3 dozu ve perlit için 30 kg/m^3 dozu ilgili Türk Standardının kabul edilebilir dayanım alt sınırını sağlayamamıştır. İmalat betonuna doğrudan bir agregâ gibi katılarak imal edilen bimsbeton bloklardan 25 kg/m^3 dozlu perlit katkılı olanların ve 30 kg/m^3 dozlu diyatomit katkılı olanların ısı iletim katsayısındaki iyileşme, her ikisinde de yaklaşık %20 olmuştur.

Sonuç olarak, boşluk kısımlarına alçılı perlit karışımı doldurulan bimsbeton duvar bloğunun ısı iletim katsayısında ortalama %25 iyileşme olmaktadır. Ticari imalat bantlarında maliyeti düşük ilave donanımlar ile blokların boşluk kısımlarına bu karışımı otomatik olarak sıkın düzenekler imal edilebilir. Bina dış duvar ısı kaybının

%25 azalması ile 50 yıllık ekonomik ömür boyunca sağlanacak maddi kazançlar, Kayseri yöresinde zengin doğal rezervleri bulunan perlitin blok boşluklarında kullanılması için gereken ilave bedelden daha fazla olacaktır. Benzer biçimde, boşluk kısımlarına alçılı diyatomit karışımı doldurulan bimsbeton duvar bloğunun ısı iletim katsayısında ortalama %20 iyileşme olmaktadır. Perlit dolgulu bimsbeton bloğun ısı kaybından sağlanan kazanç için var olan ekonomik getiri diyatomit dolgulu bloklar için de geçerlidir.

Duvar bloğu numunelerinin boşluklarına doldurulan diyatomit malzemesinin, ısı iletim katsayısının düşüklüğü nedeniyle, duvar bloğunun ısı iletimine olumlu etkiler yaptığı görülmüştür. Diyatomit malzemesi, perlite nazaran daha iyi sonuçlar vermemesine rağmen, perlite göre ucuz ve ülkemizde bol miktarda bulunan bir malzeme olmasından, ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşüncesi ile değişik projelerde çalışılmaya değer bir konu olarak görülebilir. Perlit malzemesi de, ülkemizde ve dünyada yalıtım amacıyla kullanılan bir malzemedir. Özellikle perlitli alçı ve perlitli sıva, inşaat sektöründe perlitin kullanımında lokomotif alanlardır. Yaptığımız çalışmada perlit, bilinen bir özelliğinden hareketle, ülke ekonomisi ve inşaat sektörü açısından oldukça önem arz eden, bims betonla birlikte kullanarak, oldukça olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapılacak geniş çaplı çalışmalar, modern tesisler ve yatırımlarla, imalat safhasında duvar bloklarının boşluklarına diyatomit ve perlit enjekte edilerek, yalıtım sektörüne yeni bir malzeme kazandırılabilir.

5.2. Öneriler

- Duvar bloklarının boşluklarına doldurulan alçı ile karılan perlit ve diyatomit harcı katkı yerine alüminyum tozu ile denenrek köpürtülebilir. Bu şekilde oluşturulan harcın denemeleri yapılabilir.
- Hazırlanacak harcın otomosyonla, lüle yardımıyla boşluklara sıkılacak veya süzdürülecek bir sistemin oluşturulması harcın daha homojen bir şekilde duvar bloklarını doldurması sağlanabilir. Böylece hatasız ve çok tutarlı ölçümler ve sonuçlar alınabilir.

- Yüksek katlı bir bina için normal kullanılacak duvar bloklara göre ısı hesabı yapılıp, ısınma için harcanacak enerjinin hesabı ortaya konulabilir. Dolgulu ve katkılı duvar bloklarının duvarlarda kullanıldığı farzedildiğinde bulunan ısı iletkenlik katsayıları girilerek, ısı hesabı yapılıp, ısınma için harcanacak enerji ilk hesapla karşılaştırılabilir.
- Yeni düşünülecek ısı yalıtım malzemeleri (eps, xps gibi) kullanılarak duvar bloklarının kompozit halde birlikte çalışacak patent alınabilecek yeni ürünler, bloklar üretilebilir ve kullanılabilir.
- Perlit ve diyatomit malzemeleriyle duvar bloklarının yerine kalıp oluşturularak ve presleme işlemine tabi tutularak panel şeklinde prefabrik duvar elemanları oluşturulabilir. Bunların deneyleri yapılarak ne kadar bir iyileştirme elde edildiği ve uygulama detayları araştırılabilir.
- ANSYS paket programı kullanılarak boşluk konfigürasyonları farklı duvar blokları modellenerek optimum yarar sağlayan boşluk halinin tespit edilmesi üreticilere yol gösterecektir.
- Pomzadan üretilen yapı malzemeleri ısı ve ses izolasyonu bakımından diğer yapı malzemelerine göre oranla iyi bir yalıtım sağladığından ısıtma ve soğutma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Böylelikle başta enerji tasarrufu sağlaması ve çevre kirliliğini azaltması sebebiyle ülkemize boşa giden milyonlarca dolarlık tasarruf sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AÇIKALIN N.,1991, “Dünyada ve Türkiye’de Diyatomit”, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- AÇIKEL H., 1995, “Karapınar Volkanik Agregasından (TS 4047’ ye uygun) Hazır Döşeme ve Çatı Plakları _malı”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- AKÖZ ve ark, 2001, Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Ve Çevre Kirliliğine Etkileri, Yalıtım 2001 Kongresi ve Sergisi, Eskişehir.
- AKSOY ve ark,2004, Kompozit Bir Duvar da Mevsimlik Isı Kayıp- Kazancı ve Yön İlişkisinin Belirlenmesi, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 115-125, Elazığ.
- ALPAUT O., 1990, Teorik Analitik Kimya, H.Ü.yay., Ankara.
- ANSYS 11.0SP1, 2008. Bilgisayar Programı Kullanım Notları, Ansys Inc.,London.
- ARDA A., 1994., “Hafif Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- ARUNTAŞ, H.Y., ALBAYRAK, M., SAKA, H.A., TOKYAY, M., 1998, Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş Yöresi diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması, Engineering and Environmental Science, 22, 337-343.
- ASTM C177-04., 2004, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of The Guarded-Hot-Plate Apparatus, Eng.
- BAŞ H., KAMANLI A., 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III, (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Raporu, DPT: 2617 – ÖİK: 628, Ankara.
- BASPINAR E., GÜNDÜZ L., 2006, “İnşaat Endüstrisinde Kullanılan Pomza Agregalarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri”, IV.Ulusal Kırmata Sempozyumu, İstanbul.

- BAYÜLKE ve ark, 2000, Isbaş Bimsblok İle Yapılmış Yığma Yapının Sarsma Tablası Deneyi., T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- BENTLİ İ., 2001, Kütahya-Alayunt Diatomit Cevherinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-19, İzmir.
- BRADY G. S.,1991, Clauser, H. R., “Materials Handbook”, Mc Graw, New York.
- BREESE R.O.Y., 1994, Diatomite, Industrial Minerals and Rocks, Carr (Ed), 397-412, Colarado, USA.
- ÇİFTÇİ E., 2003, Yer Bilimleri Teknik Terim Sözlüğü. Niğde.
- DÍAZ C., 2005, Non-Linear Thermal of Concrete Hollow Brick Walls By The Finite Element Method and Experimental Validation, Department of Construction, University Of Oviedo, Spain.
- DURAN S., 2003, “Beton Katkı Maddelerinin Karapınar Volkanik Agregasından İmal Edilen Hafif Betonun Bazı Özelliklerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- DOMENICO P.A., 1990, Schwartz, F.W., Physical and Chemical Hydrogeology., Geological Engineering 26 (2) 2002, John Wiley&Sons, 317-357, Canada.
- DPT, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri IV Çalışma Grubu Raporu”, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Refrakter Raporu, DPT: 2621 - ÖİK: 632, Ankara, 2001.
- ERCAN T, 1985, “Orta Anadolu’daki Senoziyik Volkanizması” MTA Yayınları, s119-140, Ankara.
- GÜNBAY F., “Doğal Absorbentler”, Balıkesir Üniversitesi, Ders notları, 2008
- GÜNDÜZ L., 2005, İnşaat Sektöründe Bims Blok, Sayfa: 2-5, 84-85, 510-516.
- _____,2001, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu sf. 59-68, İzmir.
- _____,2003 Binalarda Isı Yalıtımında Styronit ve Bims Agregalarının Kombinasyonel Olarak Kullanımı Üzerine Bir Analiz, Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta.
- _____, 2001, Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 118-29, İzmir.

- _____, 2005, Pomza Madenciligi, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni Bir Sektör), Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir.
- GÜNDÜZ L., ROTA A., Hüseyin A., Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi,
- GÜNDÜZ L., SAPCI N. DAVRAZ M., 2005, “Pomza Madenciligi, Endüstrisi ve Türkiye açısından Önemi (Gelişen Yeni Bir Sektör)”, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET, İzmir, s397-407
- GÖKTÜRKLER G., 2002, Heat Transfer Modeling in Earth Sciences / Steady – State Conduvtive Heat Transfer, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 4 Sayı: 3 sh. 67-80, İzmir, Ekim.
- GÖKKAYA H., NALBANT M., 2006, Talaş Kaldırma Sırasında Isı Oluşumu ve Dağılımı, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 33-432.
- HOSSAİN K.M.A., 2004, “Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete”, Cement and Concrete Research Volume 34, Issue 2, Pages 283-291.
- İZODER, 2008 Giriş: Bina ve Tesisatlarda Isı Yalıtımı, <http://www.izoder.org.tr>.
- KANCA, A.C., 1980. Yapılarda Isı Yalıtımı, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Sıra No: 649, Seri No:57/1, Ankara.
- KÖSE ve ark, 1997, Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları, İzmir.
- KULAKSIZOĞLU Z., 2006, Isı Yalıtım Sektör Araştırması, İstatistik Şubesi, Ankara.
- MADENCİLİK ÖZEL İHTİSAS KOMİSYONU RAPORU, 2001, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Genel Endüstri Mineralleri IV, (Bentonit-Barit-Diyatomit-Aşındırıcılar) Çalışma Raporu, DPT: 2621- ÖİK:632, Ankara.
- MADENCİLİK ÖZEL İHTİSAS KOMİSYONU, Endüstriyel Hammaddeler Alt komisyonu, 1996, Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu, DPT: 2421 – ÖİK: 480.
- MTA, Maden Teknik Arama, Hammaddeler Raporu, 2008, 21, ÖİK: 480.

- MADENCİLİK ÖZEL İHTİSAS KOMİSYONU RAPORU, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Çimento Hammaddeleri ve Çalışma Grubu Raporu, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, Cilt-2, (Pomza, perlit, kireç, alçı taşı ve alçı, kum, çakıl, mıcır, tuğla, kiremit toprakları, vermikülit), DPT: 2434 – ÖİK: 491 Ankara,
- MEISENGER A.C., 1985, Minerals Facts And Problems, United States Department of the Interior.
- METE Z. 1982, “Kimi Batı Anadolu Diatomit Yataklarının Özelliklerinin İncelenmesi ve Kullanımı Alanlarının Araştırılması”, Doçentlik Tezi, E. Ü. Kimya Fak. Kimya Müh. Böl., İzmir.
- NUHOĞLU, İ., ELMAS, N., 1999. Alayunt Diatomit Yataklarının Oluşumu ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir, 82-95
- ONUR Ş., Sürdürülebilir kalkınma ve enerji güvenliğinde kömürün rolü,
- ÖNEM Y., 2000. Sanayi Madenleri, Kozan Ofset Mat. San. ve Tic. Ltd. Sti, Ankara, syf: 230-236
- ÖZGENÇ İ., 1993, Perlitler İçindeki Suyun Kimyasal Yapısı ve Bu Yapının Genleşme Özelliğine Etkisi, Jeoloji Mühendisliği, DEÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, s.42,60-63, İzmir.
- ÖZEL M., PIHTILI K., 2005, Bina dış yüzeylerinin güneş ışınımı yutma oranlarının ısı akısı açısından araştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- ÖZEL M., PIHTILI K., 2005, Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç Ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 7 Sayı: 1 s.87-97.
- ÖZEL M., DURANAY M, 2005, Farklı Yönlere Bakan Bina Duvarlarında Duvar Kalınlığı ile Yalıtım Kalınlığı Arasındaki İlişkinin Isıl Yük Seviyesi Açısından İncelenmesi, F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 181-189.

- ÖZKAN Ş. G., Tuncer G., 2001, “Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış” , 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-119, İzmir.
- SAGMEİSTER B., 1999, Masonry Units Heat-Insulating Fron no-fines light weight concrete, Sonderdruck aus BFT 7/99, Bauverlag GmbH, 65396, Wlluf, Germany.
- SARIKAYA Y., 1997, Fizikokimya, Gazi Kitapevi, 2. Baskı, Syf: 65, Ankara.
- SARIZ K., NUHOĞLU İ.,1992, Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi Müh-Mim Fakültesi, 133-136, Eskişehir.
- SELVER R.,VAROL R., 2002, Polystren Malzemenin Isıl ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi DEÜ, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 4 Sayı:1, 71-78.
- SEZER F., 2005, Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2.
- SÖYLEMEZ S., 1998, On The Effective Thermal Conductivity of Building Bricks, University of Gaziantep.
- ŞENER F., DOĞAN H., 2004, Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza-Perlit-Ytong-Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler, MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı , MTA Maden Etüt ve Arama Daire Başkanlığı, Ankara.
- ŞENTÜRK A., GÜNDÜZ L., SANIŞIK A., 1995, Hafif İnşaat ve İzolasyon Hammaddesi Olarak Pomza Taşının Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- TEKİN G., 2004, Perlit ve Sepiyolit in Amonyumheptamolibdat ile Modifikasyonu ve Elektro Kinetik Özellikleri, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Balıkesir.
- TÜRKER A., 1999, Soğuk Hat Yalıtımında Elastomerik Kauçuk Köpüğü, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, İnşaat Yapılar İstatistiği, 2009
- TS 707, Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, Ankara, 1980.

- TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara, Nisan, 1998.
- TS 901, Lifli Isı ve Ses Yalıtma Malzemesi, Ankara, Kasım, 1972.
- TS 3234, Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları, Ankara, Eylül, 1978.
- TS EN 13165, Isı Yalıtım Mamulleri-Binalara İçin-Fabrikasyon Olarak İmal Edilen Sert Poliüretan Köpük (Pur)-Özellikler, Ankara, Mart, 2004.
- TS 901-1 EN 13162, Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan- Fabrika Yapımı Mineral Yün (MW) Mamuller-Özellikler, Ankara, Nisan, 2005.
- TS EN 13169/A1, Isı Yalıtım Malzemeleri-Binalar İçin-Genleştirilmiş Perlitten Fabrikada İmal Edilmiş Mamuller (EPB)-Özellikler, Ankara, Mart, 2005.
- TS 415 EN 12939, Yapı Malzemeleri ve Mamullerinin Isıl Performansı-Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı ve Isı Akış Sayacı Metodları İle Isıl Direncin Tayini-Yüksek ve Orta Isıl Dirençli Kalın Mamuller, Ankara, Mart, 2005.
- TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölümü 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara, Mart, 2002.
- TS EN 12350-.6, Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, Ankara, Nisan, 2002.
- TS 4048, Isı Yalıtım Malzemesinin Özgül Isısının Tayini, Ankara, Eylül, 1984.
- TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Ankara, Mart, 2002.
- TS 9773, Diyatomit- Isı Yalıtımında Kullanılan, Ankara, Ocak, 1992.
- TS EN 1744-1 “Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz”, TSE,Ankara, Nisan 2000
- TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları, Ankara, Nisan, 2002.
- TS 130, Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot, Ankara, Nisan, 1978.
- TS EN 12667, Yapı Malzemeleri ve Mamullerinin Isıl Performansı-Mahfazalı Sıcak Plaka ve Isı Akış Sayacı Metotlarıyla Isıl Direncin Tayini-Yüksek ve Orta Isıl Dirençli Mamuller, Ankara, Şubat, 2003.
- TS ISO 8302, Isı Yalıtımı-Kararlı Halde Isıl Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini-Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı, Ankara, Nisan, 2002.

- TS 1114 EN 13055-1 “Hafif Agregalar - Bölüm 1: Beton, Harç Ve Şerbette Kullanım İçin”, TSE, Ankara, Nisan 2004.
- TS EN 12390-1 “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi Ve Kalıplarının Şekil, Boyut Ve Diğer Özellikleri” TSE, Ankara, 2002.
- TS EN 12390-2, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması Ve Kürlenmesi”, TSE, Ankara, Nisan 2002
- TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, TSE, Ankara, Nisan 2003
- TS EN 1354, “Gözenekli Hafif Beton - Basınç Dayanımının Tayini”, TSE, Ankara, Mart, 2007
- ULUSOY G., 2004, Pomzanın İzole Monolitik Malzeme İmalinde Kullanılması, MTA Dergisi 129,89-96.
- UYGUN A., 1976, Hırka (Kayseri) Diyatomit Yatağının Jeokimyası ve Oluşumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, c.19, 127-132.
- UYGUN A., 2001, Diyatomit Jeolojisi ve Yararlanma Olanakları, Madencilik Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 31-39, Ankara.
- UYGUN A, 2002, Türkiye’nin Endüstri Mineralleri Potansiyeline Toplu Bir Bakış.
- ÜNAL O., ve ark, 2003, Pomza ve Diyatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- ÜNAL O., UYGUNOĞLU T., 2007, “Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması”, İMO Teknik Dergi, 4025 -4034, Yazı 266.
- YANIK S, 2007, “Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, C.Ü., F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, ADANA.
- YAZICIOGLU S., ARICI E., GÖNEN T., 2003, Pomza Taşının Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi , F.Ü. DAUM Dergisi , 1 , 118-123.
- YILMAZ A, 2004, Enerji Tasarrufunda Bor Ve Perlit, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

YÜCEL ve ark, Thermal Insulation Properties of Expanded Polystrene as Construction and Insulation Materials, Suleyman Demirel University, Faculty of Architectural and Engineering, Civil Engineering Department, Isparta , Turkey.

WALLECE P., 1998, “USGS Pumice and Pumicite Commodity Specialist” ,USA.

ÖZGEÇMİŞ

Kamuran ARI, 1975 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlköğrenimini Kayseri Arif Eminoglu İlkokulunda, Ortaokulu Dedeman Ortaokulunda ve lise öğrenimini Kayseri Lisesinde tamamladı. 1997 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı. 2001 yılında “Parke Taşlarının Aşınmasının PUNDİT Yöntemiyle Belirlenmesi ” hakkında yaptığı aynı zamanda TÜBİTAK projesi olan bitirme ödevi projesiyle mezun oldu. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri, İnşaat Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Ana Bilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2004 yılında Yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2004 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora eğitimine başladı. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

EK-1

DİATOMİT PİKNOMETRE DENEYİ			
Piknometre Deneyi Ölçüm ve Bulguları	Deney No 1	Deney No 2	Deney No 3
Boş Piknometre Ağırlığı, (gr)	144	163,4	140,4
Piknometre+ KYD ağırlığı, (gr)	253,2	271,5	248,6
Piknometre + KYD + İşarete Kadar Saf Su Ağırlığı, (gr)	670,9	689,9	667,1
Boş Tava Ağırlığı, (gr)	295	648,7	643,5
Tava + Etüv Kuru Num.Ağırlığı, (gr)	346,5	700,9	695,3
Kuru Numune Ağırlığı, (gr)	51,5	52,2	51,8
KYD Numune Ağırlığı, (gr)	109,2	108,1	108,2
KYD Halde Emilmiş Su Ağırlığı, (gr)	57,7	55,9	56,4
KYD Numunenin Mutlak Hacmi, (cm ³)	82,1	81,59	81,54
Num.Katı Madde Mutlak Hacmi, (cm ³)	82,26	81,56	81,57
Numunenin K.H.Ö.A. , (gr / cm ³)	0,626	0,64	0,635
Numunenin KYD Hacim Özgöl Ağırlığı (gr/ cm ³)	1,33	1,325	1,327
Numunenin Zahirî Özgöl Ağırlığı, (gr/ cm ³)	2,09	2,03	2,063
Numunenin KYD Halde Su Emme Kapasitesi, (%)	112,0	107,1	108,9
Ortalama KYD Su Emme Kapasitesi, (%)			109,3

EK-2

PERLİT PİKNOMETRE DENEYİ			
Piknometre Deneyi Ölçüm ve Bulguları	Deney No 1	Deney No 2	Deney No 3
Boş Piknometre Ağırlığı, (gr)	157,4	159,5	158,2
Piknometre+ KYD ağırlığı, (gr)	343,2	353,3	347,6
Piknometre + KYD + İşarete Kadar Saf Su Ağırlığı, (gr)	663,5	660,6	661,2
Boş Tava Ağırlığı, (gr)	649,6	658,5	647,4
Tava + Etüv Kurusu Num.Ağır.(gr)	785,3	798,4	785,3
Kuru Numune Ağırlığı, (gr)	135,7	139,9	137,9
KYD Numune Ağırlığı, (gr)	185,8	193,8	189,4
KYD Halde Emilmiş Su Ağır. (gr)	50,1	53,9	51,5
KYD Numunenin M.Hacmi, (cm ³)	179,7	192,7	186,4
Num.Katı Madde M.Hacmi, (cm ³)	129,6	138,8	134,9
Numunenin K.H.Ö.A. , (gr / cm ³)	0,76	0,73	0,74
Numunenin KYD Hacim Özg.Ağır. (gr/ cm ³)	1,03	1,01	1,02
Numunenin Zahirî Özgül Ağırlığı, (gr/ cm ³)	1,05	1,01	1,02
Numunenin KYD Halde Su Emme Kapasitesi, (%)	36,9	38,5	37,4
Ortalama KYD Su Emme Kapasitesi, (%)			37,6

EK-3

İNCE HAFİF AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ-1

1	Boş Piknometre ağırlığı , (gr)	:	134,6
2	Piknometre + KYD numune ağırlığı , (gr)	:	441,7
3	Pikno + KYD num. + İşarete kadar saf su ağırlığı , (gr)	:	728,3
4	Boş tava ağırlığı , (gr)	:	647,1
5	Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	:	897,1
6	Kuru Numune Ağırlığı (gr)	:	250,0
7	KYD Numune Ağırlığı (gr)	:	307,1
8	KYD halde emilmiş su ağırlığı (gr)	:	57,1
9	KYD numunenin mutlak hacmi cm ³	:	212,7
10	Numunenin katı madde mutlak hacmi cm ³	:	155,6
11	Numunenin Kuru Hacim Özgöl Ağırlığı	:	1,176
12	Numunenin KYD Hacim Özgöl Ağırlığı	:	1,444
13	Numunenin Zahirî Özgöl Ağırlığı	:	1,607
14	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	:	% 22,840

İNCE HAFİF AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ-2

1	Boş Piknometre ağırlığı , (gr)	:	135,1
2	Piknometre + KYD numune ağırlığı , (gr)	:	470,5
3	Pikno + KYD num. + İşarete kadar saf su ağırlığı , (gr)	:	736,7
4	Boş tava ağırlığı , (gr)	:	649,8
5	Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	:	921,2
6	Kuru Numune Ağırlığı (gr)	:	271,4
7	KYD Numune Ağırlığı (gr)	:	335,4
8	KYD halde emilmiş su ağırlığı (gr)	:	64,0
9	KYD numunenin mutlak hacmi cm ³	:	233,0
10	Numunenin katı madde mutlak hacmi cm ³	:	169,0
11	Numunenin Kuru Hacim Özgöl Ağırlığı	:	1,165
12	Numunenin KYD Hacim Özgöl Ağırlığı	:	1,440
13	Numunenin Zahirî Özgöl Ağırlığı	:	1,606
14	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	:	% 23,581

Ortalama KYD Halinde Su Emmesi : % 23,211

EK-4

İRİ HAFİF AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ-1

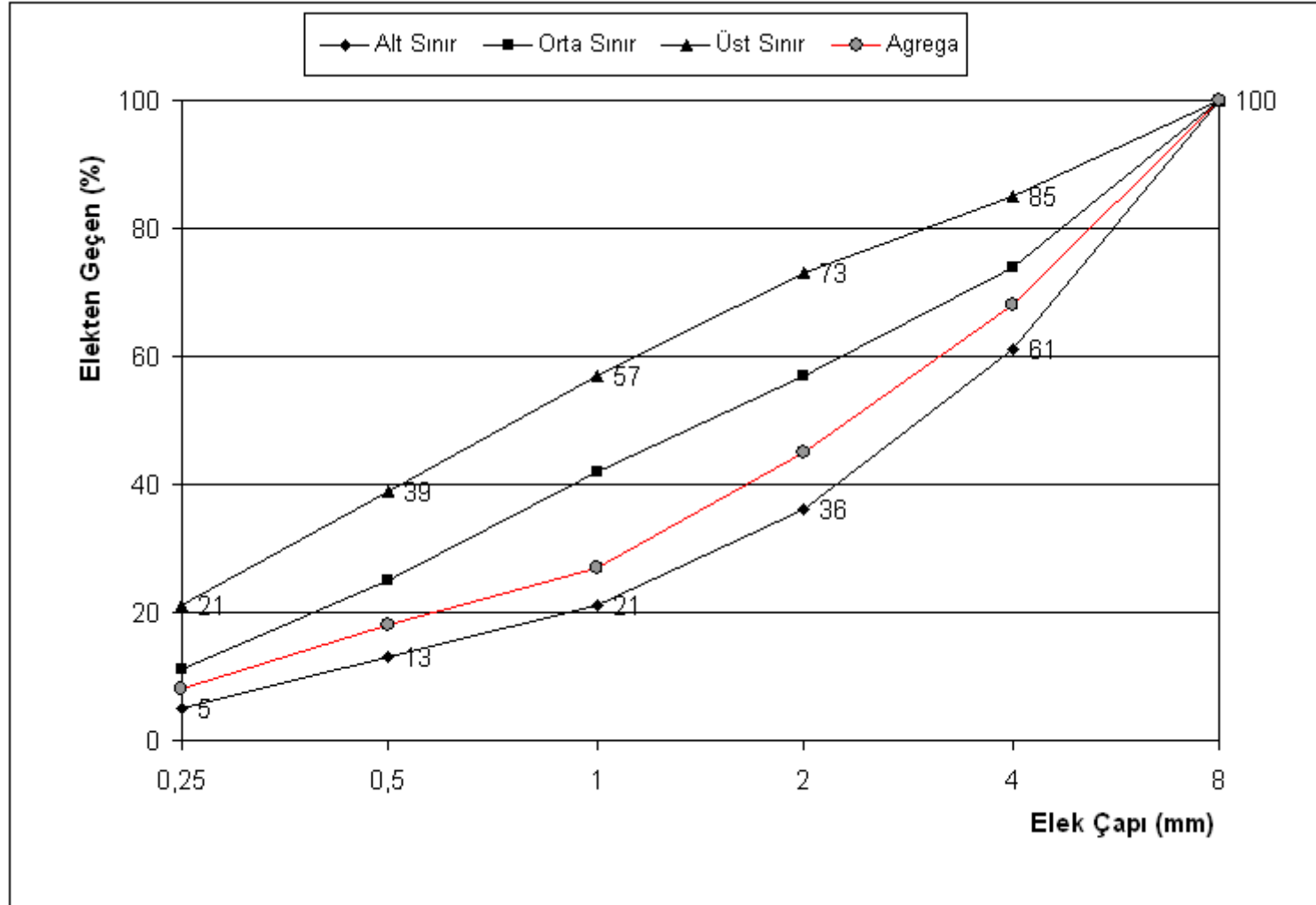
1. Boş tava ağırlığı , (gr)	: 336,5
2. Tava + KYD numune ağırlığı , (gr)	: 806,7
3. Boş tel sepetin su içindeki ağırlığı , (gr)	: 902,5
4. Tel sepet + KYD numunesinin su içindeki ağırlığı , (gr)	: 998,6
5. Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	: 675,5
6. Kuru Numune Ağırlığı	: 339,0
7. KYD Numune Ağırlığı	: 470,2
8. KYD halde emilmiş su ağırlığı	: 131,2
9. KYD numunenin su içindeki ağırlığı	: 96,1
10. KYD numunenin mutlak hacmi	: 374,1
11. Numunenin katı madde mutlak hacmi	: 242,9
12. Numunenin kuru Hacim Özgöl Ağırlığı	: 0,906
13. Numunenin KYD Hacim Özgöl Ağırlığı	: 1,257
14. Numunenin Zahirî Özgöl Ağırlığı	: 1,396
15. Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	: % 38,702

İRİ HAFİF AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ-2

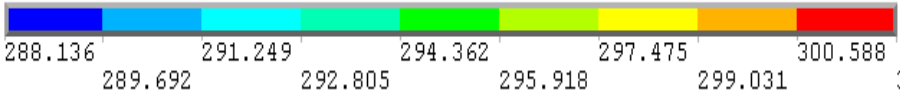
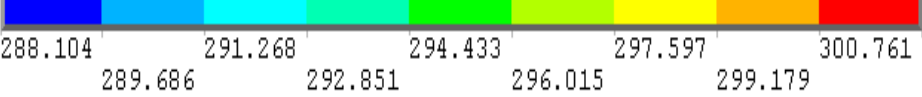
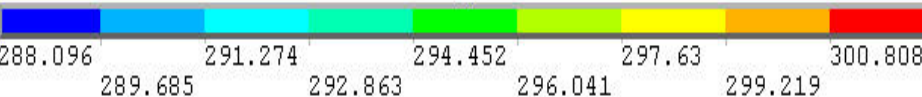
1. Boş tava ağırlığı , (gr)	: 333,5
2. Tava + KYD numune ağırlığı , (gr)	: 802,3
3. Boş tel sepetin su içindeki ağırlığı , (gr)	: 882,0
4. Tel sepet + KYD numunesinin su içindeki ağırlığı , (gr)	: 987,8
5. Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	: 671,7
6. Kuru Numune Ağırlığı	: 338,2
7. KYD Numune Ağırlığı	: 468,8
8. KYD halde emilmiş su ağırlığı	: 130,6
9. KYD numunenin su içindeki ağırlığı	: 105,8
10. KYD numunenin mutlak hacmi	: 363,0
11. Numunenin katı madde mutlak hacmi	: 232,4
12. Numunenin kuru Hacim Özgöl Ağırlığı	: 0,932
13. Numunenin KYD Hacim Özgöl Ağırlığı	: 1,291
14. Numunenin Zahirî Özgöl Ağırlığı	: 1,455
15. Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	: % 38,616

Ortalama KYD Halinde Su Emmesi : % 38,659

EK-5



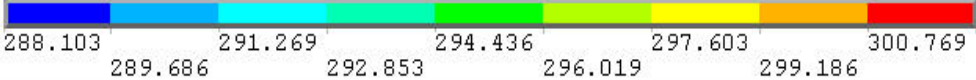
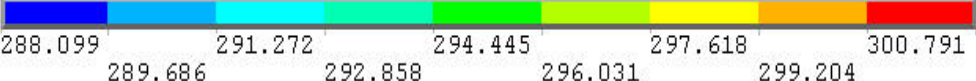
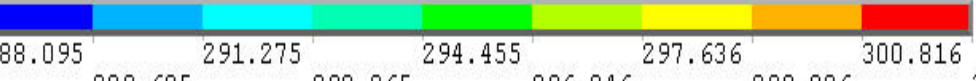
EK-6

									
1-DBK-100 KELVIN	288.136	289.692	291.249	292.805	294.362	295.918	297.475	299.031	300.588
	289.692	291.249	292.805	294.362	295.918	297.475	299.031	300.588	302.144
1-DBK-100 °C	15.136	16.692	18.249	19.805	21.362	22.918	24.475	26.031	27.588
	16.692	18.249	19.805	21.362	22.918	24.475	26.031	27.588	29.144
									
1-DD-100 KELVIN	288.104	289.686	291.268	292.851	294.433	296.015	297.597	299.179	300.761
	289.686	291.268	292.851	294.433	296.015	297.597	299.179	300.761	302.349
1-DD-100 °C	15.104	16.686	18.268	19.851	21.433	23.015	24.597	26.179	27.761
	16.686	18.268	19.851	21.433	23.015	24.597	26.179	27.761	29.349
									
1-PD-100 KELVIN	288.096	289.685	291.274	292.863	294.452	296.041	297.630	299.219	300.808
	289.685	291.274	292.863	294.452	296.041	297.630	299.219	300.808	302.399
1-PD-100 °C	15.096	16.685	18.274	19.863	21.452	23.041	24.630	26.219	27.808
	16.685	18.274	19.863	21.452	23.041	24.630	26.219	27.808	29.399

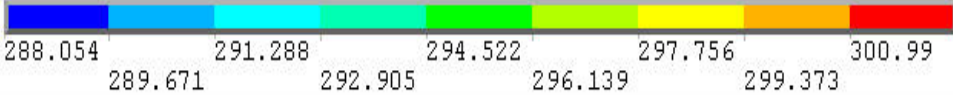
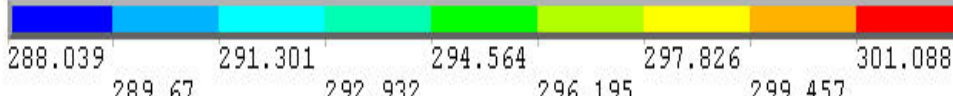
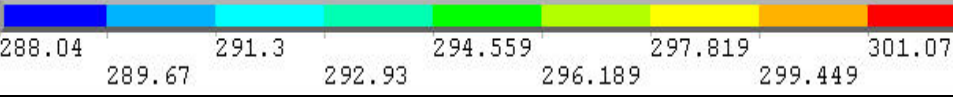
EK-7

	288.106289.687291.267292.848294.429296.01297.591299.172300.752302.335								
1-DB-20DK-100 KELVIN	288.106	289.687	291.267	292.848	294.429	296.010	297.591	299.172	300.752
	289.687	291.267	292.848	294.429	296.010	297.591	299.172	300.752	302.335
1-DB-20DK-100 °C	15.106	16.687	18.267	19.848	21.429	23.010	24.591	26.172	27.752
	16.687	18.267	19.848	21.429	23.010	24.591	26.172	27.752	29.335
	288.104289.686291.269292.852294.434296.017297.6299.182300.765302.348								
1-DB-30DK-100 KELVIN	288.104	289.686	291.269	292.852	294.434	296.017	297.600	299.182	300.765
	289.686	291.269	292.852	294.434	296.017	297.600	299.182	300.765	302.348
1-DB-30DK-100 °C	15.104	16.686	18.269	19.852	21.434	23.017	24.600	26.182	27.765
	16.686	18.269	19.852	21.434	23.017	24.600	26.182	27.765	29.348
	288.101289.686291.27292.855294.44296.024297.609299.193300.778302.366								
1-DB-40DK-100 KELVIN	288.101	289.686	291.270	292.855	294.440	296.024	297.609	299.193	300.778
	289.686	291.270	292.855	294.440	296.024	297.609	299.193	300.778	302.366
1-DB-40DK-100 °C	15.101	16.686	18.270	19.855	21.440	23.024	24.609	26.193	27.778
	16.686	18.270	19.855	21.440	23.024	24.609	26.193	27.778	29.366

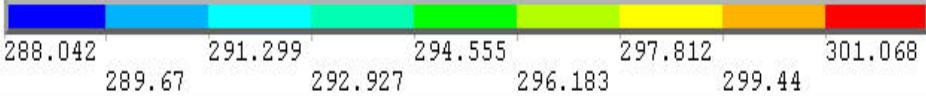
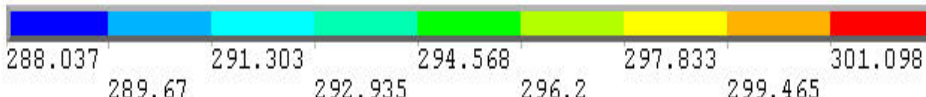
EK-8

									
1-DB-20PK-100 KELVIN	288,103	289, 686	291,269	292, 853	294, 436	295, 019	297,603	299,186	300,769
	289,686	291,269	292,853	294,436	295,019	297,603	299,186	300,769	302,358
1-DB-20PK-100 °C	15,103	16,686	18,269	19,853	21,436	22,019	24,603	26,186	27,769
	16,686	18,269	19,853	21,436	22,019	24,603	26,186	27,769	29,358
									
1-DB-25PK-100 KELVIN	288,099	289,686	291,272	292,858	294,445	296,031	297,618	299,204	300,791
	289,686	291,272	292,858	294,445	296,031	297,618	299,204	300,791	302,367
1-DB-25PK-100 °C	15,099	16,686	18,272	19,858	21,445	23,031	24,618	26,204	27,791
	16,686	18,272	19,858	21,445	23,031	24,618	26,204	27,791	29,367
									
1-DB-30PK-100 KELVIN	288,095	289,685	291,275	292,865	294,455	296,046	297,636	299,226	300,816
	289,685	291,275	292,865	294,455	296,046	297,636	299,226	300,816	302,422
1-DB-30PK-100 °C	15,095	16,685	18,275	19,865	21,455	23,046	24,636	26,226	27,816
	16,685	18,275	19,865	21,455	23,046	24,636	26,226	27,816	29,422

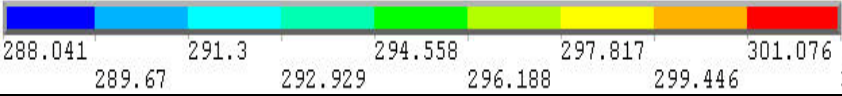
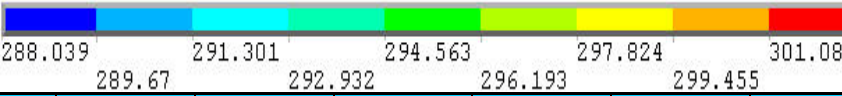
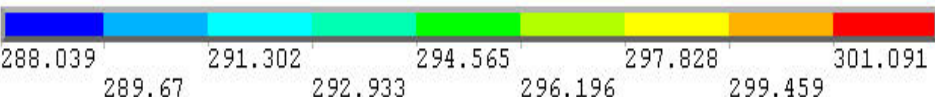
EK-9

									
2-DBK-100 KELVIN	288.054	289.671	291.288	292.905	294.522	296.139	297.756	299.373	300.990
	289.671	291.288	292.905	294.522	296.139	297.756	299.373	300.990	302.617
2-DBK-100 °C	15.054	16.671	18.288	19.905	21.522	23.139	24.756	26.373	27.990
	16.671	18.288	19.905	21.522	23.139	24.756	26.373	27.990	29.617
									
2-DD-100 KELVIN	288,039	289,670	291,301	292,932	294,564	296,195	297,826	299,457	300,088
	289,670	291,301	292,932	294,564	296,195	297,826	299,457	301,088	302,726
2-DD-100 °C	15,039	16,670	18,301	19,932	21,564	23,195	24,826	26,457	27,088
	16,670	18,301	19,932	21,564	23,195	24,826	26,457	28,088	29,726
									
2-PD-100 KELVIN	288,036	289,670	291,304	292,937	294,571	296,205	297,838	299,472	300,105
	289,670	291,304	292,937	294,571	296,205	297,838	299,472	301,105	302,749
2-PD-100 °C	15,036	16,670	18,304	19,937	21,571	23,205	24,838	26,472	27,105
	16,670	18,304	19,937	21,571	23,205	24,838	26,472	28,105	29,749

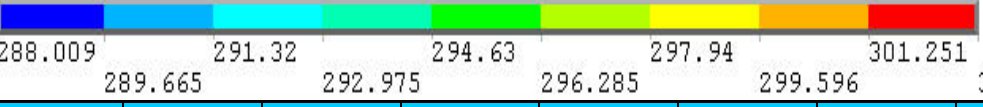
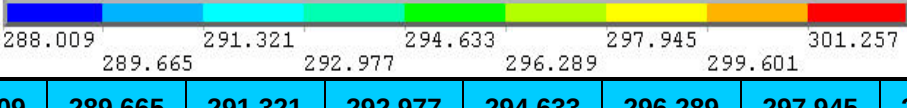
EK-10

									
2-DB-20DK-100 KELVİN	288,042	289,670	291,299	292,927	294,555	296,183	297,812	299,440	300,068
	289,670	291,299	292,927	294,555	296,183	297,812	299,440	300,068	302,696
2-DB-20DK-100 °C	15,042	16,670	18,299	19,927	21,555	23,183	24,812	26,440	27,068
	16,670	18,299	19,927	21,555	23,183	24,812	26,440	27,068	29,696
									
2-DB-30DK-100 KELVİN	288,040	289,670	291,300	292,930	294,559	296,189	297,819	299,449	300,078
	289,670	291,300	292,930	294,559	296,189	297,819	299,449	300,078	302,718
2-DB-30DK-100 °C	15,040	16,670	18,300	19,930	21,559	23,189	24,819	26,449	27,078
	16,670	18,300	19,930	21,559	23,189	24,819	26,449	27,078	29,718
									
2-DB-40DK-100 KELVİN	288,037	289,670	291,303	292,935	294,568	296,200	297,833	299,465	301,098
	289,670	291,303	292,935	294,568	296,200	297,833	299,465	301,098	302,731
2-DB-40DK-100 °C	15,037	16,670	18,303	19,935	21,568	23,200	24,833	26,465	28,098
	16,670	18,303	19,935	21,568	23,200	24,833	26,465	28,098	29,731

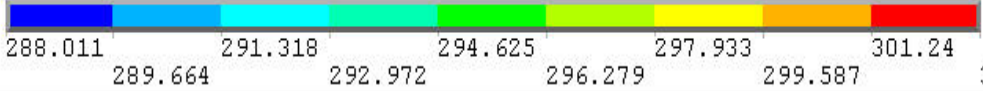
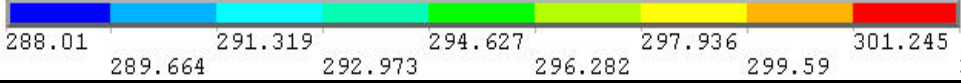
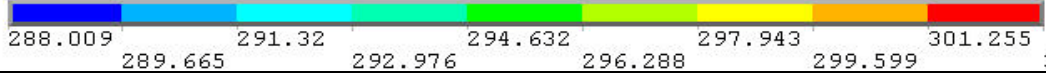
EK-11

									
2-DB-20PK-100 KELVIN	288,041	289,670	291,300	292,929	294,558	296,188	297,817	299,446	300,076
	289,670	291,300	292,929	294,558	296,188	297,817	299,446	301,076	302,705
2-DB-20PK-100 °C	15,041	16,670	18,300	19,929	21,558	23,188	24,817	26,446	27,076
	16,670	18,300	19,929	21,558	23,188	24,817	26,446	28,076	29,705
									
2-DB-25PK-100 KELVIN	288,039	289,670	291,301	292,932	294,563	296,193	297,824	299,455	301,086
	289,670	291,301	292,932	294,563	296,193	297,824	299,455	301,086	302,717
2-DB-25PK-100 °C	15,039	16,670	18,301	19,932	21,563	23,193	24,824	26,455	28,086
	16,670	18,301	19,932	21,563	23,193	24,824	26,455	28,086	29,717
									
2-DB-30PK-100 KELVIN	288,039	289,670	291,302	292,933	294,565	296,196	297,828	299,459	301,091
	289,670	291,302	292,933	294,565	296,196	297,828	299,459	301,091	302,728
2-DB-30PK-100 °C	15,039	16,670	18,302	19,933	21,565	23,196	24,828	26,459	28,091
	16,670	18,302	19,933	21,565	23,196	24,828	26,459	28,091	29,728

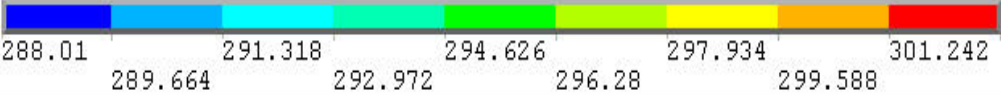
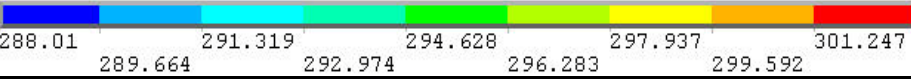
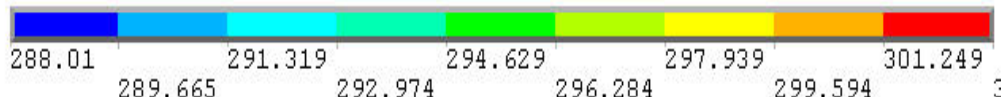
EK-12

									
3-DBK-100 KELVIN	288.014	289.663	291.313	292.962	294.611	296.260	297.910	299.559	301.208
	289.663	291.313	292.962	294.611	296.260	297.910	299.559	301.208	302.854
3-DBK-100 °C	15.014	16.663	18.313	19.962	21.611	23.260	24.910	26.559	28.208
	16.663	18.313	19.962	21.611	23.260	24.910	26.559	28.208	29.854
									
3-DD-100 KELVIN	288,009	289,665	291,320	292,975	294,630	296,285	297,940	299,596	301,251
	289,665	291,320	292,975	294,630	296,285	297,940	299,596	301,251	302,904
3-DD-100 °C	15,009	16,665	18,320	19,975	21,630	23,285	24,940	26,596	28,251
	16,665	18,320	19,975	21,630	23,285	24,940	26,596	28,251	29,904
									
3-PD-100 KELVIN	288,009	289,665	291,321	292,977	294,633	296,289	297,945	299,601	300,257
	289,665	291,321	292,977	294,633	296,289	297,945	299,601	301,257	302,913
3-PD-100 °C	15,009	16,665	18,321	19,977	21,633	23,289	24,945	26,601	27,257
	16,665	18,321	19,977	21,633	23,289	24,945	26,601	28,257	29,913

EK-13

									
3-DB-20DK-100 KELVIN	288,011	289,664	291,318	292,972	294,625	296,279	297,933	299,587	301,240
	289,664	291,318	292,972	294,625	296,279	297,933	299,587	301,240	302,892
3-DB-20DK-100 °C	15,011	16,664	18,318	19,972	21,625	23,279	24,933	26,587	28,240
	16,664	18,318	19,972	21,625	23,279	24,933	26,587	28,240	29,892
									
3-DB-30DK-100 KELVIN	288,010	289,664	291,319	292,973	294,627	296,282	297,936	299,590	301,245
	289,664	291,319	292,973	294,627	296,282	297,936	299,590	301,245	302,899
3-DB-30DK-100 °C	15,010	16,664	18,319	19,973	21,627	23,282	24,936	26,590	28,245
	16,664	18,319	19,973	21,627	23,282	24,936	26,590	28,245	29,899
									
3-DB-40DK-100 KELVIN	288,009	289,665	291,320	292,976	294,632	296,288	297,943	299,599	301,255
	289,665	291,320	292,976	294,632	296,288	297,943	299,599	301,255	302,911
3-DB-40DK-100 °C	15,009	16,665	18,320	19,976	21,632	23,288	24,943	26,599	28,255
	16,665	18,320	19,976	21,632	23,288	24,943	26,599	28,255	29,911

EK-14

									
3-DB-20PK-100 KELVIN	288,010	289,664	291,318	292,972	294,626	296,280	297,934	299,588	300,242
	289,664	291,318	292,972	294,626	296,280	297,934	299,588	301,242	302,897
3-DB-20PK-100 °C	15,010	16,664	18,318	19,972	21,626	23,280	24,934	26,588	27,242
	16,664	18,318	19,972	21,626	23,280	24,934	26,588	28,242	29,897
									
3-DB-25PK-100 KELVIN	288,010	289,664	291,319	292,974	294,628	296,283	297,937	299,592	301,247
	289,664	291,319	292,974	294,628	296,283	297,937	299,592	301,247	302,901
3-DB-25PK-100 °C	15,010	16,664	18,319	19,974	21,628	23,283	24,937	26,592	28,247
	16,664	18,319	19,974	21,628	23,283	24,937	26,592	28,247	29,901
									
3-DB-30PK-100 KELVIN	288,010	289,665	291,319	292,974	294,629	296,284	297,939	299,594	301,249
	289,665	291,319	292,974	294,629	296,284	297,939	299,594	301,249	302,902
3-DB-30PK-100 °C	15,010	16,665	18,319	19,974	21,629	23,284	24,939	26,594	28,249
	16,665	18,319	19,974	21,629	23,284	24,939	26,594	28,249	29,902