



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YALITIM ÖZELLİĞİ YÜKSEK YAPI
MALZEMELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Hasan OKTAY

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Kasım-2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Hasan OKTAY tarafından hazırlanan “Yalıtım Özelliği Yüksek Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi ve Isıl Performanslarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 27/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

İkinci Danışman

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

Danışman

Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

Üye

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

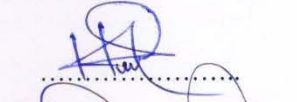
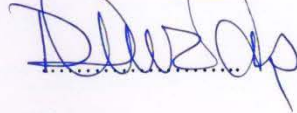
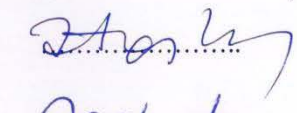
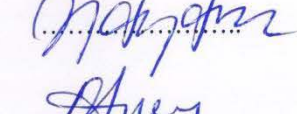
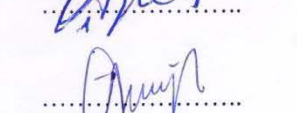

Üye

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

Üye

Yrd. Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

İmza


.....

.....

.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

FBE Müdürü



Bu tez çalışması BAP tarafından BTÜBAP-2017-Doktora-1 nolu proje ile ve TUBİTAK tarafından 2211C öncelikli alanlara yönelik doktora burs programı kapsamında desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Hasan OKTAY
Tarih/ 27.11.2017

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YALITIM ÖZELLİĞİ YÜKSEK YAPI MALZEMELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Hasan OKTAY

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

2017, 256 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

Yrd. Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Binaların ısıtılması ve soğutulmasında harcanan enerji ile birlikte artan endişeler, bina yapılarının ısı performanslarının iyileştirilmesine yönelik bir talebin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Binalarda uygulanacak yalıtım malzemesi, sağlayacağı ekonomik faydanın yanı sıra çevre kirliliğine etkisi ve binanın yangın yalıtımına katkısı gibi hususlarda dikkate alınarak seçilmelidir. Bununla birlikte ülkemizde yaygın olarak kullanılan çoğunluğu petrol ürünü ve yanıcı olan strafor ve poliüretan gibi yalıtım ürünlerine muadil olabilecek ve ülkemizin kaynaklarını kullanarak elde edilecek ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, binalarda enerji verimliliğinin yüksek olması ve enerji israfının yapılmaması için, yalıtım malzemelerin kullanılmasının yanında, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması da önemli bir etkidir. Bu sayede olması gereken kapasitelerden daha büyük kapasitelerde cihaz seçilmeyerek enerji israfının önüne geçilecektir.

Bu çalışmada bahsedilen ihtiyaçlara cevap verebilecek perlit ve bor gibi ülkemizin kaynak bakımından büyük rezervlere sahip olduğu malzemelerle, dayanım, ısı, ses ve yangın yalıtımı yüksek olan yalıtım malzemelerinin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefi gerçekleştirmek amacıyla birçok deneysel ve teorik araştırmalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılacak çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiş olup şu şekilde özetlenebilir;

1. Literatürden farklı olarak yüksek mukavemet, ısı ve ses yalıtımı daha iyi olan yeni yalıtım malzemesi, duvar ve beton tipleri üretmek için farklı katkı maddeleri ve bunların farklı oranlarda karıştırılması ile ısı iletkenlik katsayısı taşıyıcı beton için ısı iletkenlik katsayısının 1 W/mK 'in altında olduğu ($\lambda \leq 1 \text{ W/mK}$), duvar için ısı iletkenlik katsayısının 0.2 W/mK 'in altında olduğu ($\lambda \leq 0.2 \text{ W/mK}$) ve dış cephe mantolamada kullanılacak yalıtım malzemeleri için ısı iletim katsayısının 0.05 W/mK 'nin altında olduğu ($\lambda \leq 0.05 \text{ W/mK}$) çok sayıda numune üretilmiştir,

2. Üretim yöntemleri uygulamalı bir şekilde yapılarak, üretilen yalıtım, duvar ve beton numunelerinin üretim şekilleri, içerikleri, oranları ve özellikleri ile termofiziksel ve mekanik özelliklerin birbiriyle olan değişimini veren grafik ve denklemlerin elde edilerek literatüre kazandırılmıştır,

3. Binaların ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerini doğru bir şekilde hesaplamak ve aynı zamanda termofiziksel özelliklerin bina yapılarının ısı kazancına ve ısı performanslarına olan etkisini incelemek amacıyla, Kompleks Sonlu Fourier dönüşümü (Complex Finite Fourier Transform, CFFT) tekniğinin uygulanması için MATLAB tabanlı ve arayüzlü bir paket program hazırlanmış ve bu program kullanılarak halihazırda üretilen numuneler ile piyasada yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin aynı iklimik şartlarda ısı kayıp ve kazançları karşılaştırılmıştır.

Böylece ısı performansları (ısı kazancı) Türkiye’de yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerine yakın, üstün mekanik özellik ve yangın direncine sahip, içerdiği bileşenler bakımından maliyeti düşük ve işçiliği kolay olan perlit esaslı yalıtım malzemelerinin endüstride ve inşaat sektöründe kullanılması ile hem ülkemizin enerji israfı ve dışa bağımlılığı azalacak hem de yangın oluşumundan kaynaklanan can ve mal kayıpları en aza inecektir.

Anahtar Kelimeler: Beton, enerji verimli binalar, ısı kazancı, ısı yalıtımı, perlit, ses yalıtımı, yalıtım malzemesi, yangın yalıtımı.



ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

DEVELOPMENT OF STRUCTURAL MATERIALS WITH HIGH INSULATION PROPERTIES AND INVESTIGATION OF THEIR THERMAL PERFORMANCES

Hasan OKTAY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

2017, 256 Pages

Jury

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

Yrd. Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

The growing concern about energy consumption of heating and cooling of buildings has led to a demand for improved thermal performances of building structures. The insulation material applied to the buildings should be selected by taking into consideration the economic and the environmental benefit as well as contribution to the building's fireproofing. However, in our country, the majority of the widespread use is likely to be equivalent to insulation products such as petroleum products and inflammable styrofoam and polyurethane, and products that are to be obtained using the resources of our country are needed. However, in addition to the use of insulation materials, the correct calculation of the capacities of the heating and cooling systems is also an important factor in ensuring that energy efficiency is high in buildings and that energy is not wasted. The devices will not be selected at the capacities larger than the capacities that should be on this point and energy wastage will be prevented.

In this study, it is aimed to produce insulating materials with high material, strength, heat, sound and fire insulation which have great reserves in terms of source such as perlite and boron which can meet the needs mentioned in this study. Many experimental and theoretical investigations have been carried out to achieve this goal. The studies to be carried out in this thesis have been carried out in three stages and can be summarized as follows;

1. Unlike the literature, the thermal conductivity of a new insulation material, which has better heat resistance and sound insulation, different additive materials to produce wall and concrete types and their coefficient of thermal conductivity with different ratios are lower than 1 W/mK, the coefficient of thermal conductivity for the wall is less than 0.2 W/mK and the coefficient of thermal conductivity for insulation materials is less than 0.05 W/mK a large number of samples were produced,

2. The production methods are applied in a practical way and the literature, walls and concrete specimens of the production forms, contents, ratios and properties of the produced samples and thermophysical and mechanical properties are obtained,

3. A MATLAB-based and interfaced package program for the application of the Complex Finite Fourier Transform (CFFT) technique were prepared in order to accurately calculate the capacities

of heating and cooling systems of buildings and to examine the effect of thermophysical properties on heat gain and thermal performances of buildings. By the way, the heat losses and gains of building materials commonly used in the market have been compared in the same climatic conditions by using this program.

Consequently, with the use of perlite-based insulation materials, which are close to insulation materials commonly used in Turkey, which have superior mechanical properties and fire resistance, low cost and low labor costs, and which are used in industrial and construction sectors, both our country's energy expenditure and external the dependence will be reduced and the loss of life and property caused by the fire will be minimized.

Keywords: Concrete, energy efficient buildings, heat gain, thermal insulation, perlite, sound insulation, insulation material, fire insulation.



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hocam Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN'a bu çalışmanın, konusunu öneren ve çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübesini esirgmeden, akademik çalışma sistematığını dikte eden, yapıcı eleştirileri ile yönlendiren, her türlü imkanı sağlayarak desteğini esirgemeyen ve sabırla bana yardımcı olan ikinci danışmanım Sayın Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ hocama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde yer alarak, çalışmamda değerlendirmeleri ve yönlendirmeleri ile bana destek veren Sayın Doç. Dr. Hüseyin AYDIN, ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA ve tez jürisi olarak beni şerefliendiren Prof. Dr. Hüsametdin BULUT ve Yrd. Doç Dr Atilla G. Devecioğlu hocama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince her türlü teknik destek veren ve numunelerin testlerinde, üretilmesinde, yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Yrd Doç Dr M. Zerrakki IŞIK, Sayın Yrd Doç Dr Hasan SAYGILI ve Arş. Gör. Dr. Tolga TOPKAYA hocama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Isıl özelliklerinin belirlenmesi deneyi için her türlü imkanı sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Doç.Dr. Mustafa AYHAN'a teşekkürü borç bilirim. Buna ek olarak, çalışmalarımızda kullandığımız; Perlit için İnper Perlit İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne, Sodyum metil silikonat için Korona Group Kimya İthalat İhracat Ltd. Şti.'ne, selüloz fiberleri için Essel Selüloz ve Kağıt Sanayi Ticaret A.Ş.'ne, Silikatlar için Egekimya ve Özkimsan A.Ş.'ne, Feldispat ve Kuvarsa için Matel Hammadde San. Tic. A.Ş.'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Sabırla her işimde bana yardıma koşan bütün arkadaşlarıma saygı ve şükranlarımı sunuyorum. Çalışmanın her anında sabırla benimle birlikte olduğu için aileme şükranlarımı sunacak doğru ifadeleri bulamadım.

Bu çalışma Tübitak 2211c öncelikli alanlar projesi kapsamında 1649B031501706 başvuru numarası ile desteklenmiştir.

Hasan OKTAY
BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xx
2. YAPILARDA UYGULANAN YALITIM SİSTEMLERİ VE GÜNÜMÜZDE YALITIM	8
2.1. Yalıtım Teknikleri.....	8
2.1.1. Isı yalıtımı	8
2.1.1.1. İletim	9
2.1.1.1.1. Isıl iletkenlik.....	11
2.1.1.1.2. Özgül ısı	12
2.1.1.1.3 Isıl yayılım	12
2.1.1.2. Taşınım	13
2.1.1.3. Işınım	15
2.1.2. Yangın yalıtımı	17
2.1.3. Su yalıtımı.....	19
2.1.4. Ses yalıtımı	19
2.2. Isı Yalıtım ve Günümüz Isı Yalıtım Malzemeleri	21
2.2.1. Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri	22
2.2.1.1. Cam yünü	22
2.2.1.2 Taş yünü.....	23
2.2.1.3 Poliüretan	24
2.2.1.4 Genleştirilmiş polistiren (EPS) ve ekstrude polistiren (XPS).....	25
2.3. Türkiye ve Dünyada yalıtım	27
3. AGREGA ESASLI KOMPOZİT YAPI MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ	30
3.1. Matris veya Bağlayıcılar (Yapıştırıcılar)	31
3.1.1. Organik bazlı yapıştırıcılar	31
3.1.2. İnorganik bazlı yapıştırıcılar	33
3.1.2.1. Çözülebilir silikatlar:	34
3.2. Beton ve Özellikleri	38
3.2.1. Beton üretiminde kullanılan malzemeler	41
3.2.1.1. Çimento.....	41
3.2.1.2. Su	41
3.2.1.3. Fiberler	41
3.2.1.4. Agregalar	42
3.2.1.4.1. Agregaların fiziksel özellikleri.....	43
3.2.1.4.1.1. Gözeneklilik	43
3.2.1.4.1.2. Su emme özelliği ve nem miktarı.....	44

3.2.1.4.1.3. Yoğunluk.....	45
3.2.1.4.1.4. Mutlak yoğunluk	45
3.2.1.4.1.5. Bağlı yoğunluk (Özgül ağırlık)	45
3.2.1.4.1.6. Yığınsal yoğunluk	46
3.2.1.4.1.7. Birim ağırlık	46
3.2.1.4.1.8. Parçacık şekli	46
3.2.1.3.1.9. Parçacık yüzey dokusu	47
3.2.1.4.1.10. Gradasyon	48
3.2.1.4.1.11. İncelik modülü	50
3.2.1.4.1.12. Dayanım	50
3.2.1.5. Beton katkıları.....	51
3.2.1.5.1. Mineral katkılar.....	51
3.2.1.5.2. Kimyasal katkı maddeleri.....	51
3.2.2. Betonun mekanik özellikleri	52
3.2.2.1. İşlenebilirlik	52
3.2.2.2. Dayanım (mukavemet) ve yığınsal yoğunluk	53
3.2.2.3. Su emme özelliği	54
3.2.2.4. Betonun ısı özellikleri.....	54
3.2.2.4.1. Isıl iletkenlik.....	54
3.2.2.4.2. Özgül ısı	55
3.2.2.4.3. Isıl yayılım	55
4. BİNA YAPISININ ISIL DENGESİ.....	56
4.1. Isı Kazancı ve Soğutma Yüğü	56
4.1.1. Soğutma yüğü hesaplama yöntemleri	59
4.1.2. Çeşitli hesaplama yöntemlerinin güvenilirliği ve doğruluğu.....	61
4.1.3. Tasarım bilgileri.....	61
4.1.3.1. Dış mekan tasarım koşulları	61
4.1.3.2. İç mekan tasarım koşulları.....	62
4.1.3.3. Yapı özellikleri	62
4.1.3.4. Çalışma saatleri.....	62
4.1.3.5. Hususlar ve varsayımlar.....	63
5. KAYNAK ARAŞTIRMASI	64
5.1. Hafif Betonlarla İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar	64
5.2. Hafif Agregaya Esaslı Yalıtım Malzemeleri İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar:.....	67
5.3. Isı Kazancı ve Soğutma Yüğü Hesaplama Yöntemleri ve Uygulamaları.....	67
6. MALZEME VE YÖNTEM-I.....	69
6.1. Hafif Betonu Oluşturan Malzemeler.....	69
6.1.1. Agregalar:	69
6.1.1.1. Perlit.....	69
6.1.1.2. Pomza.....	71
6.1.1.3. Atık lastik:.....	73
6.1.2. Çimento.....	74
6.1.3. Su ve katkı maddeleri	75
6.1.3.1. Su	75
6.1.3.2. Hava sürükleyici ve hiper akışkanlaştırıcı	75
6.1.3.3. Mikrosilika (silis dumanı).....	77

6.2. Hafif Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi ve Numune Hazırlanışı:	78
6.2.1 Agregası seçimi	78
6.2.1.1. Agregası gradasyonu ve fiziksel özellikleri	79
6.2.1.1.1. Tel sepet yöntemi:	81
6.2.1.1.2. Taşıma yöntemi:	81
6.2.2. Hafif beton karışımlarının hazırlanması:	83
6.3. Hafif Beton Numunelere Uygulanan Testler:	90
6.3.1. Taze betonlara uygulanan testler:	90
6.3.1.1. Taze beton birim ağırlığı belirleme deneyi	90
6.3.1.2. Taze Beton Çökme (Slump) Deneyi	90
6.3.2. Sertleşmiş betona uygulanan deneyler	91
6.3.2.1. Tek eksenli küp basınç dayanım testi	91
6.3.2.2. Yarıda çekme dayanım testi:	92
6.3.2.3. Yıgımsal yoğunluk, su emme ve gözeneklilik	92
6.3.2.4. Ultrasonik ses geçiş hızı testi	94
6.3.2.5. Isıl iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı	95
7. MALZEME VE YÖNTEM-II	97
7.1. Agregası esaslı yalıtım kompozitini oluşturan malzemeler:	97
7.1.1. Agregalar	97
7.1.2.1. Mika	98
7.1.2.2. Feldispat	99
7.1.2.3. Kuvars	99
7.1.2.4. Mikrosilika (silis dumanı)	101
7.1.3. Yapıştırıcılar (bağlayıcı veya matris)	101
7.1.3.1. Silikatlar	101
7.1.3.2. Kaolin	102
7.1.3.3. Sodyum hidroksit	103
7.1.3.4. Polivinil alkol	104
7.1.3.5. Sodyum karboksimetil selüloz	104
7.1.3.6. Trisodyum fosfat	105
7.1.3.7. Çimento	105
7.1.4. Fiberler	105
7.1.4.1. Selüloz	106
7.1.4.2. Cam fiber (elyaf)	107
7.1.4.3. Bazalt fiber (elyaf)	108
7.1.4.4. Karbon fiber (elyaf)	110
7.1.5. Sertleştiriciler	111
7.1.5.1. Sodyum klorür	112
7.1.5.2. Kalsiyum klorür	112
7.1.5.3. Asetik Asit	113
7.1.5.4. Fosforik asit	114
7.1.5.5. Formamid	115
7.1.5.6. Alüminyum sülfat	115
7.1.5.7. Alüminyum hidroksit	116
7.1.5.8. Kolemanit	117
7.1.5.9. Borik asit	117
7.1.5.10. Sodyum tetraborat	118
7.1.5.11. Hidrojen peroksit	118

7.1.5.12. Çinko oksit.....	119
7.1.5.13. Magnezyum oksit.....	120
7.1.5.14. Magnezyum karbonat	120
7.1.5.15. CO ₂ gazı.....	121
7.1.6. Yüzey aktifleştiriciler (köpürtme ajanı):.....	121
7.1.6.1. Sodyum karbonat (yıkamış soda)	121
7.1.6.2. Sodyum bikarbonat.....	122
7.1.7. Diğer katkıları	123
7.1.7.1. Magnezyum stearat	123
7.1.7.2. Krom (III) oksit (yeşil)	124
7.1.7.3. Aktif karbon.....	124
7.1.7.4. Sodyum metil silikonat	124
7.1.7.5. Akışkanlaştırıcı (Dispersant)	125
7.2. Yalıtım Malzemesinin Karışım Oranlarının Belirlenmesi ve Hazırlanışı	127
7.2.1. Agrega gradasyonu, gevşek yoğunluğu ve karışımda kullanım miktarları..	127
7.2.1.1. Karma agrega gradasyonu	128
7.2.1.2. İnce agrega gradasyonu	130
7.2.2. Numunelerin üretilmesi	131
7.2.3. Karışım hazırlanma.....	132
7.2.4. Şekillendirme	135
7.2.5. Kurutma	137
7.2.6. Kütleme	139
7.3. Yalıtım Malzemelerine Uygulanan Testler:	142
7.3.1. Tek eksenli küp basınç dayanım testi:	142
7.3.2. Üç nokta eğme dayanım testi (kırılma modülü testi):.....	143
7.3.3. Kuru yığinsel yoğunluk testi.....	144
7.3.4. Su emme kapasitesi testi	144
7.3.5. Boyut küçülme miktarı ölçümü testi (Rötre testi)	145
7.3.6. Ultrasonik ses geçiş hızı testi.....	147
7.3.7. Isıl iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı testi	147
7.3.8. Yanmazlık ve tutuşmazlık testi.....	148
7.3.9. Malzeme karakterizasyon testleri	149
8. ISI TRANSFER PROBLEMİNİN FORMÜLASYONU.....	151
8.1. Geçici Isı Transferi Probleminin Çözümü	151
8.2. Güneş Işınım Şiddeti.....	155
8.2.1. Terim Tanımları	155
8.2.1.1. Güneş Sabiti.....	155
8.2.1.2. Yeryüzüne gelen ışınım	155
8.2.1.3. Güneş saati	156
8.2.1.4. Doğrudan (beam) ışınımın yönü	156
8.2.2. Eğik ve yatay yüzeydeki güneş ışınımının hesaplanması	158
8.3. İklim Verileri	159
9. BİLGİSAYAR PROGRAMI	164
9.1. Programın Hazırlanması ve Giriş Parametreleri	164
9.2. GUI hazırlanması	167
10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	169

10.1. Hafif Beton Numunelerinin Özellikleri	169
10.1.1. Taze beton özellikleri:	170
10.1.2. Sertleşmiş beton özellikleri.....	171
10.1.2.1. Mekanik özellik test sonuçları	172
10.1.2.2. Isıl özellik test sonuçları.....	182
10.2. Agregasız Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri	184
10.2.1. Mekanik özellik test sonuçları	185
10.2.2. Isıl özellik test sonuçları	193
10.3. Analitik analizler:	197
10.4.1. Boyut küçülme miktarı (Rötre) test sonuçları.....	201
10.4.2. Yanmazlık ve tutuşmazlık testi.....	203
10.4.3. Malzeme karakterizasyonu	206
10.5. Çok Katmanlı Duvar ve Tavan Tiplerinin Isıl Performans Sonuçları	210
10.5.1. Üretilen beton ve hafif betonların ısı performanslarının karşılaştırılması:	212
10.5.2. Üretilen perlit esaslı yalıtım malzemelerinin ısı performanslarının karşılaştırılması.....	222
11. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	233
KAYNAKLAR	243
ÖZGEÇMİŞ	256

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	Isı yayılım katsayısı (m^2/s)
c	Özgül ısı ($kJ/kg K$)
h_i	İç yüzey ile ortam arasındaki birleşik ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)
h_o	Dış yüzey ile ortam arasındaki birleşik ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)
I_T	Güneş ışınımı şiddeti (W/m^2)
I_{bT}	Doğrusal ışınım (W/m^2)
I_{dT}	Yaygın ışınım (W/m^2)
I_{rT}	Yansıtılan ışınımın (W/m^2)
L	Kalınlık (m)
L_{st}	Yerel saat dilimi
R_b	Doğrudan güneş ışınımı eğim faktörü
m	Su emme kapasitesi (%)
t	Zaman (s)
Q	Isı kazancı (W/m^2)
T_o	Dış hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_e	Güneş-hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_r	İç hava tasarım sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Yunanca Semboller

α	Isı yayılım katsayısı (m^2/s)
α_s	Güneş ışınımı yutma katsayısı
β	Eğim açısı
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
ρ_g	Yeryüzü yansımaya katsayısı
ϕ	Enlem açısı
ω	Saat açısı
λ	Isıl iletkenlik katsayısı ($W/m K$)
θ_z	Zenit açısı
γ	Yüzey azimut açısı
η_s	Sıkıştırma katsayısı
γ_s	Güneş azimut açısı
δ	Sapma açısı
τ	Boyutsuz zaman

Kısaltmalar

ALA	Atık lastik agregası
CFFT	Kompleks Sonlu Fourier dönüşümü
CLTD	Soğutma yükü sıcaklık farkı (°C)
EPS	Expanded Polistiren
i	İç
j	Terim sayısı
GPA	Genleştirilmiş perlit agregası
GPB	Genleştirilmiş perlit betonu
LB	Lastik beton
n	Katman sayısı
N	Son katman sayısı
NB	Normal beton
o	Dış
PA	Pomza agregası
PB	Pomza betonu
RTS	Işınım Zaman Serisi (W/m ²)
TETD	Toplam eşdeğer sıcaklık farkı (°C)
XPS	Extruded Polistiren
YM	Yalıtım malzemesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Bir binada oluşan ısı kayıpları (Arısoy, 2017)	2
Şekil 2.1. Isının yayılma yolları.....	9
Şekli 2.2. Bir duvardan geçen ısı transferi.....	10
Şekil 2.3. Cam yünü	22
Şekil 2.4. Taş yünü	24
Şekil 2.5. Poliüretan.....	25
Şekil 2.6. Genleştirilmiş polistren	26
Şekil 3.1. Kompozit malzemelerde fiberle güçlendirme şekilleri (Gay, 2014).....	31
Şekil 3.2. Cam suyu da olarak bilinen sodyum silikatın katı haldeki görünümü (CEES, 2004).....	34
Şekil 3.3. Silikatların soda külü kullanılarak üretimi	35
Şekil 3.4. Silikatların hidroksitli soda kullanılarak üretimi.....	36
Şekil 3.5. Beton üretiminde kullanılan beton bileşenleri (Kosmatka ve ark., 2002).....	39
Şekil 3.6. Hafif betonların sınıflandırılması (Kosmatka ve ark., 2002)	40
Şekil 3.7. Agregaların nem durumu (Alexander ve Mindess, 2010).....	44
Şekil 3.8. Parçacık şekillerinin gösterimleri (Alexander ve Mindess, 2010)	47
Şekil 3.9. Agregada gradasyonunun şematik gösterimleri (Alexander ve Mindess, 2010).....	49
Şekil 3.10. Beton içinde kullanım için parçacık halinde bulunan agregada boyut aralığı. (Kosmatka ve ark., 2002).....	49
Şekil 4.1. Isıl yük aktarım şeması.....	57
Şekil 4.2. Soğutma yükü kaynakları (Spitler ve ark., 1993).....	58
Şekil 6.1. Genleştirilmiş perlit.....	70
Şekil 6.2. Pomzanın kayaç olarak genel görünümü (Bekaroğlu, 2012).....	72
Şekil 6.3. Atık lastik parçaları	74
Şekil 6.4. Silis dumanı (mikro silika).....	77
Şekil 6.5. Tüm beton numunelerinde kullanılan agregada gradasyonu	80
Şekil 6.6. Taşıma yöntemi.....	82
Şekil 6.7. Küp numunelerin hazırlanması ve yağlanması	88
Şekil 6.8. Silindirik numunelerin hazırlanması ve yağlanması	88
Şekil 6.9. Numunelerin kalıplara doldurulması.....	89
Şekil 6.10. Numunelerin kür havuzuna yerleştirilmesi	89
Şekil 6.11. Şekil Çökme testi.....	91
Şekil 6.12. Tek eksenli basınç dayanımı testi: (a) testin yapılışı (b) değerin okunması	92
Şekil 6.13. Yarmada çekme deneyi	92
Şekil 6.14. Arşimet prensibi	93
Şekil 6.15. Ultrasonik ses geçiş hızı tayini.....	95
Şekil 6.16. Isıl özellikler tespit cihazı.....	96
Şekil 7.1 Pul mikanın görünümü	99
Şekil 7.2. Kuvars kumunun (a) ve feldispat kayacının (b) genel görünümü	100
Şekil 7.3. Çalışmada kullanılan selüloz fiber tabakaları	107
Şekil 7.4. Cam fiber.....	108
Şekil 7.5. Bazalt fiber	109
Şekil 7.6. Karbon fiber	111
Şekil 7.7. Silikon sıvısının malzemede su engelleyici özelliği.....	125
Şekil 7.8. Karma perlit agregasının gradasyon eğrisi.....	129
Şekil 7.9. Karma perlit agregasının %5 atık lastik agregası ile gradasyon eğrisi.....	129
Şekil 7.10. Karma perlit agregasının %5 pomza agregası ile gradasyon eğrisi.....	130

Şekil 7.11. İnce perlit agregasının gradasyon eğrisi.....	131
Şekil 7.12. Fiberlerin eleklerle ayrıştırılması; soldaki fiberlerin ilk bütün hali, sağdaki eleklerle ayrılmış hali	134
Şekil 7.13. Silikat bağlayıcıların su ile karıştırılması.....	134
Şekil 7.14. Karışımların kalıplara doldurulması.....	135
Şekil 7.15. Karışımların kalıplarda şekillendirilmesi	136
Şekil 7.16. CO ₂ gazı ile sertleştirme.....	137
Şekil 7.17. Kalıpların delikli kapakla kapatılması.....	137
Şekil 7.18. Numunelerin kalıpta bekletilmesi	138
Şekil 7.19. Numunelerin kalıptan çıkarılması	138
Şekil 7.20. Numunelerin etüvde kurutulması ve kürlenmesi.....	138
Şekil 7.21. Üretilen numunelerin genel görünümü.....	141
Şekil 7.22. Küp basınç dayanımı deneyi	142
Şekil 7.23. Üç nokta eğme dayanım deneyi	143
Şekil 7.24. Numunelerin kür havuzu içerisine yerleştirilmesi.....	145
Şekil 7.25. Rötire testi için kullanılan fırın.....	146
Şekil 7.26. Ultrasonik ses hızı tespiti	147
Şekil 7.27. Isıl özelliklerin tespit edilmesi	148
Şekil 7.28. Yanmazlık testi.....	148
Şekil 7.29. Taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL JSM 7001F) cihazı	149
Şekil 7.30. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı (BET, Micromeritics-TriStar II Plus 3030) cihazı.....	150
Şekil 7.31. X-ışını difraktometre (Bruker D8 Advance) cihazı.....	150
Şekil 8.1. Çok katmanlı bina duvarlarının şematik gösterimi.	151
Şekil 8.2. Güneşin herhangi bir düzleme göre açılma pozisyonları.....	158
Şekil 8.3. Batman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi çatısında kurulu meteoroloji sistemi (39.79 enlem; 41.06 boylam).....	160
Şekil 8.4. Kipp&Zonen CM11 piranometre yapısı (Anonim, 20146).....	161
Şekil 8.5. Batman ili için 26 Temmuz günü saatlik yatay yüzeye gelen ışınım şiddeti ile sıcaklık değerleri.....	162
Şekil 8.6. Kullanılan dış duvar renkleri (Cheng ve Givoni, 2005).....	163
Şekil 9.1. Yatay ve düşey yüzeylerde güneş ışınım şiddetinin hesaplanması için geliştirilen algoritma (“T” bir gündeki saat).....	165
Şekil 9.2. Duvar ve tavanların saatlik iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile duvar ve tavadan gelen ısı kazançlarının hesaplanması için geliştirilen algoritma (“T _{iy} ” duvar ve tavan saatlik iç yüzey sıcaklığı, “Q” duvar ve tavadan gelen saatlik ısı kazancı).....	166
Şekil 9.3. GUI arabiriminin genel giriş modülü	168
Şekil 9.4. GUI arabiriminin kalınlık seçim modülü	168
Şekil 9.5. GUI arabiriminin seçim modülü; duvar yönü ve tavan açısı.....	168
Şekil 10.1. Hafif agrega içeriğinin taze betonda çökme ve yoğunluğa olan etkisi.....	171
Şekil 10.2. Genleştirilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregalarının, hafif betonların basınç dayanımına etkisi.	172
Şekil 10.3. NB ve GPB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi.	174
Şekil 10.4. NB ve PB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi... ..	175
Şekil 10.5. NB ve LB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi	175
Şekil 10.6. NB ve GPB-PB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi	176
Şekil 10.7. Genleştirilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregalarının, hafif betonların basınç dayanımına etkisi.	177

Şekil 10.8. Genleştirilmiş perlit agrega, pomza ve atık lastik agrega içeriğinin betonun kuru yoğunluğu üzerine etkisi.....	179
Şekil 10.9. Genleştirilmiş perlit agrega, pomza ve atık lastik agrega içeriğinin betonun doygun kuru yüzey yoğunluğu üzerine etkisi.....	179
Şekil 10.10. Hafif agrega içeriğinin betonun su emme kapasitesi üzerine etkisi.....	180
Şekil 10.11. Hafif agrega içeriğinin betonun gözenekliliği üzerine etkisi.....	181
Şekil 10.12. Hafif agrega içeriğinin betonun ultrasonik ses geçiş hızı üzerine etkisi.....	181
Şekil 10.13. Hafif agrega içeriğinin betonun ısı iletkenliği üzerine etkisi.....	182
Şekil 10.14. Hafif agrega içeriğinin betonun özgül ısı üzerine etkisi.....	183
Şekil 10.15. Hafif agrega içeriğinin betonun ısı yayılımı üzerine etkisi.....	184
Şekil 10.16. Üretilen yalıtım malzemelerinin basınç dayanımı değerleri.....	186
Şekil 10.17. Üretilen yalıtım malzemelerinin eğme dayanımı değerleri.....	187
Şekil 10.18. Fiper/perlit oranının yalıtım malzemesinin dayanım/yoğunluk oranına etkisi.....	189
Şekil 10.19. Üretilen yalıtım malzemelerinin yoğunluğunun değişimi.....	190
Şekil 10.20. Üretilen yalıtım malzemelerinin yüzde su emme kapasite değerleri.....	191
Şekil 10.21. Üretilen yalıtım malzemelerinin ultrasonik geçiş hızı değerleri.....	192
Şekil 10.22. Üretilen yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri.....	194
Şekil 10.23. Üretilen yalıtım malzemelerinin özgül ısı değerleri.....	195
Şekil 10.24. Üretilen yalıtım malzemelerinin ısı yayılım değerleri.....	196
Şekil 10.25. Üretilen numunelerin dayanım/ısı iletkenlik oranları.....	197
Şekil 10.26. Tüm üretilen numunelerin basınç dayanımı ve yoğunluk arasındaki ilişki.....	198
Şekil 10.27. Tüm üretilen numunelerin ısı iletkenlik ve yoğunluk arasındaki ilişki.....	199
Şekil 10.28. Tüm üretilen numunelerin özgül ısı ve yoğunluk arasındaki ilişki.....	200
Şekil 10.29. Tüm üretilen numunelerin ısı yayılım ve yoğunluk arasındaki ilişki.....	201
Şekil 10.30. Perlit esaslı yalıtım numunelerinin 5'er dakikalık yanma testi sonrası görünümleri.....	203
Şekil 10.31. İlk yüzey sıcaklığı 25 °C olan YM12 malzemesini 5. dakikadaki termal kamera görüntüleri:(a) ön yüzey (b) ön yüzey termal (c) arka yüzey d) arka yüzey termal.....	204
Şekil. 10.32. (a) YM2 ve (b) YM17' nin gözenek boyut dağılımları.....	208
Şekil. 10.33. (a) YM2 ve (b) YM17'nin SEM görüntüleri.....	209
Şekil. 10.34. YM2 ve YM17'nin XRD profilleri.....	210
Şekil 10.35. Çalışmada kullanılan duvar ve tavan tipleri.....	211
Şekil 10.36. Tüm yüzeylere gelen güneş ışınım şiddeti ve dış hava sıcaklığı.....	211
Şekil 10.37. GPB50 duvarının Doğu, Batı, Kuzey ve Güney yönlerine bağlı ısı kazanç değerleri.....	212
Şekil 10.38. Güneye dönük farklı renklere sahip duvarların ısı kazanç değerlerinin saatlik değişimini.....	213
Şekil 10.39. Güney yönüne dönük NB ve GPB duvarların ısı kazançlarının değişimi.....	214
Şekil 10.40. Güney yönüne dönük NB ve GPB düz tavanların ısı kazançlarının değişimi.....	214
Şekil 10.41. Güney yönüne dönük NB ve PB duvarların ısı kazançlarının değişimi.....	215
Şekil 10.42. Güney yönüne dönük NB ve GPB düz tavanların ısı kazançlarının değişimi.....	215
Şekil 10.43 Güney yönüne dönük NB ve LB duvarların ısı kazançlarının değişimi.....	216
Şekil 10.44. Güney yönüne dönük NB ve GPB düz tavanların ısı kazançlarının değişimi.....	217
Şekil 10.45. Güney yönüne dönük bazı duvarların ısı kazançlarının değişimi.....	218

Şekil 10.46. Güney yönüne dönük bazı düz tavanların ısı kazançlarının değişimi	218
Şekil 10.47. Güney yönüne dönük bazı duvarların günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri	219
Şekil 10.48. Güney yönüne dönük bazı düz tavanların günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri	219
Şekil 10.49. Güney yönüne dönük bazı yapısal duvarların ısı kazançlarının değişimi	220
Şekil 10.50. Güney yönüne dönük bazı düz yapısal tavanların ısı kazançlarının değişimi	220
Şekil 10.51. Farklı kalınlıklara sahip duvar malzemelerinin maksimum ısı kazancının karşılaştırılması	222
Şekil 10.52 Malzeme numarası 1 ila 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarda saatlik ısı kazanç değerleri	223
Şekil 10.53. Malzeme numarası 1 ila 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda saatlik ısı kazanç değerleri	223
Şekil 10.54. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarda saatlik ısı kazanç değerleri.....	224
Şekil 10.55. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda saatlik ısı kazanç değerleri	224
Şekil 10.56. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarda saatlik ısı kazanç değerleri.....	225
Şekil 10.57. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda saatlik ısı kazanç değerleri	225
Şekil 10.58. Malzeme numarası 1 ila 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarın günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri	226
Şekil 10.59. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarın günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri.....	227
Şekil 10.60. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarın günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri.....	227
Şekil 10.61. Malzeme numarası 1 ila 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri	228
Şekil 10.62. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri.....	228
Şekil 10.63. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri.....	229
Şekil 10.64. Güneye dönük D2 tipi bir duvarda, YM24 izolasyon kalınlığının saatlik ısı kazanç değerlerine etkisi.....	230
Şekil 10.65. Güneye dönük farklı duvar tiplerinde kullanılan farklı malzemelerin saatlik ısı kazanç değerleri.....	231
Şekil 10.66. Güneye dönük farklı duvar tiplerinde kullanılan farklı malzemelerin günlük iç duvar sıcaklık değişimleri	232

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı iletkenlik katsayıları (Çengel, 2011).	11
Çizelge 2.2. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı yayılım değerleri (Çengel, 2011).	13
Çizelge 2.3. Konveksiyon (taşıma) ısı transfer katsayısının tipik değerleri (Çengel, 2011).	14
Çizelge 2.4. Farklı durumlarda ısı akısı ve eşdeğer ısı direnç (Al-Hazmy, 2006).	14
Çizelge 2.5. Bazı malzemelerin 300 K'de yayıcılığı (Çengel, 2011).	16
Çizelge 2.6. Yangın korumasız yapı malzemelerinin duman üretim miktarına bağlı olarak görünürlüğü azaltma süreleri (Şen, 2006).	18
Çizelge 2.7. Sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızı (Özguven, 2008)	20
Çizelge 2.8. Isı yalıtım malzemelerinden beklenen nitelikler (Kalaycı, 2016).	21
Çizelge 2.9. Kişi başına düşen enerji ve yalıtım malzemesi (Şen, 2006).	28
Çizelge 3.1. Farklı katalizör maddeleri kullanarak önerilen bileşimler (Perlite Institute, 2010)	38
Çizelge 3.2. Agregaların yığmsal yoğunluğu açısından sınıflandırılması (Alexander ve Mindess, 2010).	46
Çizelge 3.3. İncelik modülü kullanılarak kumların inceliğinin sınıflandırılması (Alexander ve Mindess, 2010)	50
Çizelge 6.1. Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri (DPT, 2001).	70
Çizelge 6.2. Dünya perlit rezervleri (milyon ton) (DPT, 2004).	71
Çizelge 6.3. Perlitin Kimyasal Özellikleri	71
Çizelge 6.4. Pomzanın fiziksel özellikleri	72
Çizelge 6.5. Pomzanın Kimyasal Özellikleri	73
Çizelge 6.6. Çimento Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	75
Çizelge 6.7. Hiper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyicisinin fiziksel özellikleri	76
Çizelge 6.8. Silis dumanı fiziksel ve kimyasal özellikleri	77
Çizelge 6.9. Bu çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri	83
Çizelge 6.10. 1 m ³ 'lük beton için karışım oranları	86
Çizelge 6.11. 1 m ³ 'lük hafif beton için karışım oranları	87
Çizelge 6.12. Ultrasonik ses geçiş hız tayini için cihazın ölçüm aralıkları	95
Çizelge 6.13. Isıl özelliklerin tayini için cihazın ölçüm aralıkları	96
Çizelge 7.1. Mikaların tipik kullanım alanları (HARBEN, 1995).	98
Çizelge 7.2. Kuvars kumunun tipik kullanım alanları (Kurşun ve İpekoğlu, 1995). ...	100
Çizelge 7.3. Silikatların özellikleri	102
Çizelge 7.4. Kaolinin kimyasal bileşimleri (MTA, 2013)	103
Çizelge 7.5. Sodyum hidroksitinin özellikleri	103
Çizelge 7.6. Sodyum karboksimetil selülozun özellikleri	104
Çizelge 7.7. Trisodyum fosfatın özellikleri	105
Çizelge 7.8. Cam elyafın teknik özellikler	108
Çizelge 7.9. Bazalt elyafın teknik özellikler	110
Çizelge 7.10. Karbon elyafın teknik özellikler	111
Çizelge 7.11. Sodyum klorürün özellikleri (Anonim, 2017).	112
Çizelge 7.12. Kalsiyum klorürün özellikleri (Anonim, 2017).	113
Çizelge 7.13. Asetik asitin özellikleri (Anonim, 2017).	114
Çizelge 7.14. Fosforik asitin özellikleri (Anonim, 2017).	114
Çizelge 7.15. Formamidin özellikleri (Anonim, 2017).	115

Çizelge 7.16. Alüminyum sülfatın özellikleri (Anonim, 2017).....	116
Çizelge 7.17. Alüminyum hidroksitin özellikleri (Anonim, 2017).	116
Çizelge 7.18. Kolemanitin kimyasal içeriği	117
Çizelge 7.19. Borik asitin özellikleri (Anonim, 2017).	118
Çizelge 7.20. Hidrojen peroksitin özellikleri (Anonim, 2017).....	119
Çizelge 7.21. Çinko oksitin özellikleri (Anonim, 2017).	119
Çizelge 7.22. Magnezyum oksitin özellikleri (Anonim, 2017).	120
Çizelge 7.23. Magnezyum karbonatın özellikleri (Anonim, 2017).....	121
Çizelge 7.24. Sodyum karbonatın özellikleri (Anonim, 2017).....	122
Çizelge 7.25. Magnezyum stearatın özellikleri (Anonim, 2017).	123
Çizelge 7.26. Sodyum metil silikonatın özellikleri (Anonim, 2017).....	125
Çizelge 7.27. Katkı olarak kullanılan malzemelerin görevleri ve kullanım amaçları ..	126
Çizelge 8.1. Kipp&Zonen CM11 piranometresinin teknik özellikleri	161
Çizelge 8.2. Çalışmada kullanılan yapı malzemelerin termofiziksel özellikleri (Yumrutaş ve ark., 2007)	163
Çizelge10.1. Sertleşmiş beton numunelerinin mekanik ve ısı özellikleri	171
Çizelge 10.2. Üretilen yalıtım malzemelerinin termofiziksel ve mekanik özellikleri ..	185
Çizelge 10.3 Üretilen yalıtım malzemelerinin rötre değerleri.....	202
Çizelge 10.4. Yanmazlık testi sırasındaki ağırlık değişimleri.....	205
Çizelge 10.5. YM2 ve YM17'nin yüzey alanı ve gözenek karakteristikleri.	207

1. GİRİŞ

Nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dünyayı tehdit eder hale gelmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji miktarı toplam enerji tüketiminde önemli bir orana sahip olması ve Türkiye'de bu oranın; toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 37'sine tekabül etmesi, yapı yalıtımının önemi daha iyi ortaya koymaktadır (Ozbalta, 2010).

Enerji tüketim miktarı; nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme vb. ile orantılı olarak artış göstermektedir. Türkiye'de yıllık nüfus artış oranı, 2016 sonunda %1.34'tür (TUİK, 2016). Bununla birlikte, Türkiye sınırlı yerli enerji kaynakları nedeniyle, enerji ihtiyacının yaklaşık %75'ini diğer ülkelerden ithal etmektedir. Bu durum ülkemizde enerji tasarrufunu ve enerjinin verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir (Erdal, 2008). Enerjinin israf edilmeden verimli bir şekilde kullanılmasında yalıtımın önemi büyüktür. Isı yalıtımının uygulandığı yerlere bağlı olarak, % 85 oranında enerji tasarrufunun sağlandığı tespit edilmiştir (TMMOB, 2005). Bu yüzden binalarda ya da yapılarda ısı yalıtımı yapmak ülkemiz için son derece önemlidir. Binalarda ısı yalıtım, başlıca enerji tasarrufu sağlamak, hava kirliliğini azaltmak, rahat ve konforlu yaşam ortamının sağlanması, ısı kayıplarının yol açtığı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için yapılmaktadır. Binalarda ısı kayıpları ile ilgili standartlarda ısı kayıplarının olması gereken değerler belirlenmiş ve bu değerlere uymak yasal bir zorunluluk olmuştur (Rubacı, 2006). Bu nedenle ısı yalıtımında ulusal, ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi önem arz etmektedir. Enerji kaynaklarında olduğu gibi yalıtım malzemelerinde de dışa bağımlı olan ülkemizde; yerli, hafif ve yanmayan, yalıtım özellikleri yüksek malzemelerin ve teknolojilerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu malzemelerin geliştirilmesi ve üretilmesi sonucunda dışa bağımlılığımız azalacak ve rekabet gücümüz de artacaktır. Ayrıca ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması ile de israf edilen enerji tüketimi de azalacaktır.

Bir binada dış tavan ve duvar bileşenlerinden kaynaklanan ısıtma ya da soğutma yükleri, diğer bileşenlere nazaran daha büyük bir kısmı oluşturmaktadır. Bu yüklerin oranları Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Bu yüzden bina duvar ve tavanlarının yalıtım özellikleri en iyi olan malzemelerden yapılması ve binaların ısıtılması ve soğutulmasında kullanılan sistemlerin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması

gerekmektedir. Bu durum enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Duvar malzemesi ve beton, bina yapılarında en çok kullanılan, evrensel ve en ekonomik yapı malzemesi olup, bina sektöründe çelik, ahşap, plastik vb. de dahil olmak üzere, tüm diğer yapı malzemelerinin toplam iki katı kadar kullanılmaktadır (Anonymous, 2013). Bu yaygın kullanımın yanında ise ısı kaybının en fazla olduğu yerler beton giriş ve duvarlardır. Bu yapıların ısıl özelliklerini iyileştirerek, binaların enerji tüketimini en aza indirmek gerekmektedir. Bunun yanı sıra, betondaki basınç dayanımı, üretim ve tasarımda önemli bir özellik olduğundan bu yapıların uygun mekanik özelliklere de sahip olması gerekir.



Şekil 1.1. Bir binada oluşan ısı kayıpları (Arısoy, 2017)

Betonun hacimce büyük kısmını oluşturan agregalar, betonun ısıl, ses ve mekanik özelliklerini en çok etkileyen bileşenidir. Beton üretiminde hafif ve gözenekli yapıya sahip agregaların kullanılmasıyla, hafif betonlar üretilmektedir. Günümüzde hafif beton blokların üretimi çeşitli malzeme ve yapım metotlarıyla gerçekleştirilmekte ve bu amaçla doğal ve yapay agregalar kullanılmaktadır. Hafif beton ve blok üretiminde üç değişik yöntem mevcuttur:

- 1- Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu doğal ve yapay agrega kullanılması,
- 2- Fiziksel veya kimyasal yolla beton ve bloklar içerisinde boşluklar oluşturulması,
- 3- İnce agregasını çıkartarak büyük boşluklar oluşturarak kumsuz beton bloklar üretilmesidir.

Yukarıda verilen üç farklı yöntemde de amaç, beton içerisinde hava boşlukları oluşturarak betonun yoğunluğunu azaltmaktır. Bu boşluklar agreganın içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında oluşmaktadır. Bu boşlukların beton dayanımını düşüreceği de açıktır. Hafif betonların kullanım amaçları ve yerlerine göre; taşıyıcı hafif betonlar, taşıyıcı olmayan duvarlar ve yalıtım blokları olarak sınıflandırılabilir (Sancak, 2005). Hafif agregalı beton ve blokları, ısı yalıtımı bakımından normal agregalı beton ve bloklardan üstün özellikler taşımaktadır. Bu özellikleri sayesinde hafif agregalı beton ve blokların günümüzde konut yapımında kullanılması da önem kazanmıştır (Serin ve ark., 2007). Hafif agregalardan üretilen beton blokların; düşük yoğunluk, yüksek izolasyon, yangına karşı dayanıklılık ve ısı şoku dayanımı vb. gibi özellikleri bu yapıların en önemli avantajlarıdır. Gelişmiş ülkelerde hafif betonlar yapılarda ölü yükü azaltmak amacıyla kullanılırken, ısı yalıtımı yüksek ve hafif olan beton ve blokların üretimi artırılmaktadır. Yapılarda hafif betonun kullanılmasıyla ilgili yapılan birçok çalışmada hafif betonun geleneksel betonlara göre daha iyi bir yalıtıma sahip olduğu (Malhotra, 1999; Cavanaugh ve ark., 2002; Vaou ve Panias, 2010; Real ve ark., 2016; Uysal ve ark., 2004; Demirboğa ve Gül, 2003; Konuk, 2015), bunun da hafif agregaların boşluklu olmasından kaynaklandığı (Chandra ve Berntsson, 2002; Argunhan , 2016), aynı zamanda taşıyıcı olarak kullanıldığında gerekli mekanik özellikleri de sağladığı (Bouguerra ve ark., 1998; Short ve Kinniburgh, 1963) tespit edilmiştir. Buna ek olarak hafif betonlarda kullanılan süper akışkanlaştırıcı, silikon, silis dumanı, hava sürükleyici ve cüruf gibi katkı maddelerin betonun performansını arttırdığı, aynı zamanda betonun ısıl özelliklerinde iyileşme meydana geldiği gözlenmiştir (Demirboğa ve Gül, 2003; Fu ve Chung, 1997; Demirboğa, 2007; Oktay ve ark., 2015).

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kayıplarının azaltılmasında kullanılan, minimum kalınlıkta yüksek yalıtım sağlamak amacıyla üretilmiş, yüksek ısıl dirence sahip özel ürünlerdir. Üretim kolaylığı ve kullanım avantajlarından dolayı hem Türkiye’de hem de dünyada çoğunlukla kullanılan poliüretan, EPS ve XPS gibi organik bazlı ürünler, ısıya maruz kaldığında şekil bozunma ve yanma eğilimi göstermektedir. Bu durum malzemenin kullanımında sınırlamalara yol açmaktadır. Şekil bozunma ve yanma eğilimini azaltmak için, özellikle poliüretan malzemelere üretim esnasında alev geciktirici adı altında farklı maddeler eklenmekte, bu ise bu malzemelerin ısıl özelliklerini kötüleştirmektedir.

Yapılarda kullanılan yalıtım malzemelerinin de bir kısmı doğal malzemelerden elde edilmekte, bir kısmı ise yapay olarak üretilmektedir. Doğal yalıtım malzemelerini de kullanım şekillerine göre üç gruba ayrılmaktadır: (Smith ve Andres, 1989);

1. Doğal halleri ile ön hazırlık yaparak kullanıma uygun olanlar (Pomza, Volkanik tuf, Diatomit)
2. Doğal kayalardan işlenerek kullanıma hazır hale getirilmiş olanlar (Perlit, Kil, Şeyl, Vermikülit, Silis,)
3. Doğal malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan yan ürünleri (Uçucu kül, cüruf)

Esasen yalıtım malzemeleri dört temel maddeden oluşmaktadır. Bunlar, bağlayıcılar, gözenekli maddeler, kimyasal maddeler ve diğer katkılardır. Bağlayıcı madde olarak genel anlamda alkali silikatlar ve polimer grubu bileşenler kullanılmaktadır. Hava, su buharı, silisyum bazlı inorganik malzemeleri, kağıt, cam, kumaş vb. maddeler gözenekli maddeler grubunu oluşturmaktadır. Kimyasal maddeler, yapıda genelde kürleştirici, ıslatıcı, su ve buhar uzaklaştırıcı ve yanma geciktirici olarak rol oynamaktadırlar. Yapıyı güçlendirmek için kullanılan organik veya inorganik fiber malzemeler, mineral kayaç ve katkılar ise malzemeye katılan diğer bileşenlerdir.

Yalıtım malzemeleri çoğunlukla, boşluklarında hareketsiz hava veya gaz bulunan boşluk bakımından heterojen yapıya malzemelerdir. Malzemeyi oluşturan maddenin yapısına göre; kapalı veya açık hücreli veya lifli olabilirler. Malzemelerin ısı iletkenliğine ve bu boşluklar içindeki gazın cinsi etki eder. Isı iletkenliğinde bunlardan başka malzemenin sıcaklığı ve yoğunluğu etkilidir (Karakoç ve ark., 1999). Boşluk boyutu ile ısı iletkenliği arasındaki bu ilişki, boşlukların boyutu, şekli ve liflerin yönü benzer olmak koşulu ile lifli malzemeler için de geçerlidir. Yalıtım malzemesinin yapısı, hafif olmaları, donma ve aşınma gibi dış etkilere karşı dayanımı, elastisite ve mekanik dayanımı, sertliği, ısı ve ses yalıtım özellikleri, yangın geciktiriciliği ve dayanımı, kolay üretimi ve işlenebilmesi, ekonomikliği, kullanım ve uygulama kolaylığı gibi bir takım özellikler tercih edilmesinde etkilidirler (Kalaycı, 2016). Binalarda uygulanacak yalıtım malzemesi, sağlayacağı ekonomik faydanın yanı sıra çevre kirliliğine etkisi ve binanın yangın yalıtımına katkısı gibi hususlarda dikkate alınarak seçilmelidir. Bununla birlikte ülkemizde yaygın olarak kullanılan çoğunluğu petrol ürünü ve yanıcı olan strafor (EPS), cam yünü ve poliüretan gibi yalıtım ürünlerine muadil olabilecek ve ülkemizin kaynaklarını kullanarak elde edilecek ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Binalarda enerji verimliliğinin yüksek olması ve enerji israfının yapılmaması için, yalıtım özellikleri yüksek duvar, beton ve yalıtım malzemelerinin kullanılmasının yanında, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması da önemli bir etkidir. Bu sayede olması gereken kapasitelerden daha büyük kapasitelerde cihaz seçilmeyerek enerji israfının önüne geçilecektir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara cevap verebilecek perlit, pomza ve bor gibi ülkemizin kaynak bakımında dünyaca üstün rezervlerine sahip olduğu malzemelerle oluşturulacak mekanik dayanım, ısı, ses ve yangın yalıtımı yüksek olan malzemelerin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi amacıyla birçok deneysel ve teorik araştırmalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılacak çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiş olup şu şekilde özetlenebilir;

1. Literatürden farklı olarak yüksek mukavemet, ısı ve ses yalıtımı daha iyi olan yeni yalıtım malzemesi, duvar ve beton tipleri üretmek için farklı katkı maddeleri ve bunların farklı oranlarda karıştırılması ile ısı iletkenlik katsayısı taşıyıcı beton için ısı iletkenlik katsayısının 1 W/mK 'in altında olduğu ($\lambda \leq 1 \text{ W/mK}$), duvar için ısı iletkenlik katsayısının 0.2 W/mK 'in altında olduğu ($\lambda \leq 0.2 \text{ W/mK}$) ve dış cephe mantolamada kullanılacak yalıtım malzemeleri için ısı iletim katsayısının 0.05 W/mK 'nin altında olduğu ($\lambda \leq 0.05 \text{ W/mK}$) çok sayıda numune üretilecektir.
2. Üretim yöntemleri uygulamalı bir şekilde yapılarak, üretilen yalıtım, duvar ve beton numunelerinin üretim şekilleri, içerikleri, oranları ve özellikleri ile termofiziksel ve mekanik özelliklerin birbiriyle olan değişimini veren grafik ve denklemlerin elde edilerek literatüre kazandırılması,
3. Binaların ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerini doğru bir şekilde hesaplamak ve aynı zamanda termofiziksel özelliklerin bina yapılarının ısı kazancına ve ısı performanslarına olan etkisini incelemek amacıyla, Kompleks Sonlu Fourier dönüşümü (Complex Finite Fourier Transform, CFFT) tekniğinin uygulanması için MATLAB tabanlı ve arayüzlü bir paket program hazırlanması ve bu program kullanılarak halihazırda üretilen numuneler ile piyasada yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin aynı iklimik şartlarda ısı kayıp ve kazançlarının karşılaştırılmasıdır.

Böylece yüksek enerji verimliliğinin sağlanması ile birlikte, enerji giderleri ve yakıt giderleri azaltılarak, dışa bağımlılığın azaltılmasına ve ülkemiz ekonomisine doğrudan, çevresel değerlerin iyileştirilmesine ise dolaylı olarak katkı sağlayacak yeni

ve çok daha verimli yalıtım malzemelerinin üretim optimizasyonu yapılmış olup bu anlamda en iyi yalıtım malzemeleri üretilmiştir.





2. YAPILARDA UYGULANAN YALITIM SİSTEMLERİ VE GÜNÜMÜZDE YALITIM

Yalıtım, Arapça kökenli tecrit ve Fransızca kökenli izolasyon kelimelerinin karşılığı olarak, bir yapıyı ve içerisindeki varlıkları; ses, yangın, su, nem, sıcak ve soğuğa karşı korumak için alınan önlemler veya yapılan faaliyetlerin toplamı olarak ifade edilmektedir. Yapıların iç ve dış etkilerden korunabilmesi ancak yalıtımla mümkün olabilmektedir. Yalıtım aynı zamanda sağlıklı bir yaşam için gerekli konfor şartlarına ulaşma yoludur. Yalıtımın diğer bir amacı yapıların ömrünü uzatmak, bakım masraflarını azaltmak ve kullanıcı için sağlıklı, huzurlu, rahat kullanabileceği mekânlar oluşturmaktır (Bayraktar, 2016). Bu amaç doğrultusunda yalıtım önlemleri genel olarak iki başlık altında ele alınabilir. Bunlardan ilki, yapıyı koruyan önlemler ve diğeri de kullanıcıyı koruyan önlemlerdir. Yapıyı koruyan önlemler genel olarak dış ortamdan gelen yağmur, güneş, kar, rüzgâr, zemin suyu gibi olumsuz etkenleri denetlemeye yöneliktir. Binaya zarar verebilecek bu etkenlerin yanında, kullanıcıya doğrudan zarar verebilecek ses, gürültü etkileri ya da yangın tehlikesi gibi etkenler de söz konusudur. Bu etkenlerden hareketle yalıtım ses yalıtımı, ısı yalıtımı, yangın yalıtımı ve su yalıtımı olarak dört ana başlık altında ele alınır.

Bu bölümde bu yöntemler incelenmiş, dünya geneliyle kıyaslandığında ülkemizdeki yalıtım çalışmalarının yetersiz olduğu ve artması ile enerji tasarrufunun sağlanacağı ve daha iyi yaşam koşullarına ulaşılacağı belirtilmiştir.

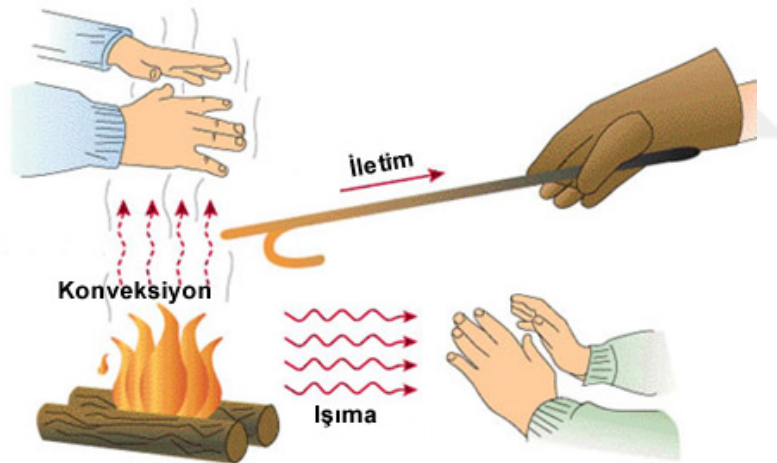
Hafif betonlar uzun yıllar boyunca yapılarda başarıyla kullanılmıştır. Hafif betonların yapısal olarak uygulanması için, yoğunluk genellikle dayanımdan daha önemli bir rol almıştır. Aynı dayanım seviyelerinde yoğunluğun azalması, kendi ağırlığını ve temel büyüklüğünü azaltmasının yanında inşaat maliyetlerini de düşürür (Rossignolo ve ark., 2003).

2.1. Yalıtım Teknikleri

Bu bölümde ısı, su, ses ve yangın yalıtımı ve uygulama teknikleri sırasıyla ele alınmış olup, günümüzde uygulanan yalıtım malzemeleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1.1. Isı yalıtımı

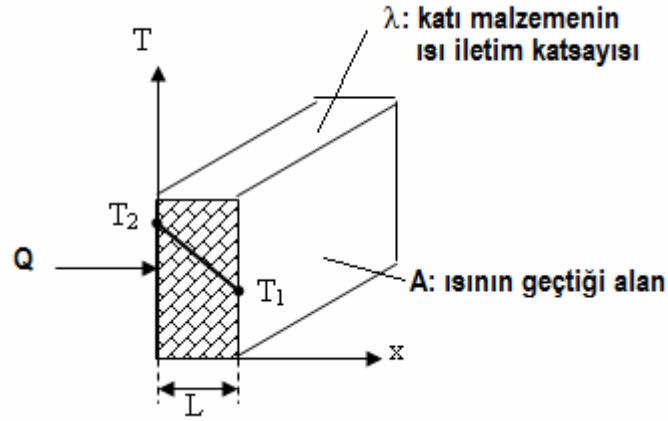
Belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle geçen enerji veya enerji miktarına ısı, bunun da yayılma biçimine ısı transferi denir (Anonim, 2017). Isı bir ortamdan diğer bir ortama üç şekilde yayılabilir: iletim yoluyla, taşınım yoluyla ve ışınım yoluyla (Şekil. 2.1). Aynı şekilde iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle ısısal geçirimsizlik malzemelerin bulunduğu ortama göre iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere üç farklı şekilde görülür. Sonuç olarak, bir yapıda veya konutta ısı yalıtımının tam olarak sağlanabilmesi için bu üç şekildeki yayılmaya karşı önlem getirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında ısı yalıtımı, yalnızca çeşitli yalıtım malzemeleriyle yapılan bir işlem olarak algılanmamalıdır. Isı kaybını etkileyen en önemli unsurların başında, yapının içinde bulunduğu çevresel faktörler, coğrafi özellikler, iklim özellikleri, rakım, konutun ve mekânların bakacağı yönler olup bunlar daha sonra detaylı bir şekilde incelenecektir. Bu kısımda, konut ile çevre arasında ve daha çok malzeme odaklı olup hem ısı yayılma yöntemlerini hem de alınması gereken önlemler açıklanacaktır.



Şekil 2.1. Isının yayılma yolları

2.1.1.1. İletim

İletim parçacıklar arası etkileşimlerin sonucu olarak bir maddenin yüksek enerjili parçacıklardan bitişiklerindeki daha düşük enerjili olanlara enerji aktarılmasıdır. İletim katılarda, sıvılarda gazlarda olabilir. Gazlarda ve sıvılarda iletim, moleküllerin gelişigüzel hareketleri sırasında çarpışmaları ve yayılmaları sebebiyle olur. Katılarda ısı iletim ise, kafeslerdeki moleküllerin titreşimleri ve bunun yanında serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucu olur.



Şekli 2.2. Bir duvardan geçen ısı transferi

Şekil 2.2'deki 'L' kalınlığında, 'A' alanına sahip katı malzemenin T_1 sıcaklığındaki yüzeyinden T_2 sıcaklığındaki yüzeyine iletimle aktarılan ısı miktarı,

$$Q = \lambda A \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır (Çengel, 2011). Burada λ orantı sabiti, ısıl iletkenlik (W/mK) olarak ifade edilmektedir. Eğer bir duvar malzemesinde L ve A birim olarak kabul edilirse yüzeyden geçen ısı enerji miktarı doğrudan ısıl iletkenlik katsayısı ile orantılı olduğunu kabul edebiliriz.

Şekil 2.2'deki geniş düzlem bir duvarda " $\Delta x=L$ " kalınlıklı, dik duvar alanı A olan bir duvar malzemesinden geçen tek boyutlu ısı transfer enerji dengesini yazarsak:

$$\begin{pmatrix} X'deki \\ \text{Isı İletim} \\ Hızı \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x+\Delta x 'deki \\ \text{Isı İletim} \\ Hızı \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Eleman İçindeki} \\ \text{Üretim} \\ Hızı \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Elemanın Enerji} \\ \text{İçerisindeki} \\ \text{Değişim Hızı} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

şeklinde olur. Bir malzemenin ısı iletim katsayısı " λ ", genel olarak T sıcaklığına bağlıdır ve dolayısıyla ısıl iletkenlik türevin dışına çıkartılamaz. Bununla birlikte, çoğu uygulamalarda ısıl iletkenliğin ortalama değer civarında sabit kaldığı kabul edilebilir. Bu durumda sabit iletkenli, zamana bağlı ve ısı üretimi olmayan duvarlarda denklem:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.3)$$

haline dönüşür. Burada α , ısı yayılım olup malzemenin ısı iletkenlik, özgül ısı ve yoğunluk özelliklerine bağlı bir katsayıdır (Çengel, 2011).

2.1.1.1.1. Isıl iletkenlik

Sürekli şartlarda ısı transfer hızı için yazılan Eş. 2.1, aynı zamanda ısı iletkenlik için tanım denklemi olarak görülebilir. Bir malzemenin ısı iletkenliği, malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Yüksek ısı iletkenlik değeri malzemenin iyi bir ısı iletken olduğunu, daha düşük ısı iletkenlik değeri ise malzemenin ısı yalıtkan olduğunu gösterir (Çengel, 2011). Çizelge 2.1’de, bazı bilinen malzemelerin oda sıcaklığında ısı iletkenlikleri verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi hava (durgun hava) çok üstün bir yalıtım özelliğine sahiptir. Bu özelliği kullanarak Çizelge 2.1’de görülen cam elyaf, strafor, ağaç, üretan gibi malzemeler üretilmiştir. Burada havaya en yakın ısı iletkenliği olan üretanın kapalı gözenek boşluğu % 95’in üzerindedir. Günümüz yalıtım malzemelerinin büyük çoğunluğu kapalı veya açık gözenekli durgun hava sistemini kullanmaktadır.

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı iletkenlik katsayıları (Çengel, 2011).

Madde	λ , W/mK
Elmas	2300
Gümüş	429
Bakır	401
Altın	317
Alüminyum	237
Demir	80.2
Cıva	8.54
Tuğla	0.72
Su	0.613
Ahşap (meşe)	0.17
Helyum (gaz)	0.152
Yumuşak kauçuk	0.13
Cam elyafi	0.043
Hava (gaz)	0.026
Üretan, sert köpük	0.026

2.1.1.1.2. Özgül ısı

Malzemeler için diğer önemli bir özellik olan özgül ısı; bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını bir derece artırmak için gerekli olan enerji olarak tanımlanmakta ve bu enerji aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2.4)$$

Sabit hacimde ve sabit basınçta özgül ısı olmak üzere iki türlü özgül ısı söz konusudur. Gazlarda bu iki değer farkı gaz sabitine eşit, katı ve sıvılarda (sıkıştırılmaz malzemeler) ise birbirine eşittir (Çengel, 2011). Eşitliği dikkate aldığımızda birim kütlede yüksek özgül ısıya sahip malzemeler ısıyı içerisinde depoladıkları için verilen birim ısı enerjisinde düşük sıcaklık farkına sebebiyet vereceklerinden özgül ısı, yalıtkan malzemeler için önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır.

2.1.1.1.3 Isıl yayılım

Zamana bağlı ısı iletim çözümlemesinde ortaya çıkan başka bir malzeme özelliği, bir malzeme içerisinde ısının ne kadar hızlı yayıldığını gösteren ısı yayılım katsayısıdır ve:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (2.5)$$

şeklinde tanımlanır. Dikkat edilirse ısı iletkenlik, λ bir malzemenin ısıyı ne ölçüde ilettiğini, ısı kapasite ρc ise malzemenin birim hacminde ısıyı ne kadar depoladığını gösterir. Bu yüzden, bir malzemenin ısı yayılım katsayısı, malzeme içinde iletilen ısının malzemenin birim hacmi başına depoladığı ısıya oranı olarak görülebilir. Isıl yayılım ne kadar yüksek olursa, ısının ortam içerisindeki yayılması o kadar hızlı olur. Küçük ısı yayılım değeri ise malzemenin ısıya karşı tembel olduğu ve ısının küçük bir miktarının daha ileri iletiildiği anlamına gelir (Çengel, 2011). Çizelge 2.2’de bazı yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerin ısı yayılım hızları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi strafor gibi yüksek ısı yayılım özelliği gösteren malzemelerin her ne kadar ısı iletkenlik katsayısı düşük olsa da, ısı yalıtkanlık noktasında dezavantaja

sahiplerdir. Bu yüzden bir yalıtım malzemesinden beklenen hem düşük ısı iletkenlik hem de düşük ısı yayılım değerlerine sahip olmasıdır.

Çizelge 2.2. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı yayılım değerleri (Çengel, 2011).

Madde	$\alpha, m^2/s$
Gümüş	149×10^{-6}
Altın	127×10^{-6}
Bakır	113×10^{-6}
Alüminyum	97.5×10^{-6}
Demir	22.8×10^{-6}
Cıva	4.7×10^{-6}
Buz	1.2×10^{-6}
Beton	0.75×10^{-6}
Tuğla	0.52×10^{-6}
Ağır toprak (kuru)	0.52×10^{-6}
Cam yünü	0.23×10^{-6}
Su	0.14×10^{-6}
Ahşap (meşe)	0.13×10^{-6}

2.1.1.2. Taşınım

Taşınım, bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki sıvı veya gaz arasında enerji aktarımı türüdür; iletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa, taşınım ısı aktarımı da o kadar büyük olur. Yığın akışkan hareketinin ortadan kalkması halinde, katı yüzeyle bitişikteki akışkan arasındaki ısı transferi saf iletimle olur (Çengel, 2011). Taşınım karmaşıklığına rağmen, taşınım ısı transfer hızının sıcaklık farkıyla orantılı olduğu gözlenir ve Newton'un soğutma kanunu ile uygun şekilde:

$$Q_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir; burada h taşınım ısı transfer katsayısı, A_s taşınımın olduğu yüzeyin alanı, T_s yüzey sıcaklığı ve T_∞ ise yüzeyden yeteri kadar uzaklıkta (yüzey sıcaklığının doğrudan etki alanına girmeyen) akışkan sıcaklığıdır. Dikkat edilirse yüzeyde akışkan sıcaklığı katının yüzey sıcaklığına eşittir. Taşınım katsayısı h akışkanın bir özelliği değildir. Bu katsayı, deneysel olarak bulunan ve değeri yüzey geometrisine, akışkan hareketinin tabiatına, akışkan özellikleri ve akışkanın yığın hızına bağlı bir parametredir


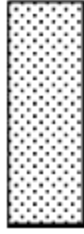
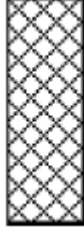
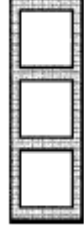

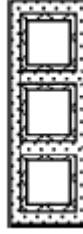
(Çengel, 2011). Çizelge 2.3'te akışkanların tipik taşınım katsayısı, h değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Konveksiyon (taşınım) ısı transfer katsayısının tipik değerleri (Çengel, 2011).

Taşınım tipi	h , W/m ² °C
Gazların serbest taşınımı	2-25
Sıvıların serbest taşınımı	10-1000
Gazların zorla taşınması	25-250
Sıvıların Zorla Taşınması	50-20,000
Kaynama ve yoğunlaşma	2500-100,000

Burada akışkan hızına bağlı olarak taşınım, h değerlerinin değiştiği kolayca görülmektedir. Aynı zamanda taşınım, h değeri Eş. 2.6 'daki sıcaklık farkının büyüklüğüne bağlı olarak artmaktadır. Çizelge 2.4'te farklı özelliklerdeki bir duvar malzemesinden geçen ısı akı miktarını ve bu malzemenin eş direncini göstermektedir.

Çizelge 2.4. Farklı durumlarda ısı akısı ve eşdeğer ısı direnci (Al-Hazmy, 2006).

Durum	Kısıtlama durumları			Hava dolu	EPS dolu	Delikli EPS dolu
	Tamamen hava ¹ dolu	Katı döşeme duvar ²	Katı döşeme EPS ³	Üç boşluklu	Üç boşluklu	Üç boşluklu
q (W/m)	14.717	81.483	2.69	29.944	22.063	28.2
$R_{eş}$ (K m/W)	2.04	0.368	11.15	1	1.36	1.06
Konfigürasyon						

¹ $\rho=1.225$ kg/m³, $c=1006.4$ J/kgK, $k=0.0242$ W/mk

² $\rho=1800$ kg/m³, $c=840$ J/kgK, $k=1$ W/mk

³ $\rho=28$ kg/m³, $c=1800$ J/kgK, $k=0.033$ W/mk

Yukarıdaki tablodan anlaşılacağı gibi malzemenin boşluk büyüklüğü, boşluk oranı, boşluk sayısı hem taşınım hem ısı transferi üzerinde oldukça etkilidir. Sonuç olarak, bir malzemenin yüksek ısı dirence sahip olabilmesi için yüksek boşluk oranına, sayısına ve boşluk büyüklüğünün içerisindeki havayı hareket ettirmeyecek şekilde küçük olması gerekmektedir.

2.1.1.3. Işınım

Işınım, atom ve moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişmelerinin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir. İletim ve taşınımın farklı olarak ışınımınla ısı transferi bir aracı ortam gerektirmez (Çengel, 2011). Gerçekte, ışınımınla ısı transferi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz. Güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşma şekli budur. Eski zamanlarda yalıtım ile alakalı yapılan çalışmalarda malzeme içerisindeki iletim ve taşınım transferini ortadan kaldırmak ve malzemedeki geçen ısı transferini azaltmak için malzeme içerisindeki hava vakumlanmıştır. Ancak, ışımadan dolayı ısı transfer geçişlerinde yeteri kadar düşüş elde edilemediğinden iki farklı yöntem başvurulmuştur. İlki ısı iletkenliği havanınkinden düşük bir gazın havayla yer değiştirmesiyle ve diğeri ise yalıtım malzemesinin içindeki hava basıncı azaltılmasıyla yüksek yalıtım sağlanmıştır. Daha sonra bu yöntemlerden yola çıkarak “VIP” denilen vakumlanmış izolasyon malzemeleri üretilmiştir (Bayrakçı ve ark., 2011). Işınımın kaynaklı ısı transfer miktarını azaltmak için bu malzemelerin iç basınçları düşürülmüş ve opaklaştırıcı maddeler eklenmiştir. Diğer taraftan ışınımın kaynaklı ısı transfer oranını azaltmak için düşük yayıcı yüzeylerin kullanımı yıllardır iyi bilinmektedir. Bu teknoloji, uzay araçlarının ısı yalıtımı gibi uzay uygulamaları için geliştirilmiştir. Geleneksel ısı yalıtım malzemelerinde kullanılan hava torbacıkları uzayda yoktur ve ışınım enerjisi Dünya üzerinde olduğundan çok daha yüksektir. Bu yüzden vakum izolasyon malzemelerinde çekirdek malzemesi olarak çok katmanlı yansıtıcı folyoların (örn. Alüminyum) kullanımı ışınımın kaynaklı ısı transferini oldukça azaltmıştır (Kwon ve ark., 2009)

Isı transfer çalışmalarında, cisimlerin sıcaklıkları sebebiyle yaydıkları ışınım türü olan ısı ışınım ile ilgilendir. Işınım, -sıcaklıkla ilişkisi olmayan x ışınları, gama ışınları, mikrodalgalar, radyo ve televizyon dalgaları gibi –elektromanyetik ışınımın diğer biçimlerinden farklıdır. Mutlak sıfırın üstündeki sıcaklıklarda bütün cisimler ısı ışınım yayarlar. T_s (K veya R olarak) termodinamik sıcaklığına sahip bir yüzeyden yayılabilecek maksimum ışınım hızı Stefan-Boltzman kanunu ile,

$$Q_{\text{taşınım}} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (2.7)$$

olarak verilmiştir. Burada “ σ ” değeri Stefan-Boltzman sabiti, “ ϵ ” ise yüzeyin yayıcılığıdır ve değeri $0 < \epsilon < 1$ dir. Siyah cisimlerde bu değer 1’dir. Bazı yüzeylerin yayıcılıkları Çizelge 2.5’te verilmiştir (Çengel, 2011).

Çizelge 2.5. Bazı malzemelerin 300 K’de yayıcılığı (Çengel, 2011).

Malzeme	Yayıcılık, ϵ
Alüminyum folyo	0.07
Eloksallı alüminyum	0.82
Parlak bakır	0.03
Parlak altın	0.03
Parlak gümüş	0.02
Parlak paslanmaz çelik	0.17
Siyah boya	0.98
Beyaz boya	0.90
Beyaz kağıt	0.92-0.97
Asfalt döşeme	0.85-0.93
Kırmızı tuğla	0.93-0.96
Ahşap	0.82-0.92
Toprak	0.93-0.96
Su	0.96

Bir yüzeyin diğer önemli özelliği, yüzeye gelen ışınım enerjisinin soğurulma oranı olan “ α ” soğurganlığıdır. Yayıcılıkta olduğu gibi soğurganlık değeri de 0 ile 1 arasında değişir. Bir kara cisim üzerine gelen ışınımın tamamını soğurur. Yani kara cisim, mükemmel bir yayıcı olduğu kadar mükemmel bir soğurgandır ($\alpha=1$). Bununla birlikte soğurganlık aynı malzemede renklerin değişimine göre farklı değerler alır. Bir yüzeyin ışınım soğurma hızı,

$$Q_{\text{hapsolan}} = \alpha Q_{\text{gelen}} \quad (3.8)$$

denkleminde bulunur (Çengel, 2011). Geçirgen olmayan yüzeylere gelen ışınımın yüzey tarafından soğurulmayan kısmı geri yansıtılır. Özellikle yaz aylarında yüksek güneş ışınımı ile birlikte ısınan binaların dış renginin beyaz renge boyanması yapıdan içeriye girecek olan ısı transfer miktarını azaltacaktır.

2.1.2. Yangın yalıtımı

Yangın yalıtımı, yangınların yıkıcı etkisini gidermeye yönelik, can ve mal güvenliğini sağlayacak önlemlerden oluşur. Bu önlemler; yangın çıktığında başlangıç safhasında yangına müdahale edecek söndürmeye yönelik aktif önlemler olacağı gibi, yangının yayılması önleyecek canlıların tahliyesine imkân tanıyacak pasif önlemler de olabilir. Aktif koruma sistemleri olarak adlandırılan bu sistemler yapıyı korumada önemli bir rol oynamasına karşın, yangının başlamasından sonra devreye girerler. Bunun dışında yangının yayılmasını önleyecek ve yangını durdurucu pasif sistemlere ihtiyaç vardır. Pasif yangın durdurucu malzemeler, yapı elemanlarına ısı enerjisi transferini geciktiren ve yavaşlatan koruma malzemeleridir. Yapılarda pasif yangın korunumu, yapıdaki sıcaklık yükselmelerini, yapının yangınla karşılaşmayacak tarafında maksimum müsaade edilebilir sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklık oluşacak şekilde izole etmektir şeklinde de tanımlanabilir. Pasif yangın koruma sistemlerinin amacı, binalarda yangın güvenliğini ve yapısal yangın korunumunun sağlanmasıdır. Pasif yangın yalıtımında kullanılan malzemeler yangın anında yapıdaki insanların dışarı çıkabilmesine imkân verir ve yangının yayılmasını geciktirerek itfaiyecilerin yangına en kısa sürede söndürmelerine yardımcı olur (Şen, 2006).

Yangın, yanmanın kontrolsüz bir şekilde ortaya çıkmasıdır. Yangının oluşması için yangın üçgeni olarak adlandırılan üç unsurun olması gerekir. Bunlar yanıcı madde, oksijen ve ısı kaynağıdır. Havadaki oksijen oranı yüzde 21'dir ve bu yanma için fazlasıyla yeterlidir. Bunun yanı sıra, masalar, perdeler, plastik eşyalar gibi evlerde ve iş yerlerinde kullanılan eşyaların hemen hemen tümüne yakın bir kısmı yanıcı maddedir. Yanma için gerekli olan tek şey ısı kaynağıdır. Sönmemiş bir sigara, elektrik kontağı, güneş ışınları, soba ve ocak gibi ısı kaynakları, bazı kimyasal tepkimeler ve sürtünmeye bağlı olarak ortaya çıkan ısılar tutuşma için gerekli ısı kaynağını oluşturur. Ortaya çıkan yangın can ve mal güvenliği için en önemli tehdittir. Yangın, yakıcı etkisinin dışında can güvenliğini tehdit eden etkilere sahiptir. Bunlar genellikle dumana bağlı olarak ortaya çıkan etkilerdir (Şen, 2006).

Yangınlarda can kayıplarının önemli bölümü, yanma sırasında ortaya çıkan dumandan ve bu dumanın içindeki gazlardan kaynaklanır. Dumanın içinde yüksek oranda karbondioksit vardır. Karbonmonoksit solunduğunda kana karışarak insanı zehirler. Belirli bir süre karbonmonoksit soluyan insanlar hayatını kaybedecektir. Bunun yanı sıra duman içerisinde başka gazlar da bulunabilir. Özellikle binalarda yaygın olarak kullanılan Poliüretan esaslı malzemeler ısı bozunma ve yanmaya karşı dirençleri

düşük malzemelerdir. Bu malzemeler, herhangi bir sebeple oluşan açık alev veya yüksek ısıya maruz kaldığında, tutuşma ve yanma tehlikesi taşımaktadırlar. Malzeme öncelikle ısınır, daha sonra ısı etkisiyle bozunmaya başlar ve son aşamada ise bozunma sonucu oluşan yanıcı gazlar tutuşarak yanma başlar. Bununla birlikte gözenekli yapıya sahip poliüretan esaslı malzemelerde, alevli yanmaya göre daha düşük oksijen konsantrasyonlarında ve düşük sıcaklıklarda alevsiz yanma oluşabilir. Bu yalıtım sistemleri solunum, sinir ve vücut sistemlerinde büyük hasarlara uğratabilecek yüksek düzeyde toksik gaz salımı yapmaktadırlar (Anonim, 2017). Bunun yanında en çok kullanılan yalıtım malzemesi olan strafor da duman salınımı ve ateş yayılma hızını artırır. Yangın sonucu ortaya çıkan duman, yangına maruz kalanların görüş alanını daraltarak hemen dışarı çıkmalarını zorlaştırır (Çizelge 2.6). Bu bazen ölümcül olabilir (Şen, 2006).

Çizelge 2.6. Yangın korumasız yapı malzemelerinin duman üretim miktarına bağlı olarak görünürlüğü azaltma süreleri (Şen, 2006).

Malzeme	Görünürlüğü azaltma süresi (dk.)
Fenolformaldehit köpüğü	100
Ahşap	10
Mantar	3.3
EPS köpük	2
Hücreli PVC	1
Poliüretan köpük	0.7

Yangın, yapılar için yıkıcı bir etkiye sahiptir. Yangının meydana geldiği yapının içerisinde, kısa sürede çok yüksek değerlere ulaşan sıcaklık, zeminden tavana doğru artış gösterir. Tavanda sıcaklık yaklaşık 1000 °C dereceye çıkar. 500 °C üstünde betonarme malzemelerin dayanımı üçte bir oranında azaldığından tavanın çökme riski oluşturur. Bu durum, özellikle itfaiyecilerin can güvenliği açısından da büyük bir tehlike yaratır (Şen, 2006).

Mevcut durum göz önüne alındığında, konut ve yapılarda petrol kaynaklı ürünler yerine beton, tuğla, seramik gibi inorganik bazlı ürünlerin kullanılması özellikle, yangının çabuk yayılmasını ve zehirlenme durumunu önleyerek insanlara hem canını kurtarma olanağı verir hem de yangının söndürülmesi için zaman yaratır.

2.1.3. Su yalıtımı

Su yalıtımı temel olarak, yapıları suyun ve nemin zararlı etkilerinden korumak için yapılan çalışmalar olarak tanımlanabilir. Yapı bileşeni içerisinde su, soğuk mevsimlerde donarak, sıcak mevsimlerde ise buharlaşarak beton bütünlüğünün bozulmasına ve çatlakların oluşmasına yol açar. Su ayrıca, binalarda insan sağlığı açısından zararlı küf, mantar vb. organik maddelerin oluşumuna da yol açar ve insan konforu açısından olumsuzluk yaratan bu kötü kokuların yayılmasına zemin hazırlar. Bunun yanında yalıtım malzemesi içerisine giren su malzemenin ısı iletkenliğini artırarak yapının yalıtkan özelliğini kötüleştirir (Şen, 2006).

Temel olarak su yalıtımı yapısal ve yüzeysel su yalıtımı olarak ikiye ayrılır. Yapısal su yalıtımı; genel olarak beton elemanların imalatı sırasında imalat kolaylığı sağlamak, betonun kalitesini arttırmak, istenen özelliklerin verilmesini sağlamak ve su geçirimsizliği elde etmek amacıyla toz ya da sıvı halde bulunan yapı kimyasallarının katkı olarak kullanılması ile yapıya su girişini ve etkilerini azaltıcı uygulamalar bütünüdür. Bunlar genel olarak su engelleyici kimyasallar ve derz malzemeleridir. Yüzeysel su yalıtımı; suyun bulunabileceği dış ortam ile yapı kabuğu arasında su geçirimsiz katman oluşturmak için yapılan işlemler bütünüdür. Bunlarada bitümlü örtüler, sentetik örtüler ve akrilik esaslı malzemeler örnek verilebilir. İnsanların konforu ve sağlığı açısından çok önemli bir yer tutan su yalıtımı aynı zamanda ekonomik olarak da katkı sağlamış olur (Şen, 2006).

2.1.4. Ses yalıtımı

Ses tanım olarak; her çeşit ortamda moleküllerin titreşimi yoluyla dalgalar halinde yayılan bir tür mekanik enerji şeklidir. Bir başka deyişle işitme duyusunun uyarıcı olarak, kulak tarafından algılanabilen, hava, su ya da benzeri elastik bir ortamdaki basınç değişimi şeklinde tanımlanabilir. Gürültü ise, düzensiz yapılı, farklı frekans bileşenlerine sahip olan ve genellikle zamana göre, değişken olan istenmeyen ses topluluğudur. Eğer ses dalgaları, içinde yol aldıkları ortamdan farklı yoğunluk veya esneklikte bir engelle karşılaşırlarsa, enerjinin bir kısmı yansıtılır, bir kısmı ise soğurularak ısıya dönüşür, bir kısmı da yoluna devam eder. Bunun yanında ses her ortamda aynı hızla yayılmaz. Sesin yayılma hızı ortam özelliklerine bağlıdır. Ortama göre sesin yayılma hızı karşılaştırılırsa $V_{katı} > V_{sıvı} > V_{gaz}$ şeklinde sıralanır. Ayrıca ortam sıcaklığı ve yoğunluğu arttıkça sesin yayılma hızı da artar (Kidner ve Hansen, 2008). Çizelge 2.7.'de farklı malzemeler için sesin yayılma hızları verilmiştir. Bu

değerlerden de anlaşılacağı üzere, sesin katı maddeler içerisindeki yayılma hızları, havadaki hızına göre çok daha yüksektir.

Çizelge 2.7. Sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızı (Özgüven, 2008)

Ortam	Yayılma Hızı (m/sn)
Hava (21 °C)	344
Mantar	500
Kurşun	1200-2400
Su	1450
Sert Kauçuk	1400-2400
Beton	3200-3600
Tahta	3300-4300
Tuğla	3600
Dökme Demir	3500-5600
Mermer	3800
Cam	4000-5600
Pirinç	4700
Demir	5100-6000
Bakır	3600-4760
Çelik	5800-6000
Alüminyum	5100-6400

Gürültüsüz bir ortamda yaşamak, gürültüyü yok etmek hemen hemen imkansız olabilir. Ancak gürültünün çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini kontrol altına alıp en aza indirmek mümkündür. Gürültüden korunmanın en temel yolu ses yalıtımı uygulamalarıdır. Günümüzde kullanılan ses yalıtım ürünlerine; cam yünü, taş yünü, ahşap yünü, polietilen, kauçuk köpüğü, yumuşak, poliüretan esaslı köpükler, melamin köpüğü, keçeler (tekstil atığı, polyester), delikli metaller örnek olarak verilebilir (Anonim, 2017). Bu ürünler genel olarak, kapalı bir ortamda sesin yansıma süresinin düzenleyen, gösterdiği dirençle ses enerjisini mekanik enerjiye ve ısı enerjisine dönüştüren ürünlerdir. Hafif betonun ses emme özelliğinin havadaki ses enerjisinin betonun çok küçük kanallarında ısıya dönüştürülmesi nedeniyle iyi olduğu belirlenmiş, dolayısıyla ses emme katsayısının normal betona oranla yaklaşık iki kat fazla olduğu belirtilmiştir. Betonun birim ağırlığı azaldıkça ses yutuculuğu iyileşmektedir. (Konuk, 2003)

Ses ve gürültü, özellikle günümüzde kentleşmenin plansız yürüdüğü bölgelerde, insan sağlığına ve konforuna zarar veren etkenlerin en başında arasında yer alır. Bu nedenle ses yalıtımının büyük önemi vardır.

2.2. Isı Yalıtım ve Günümüz Isı Yalıtım Malzemeleri

Türk Standartları TS 825 ve Alman DIN normu 4108' e göre, ısı iletkenlik değeri $0.060 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ (0.07 W/mK) değerinin altında olan malzemelere “ısı yalıtım malzemesi”, bu değerin üstünde kalanlara da “yapı malzemesi” denir (Aydın, 2010). Isı yalıtım malzemeleri çoğunlukla heterojen yapıli malzemelerin bir karışımı olarak; ısı kayıp ve kazançlarının azaltılmasında kullanılan ve sadece minimum kalınlıkta yalıtım sağlamak amacıyla üretilmiş yüksek ısı dirence sahip ürünlerdir. Genel olarak bu ürünlerin yalıtım özelliğini ısı iletim katsayıları belirler. Isı iletim katsayısı ne kadar düşükse, o ürünün yalıtım özelliği o kadar artmaktadır. Isı iletkenlik katsayısını belirleyen en önemli özellik ise malzemelerin gözeneklilik yapısı ve gözenek sayısıdır. Bununla beraber gözeneklerin çok artması ısı direnci değerini arttırmasına rağmen basınç dayanımını azaltmaktadır (Şen, 2006). Bu nedenle, ısı yalıtım malzemelerinden beklenen düşük ısı iletkenlik değerinin yanı sıra, yapıda kullanmak için gerekli bir takım niteliklere de sahip olması gerekmektedir. Isı yalıtım malzemesinin sahip olması gereken bazı performans kriterleri Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Isı yalıtım malzemelerinden beklenen nitelikler (Kalaycı, 2016).

Fiziksel işlevsellik	-Yüksek ısı tutuculuk -Düşük birim ağırlık -Koşullara uygun buhar geçirimsizliği -Yeterli basınç dayanımı -Yeterli Çekme Dayanımı -Boyutsal kararlılık
Dayanıklılık	-Su ve neme dayanıklılık -Kimyasal etkilere dayanıklılık -Biyolojik etkilere dayanıklılık -Yüksek sıcaklığa dayanıklılık - Yangın Emniyeti -Çürümezlik -Uzun Ömürlülük
Ekolojik açıdan uygunluk	-Çevre ve ekosistem açısından zararsızlık -Sağlık açısından zararsızlık -Az enerji tüketimi -Bakım gerektirmezlik ve kullanım sonrası değerlendirilebilirlik
Uygulama kolaylığı	-Kolay işlenebilirlik -Üzerine uygun katmanların uygulanmasına olanaklılık
Ekonomiklik	-Ucuzluk ve kolay temin edilebilirlik

Ancak yukarıda belirtilen özelliklerin tümünün bir malzemede bulunması da mümkün değildir. Bu nedenle, içinde bulunan koşullara göre ısı yalıtım sistemleri optimum çözümleri gerçekleştirmelidir.

Geçmişte günümüze daha önce belirttiğimiz performans kriterlerini sağlamak amacıyla birçok araştırma ve çalışma gerçekleştirilmiş olup farklı içerik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip birçok yalıtım malzemesi üretilmiştir. Genel olarak ısı yalıtımı amacı ile kullanılan ürünleri dört grupta ayırabiliriz;

- Mineral lifli malzemeler (Cam Yünü, Taş Yünü, Seramik Yünü)
- Sert plastik köpükler: (Expanded Polistiren - EPS, Extruded Polistiren - XPS, Fenol Köpüğü, Poliüretan vs.)
- Yumuşak köpükler (Flex Malzemeler, Elastomerik Kauçuk Köpüğü ve Polietilen Köpük)
- Cam Köpüğü ve kalsiyum silikat malzemeler (Şen, 2006).

2.2.1. Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri

Yukarıda belirtildiği gibi yalıtım malzemelerinin çok geniş çapta ve çeşitli olduğu görülmektedir. Bu bölümde yalıtım malzemelerinden yaygın olarak kullanılanlar hakkında kısaca bilgilendirme yapılacaktır.

2.2.1.1. Cam yünü

İnorganik hammadde olan silis kumunun 1400 °C'de ergitilerek çapları 3-5 mikron boyutunda olan ince elyaf haline getirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Cam yünü

Diğer yalıtım malzemelerine göre pratikte oldukça geniş kullanma sahası bulunan cam yünü aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Isı iletkenlik değeri $\lambda \leq 0.040$ W/mK'dir.
- Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir.
- Kullanım sıcaklığı $-50/+250$ °C aralığındadır. Bağlayıcısız cam yünü ürünler 500°C 'ye kadar kullanılabilir.
- Kimyasal olarak nötrdür.
- Asitlere karşı (hidroflorik asit hariç) dayanıklıdır.
- Küf tutmaz ve haşerelerin yuvası olmaz.
- İşçiliği kolaydır.
- Sarsıntı ve ufalanmaya karşı dayanıklıdır (Anonim, 2017).

Cam yünleri yalıtım malzemesi olarak dış cephelerde, binalarda, giydirme cephe uygulamalarında kullanılabilir. Basınç dayanımı az olduğu için yürüyen düz tavan veya teraslarda kullanımı doğru değildir (Anonim, 2017). Geleneksel sıva ile aderansı (bağı) zayıftır. Dolayısı ile tek başına kullanıldığında dıştan yalıtım ile sorunlar yaşanmaktadır. Cam yünü ekonomik yapısıyla ve yüksek ısı yalıtım özelliği ile genel olarak ekonomik olan ısı yalıtım malzemeleri içinde yer alır. Malzemenin fiyatı yoğunluğuyla doğrudan ilgili olduğu için az yoğunluklu rulo malzemeler oldukça ekonomik sayılabilirken, yoğunluğun artması ile fiyat da yükselir.

2.2.1.2 Taş yünü

Bazalt veya diabez taşının 1600 °C gibi yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Rengi koyu gri renkli olup şiltelerin özellikleri şekillerine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4).



Şekil 2.4. Taş yünü

Genel olarak taş yünü aşağıdaki özelliklere sahiptir:

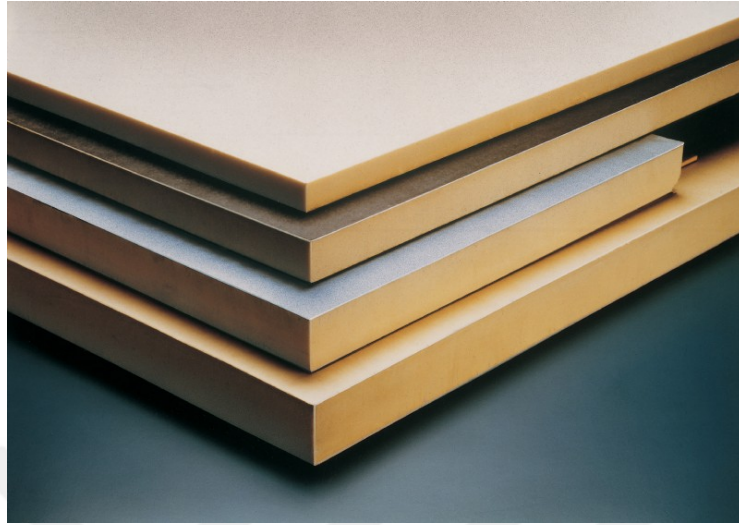
- Isı iletkenlik değeri $\lambda \leq 0.040/\text{mK}$ 'dir.
- Ses iyi yutabilen bir malzemedir.
- DIN ve EN normlarına göre yanmaz malzemeler sınıfı olan "A" sınıfından olup kullanım sıcaklığı $-55/+760$ °C aralığındadır.
- Çürümez, bozulmaz ve küflenmez.
- Korozyon ve paslanma yapmaz Isı, ses ve yangın yalıtımında kullanılır (Akıncı, 2007).

Taş yününde liflerin her yöne dağılmış olmasından dolayı dayanımı cam yününe göre daha fazla olup basınç dayanımı $1.5-6.5$ ton / m^2 arasındadır. Taş yünü hacminin % 2.5-10'u arasında su emme özelliğine sahiptir. Ancak taş yünü ıslandığı zaman yalıtma özelliği kaybolur. Bu nedenle bazı taş yünü tiplerinde malzemenin içine su itici silikon sıkılır. Böylece malzeme ıslanmaya karşı korunarak yalıtım özelliğini kaybetmesi engellenir (Kalaycı, 2016).

2.2.1.3 Poliüretan

İzosiyanat bileşiğin alkol ile reaksiyonu sonucu alkolün hidrojen atomu izosiyanata kayarak poliüretan elde edilir. Genellikle levha halinde bulunmakla birlikte, prefabrik boru gibi şekil verilmiş formlarda da bulunabilirler (Akıncı, 2007). Poliüretan sarı renktedir. Hücrelerinin % 95'i kapalı gözeneklidir. Ayrıca poliüretan köpükleri açık

gözenekli, yumuşak veya sert ve küçük hacim ağırlıklı olarak da üretilmektedirler 30-200 kg/m³ yoğunluklarda kullanılır.



Şekil 2.5. Poliüretan

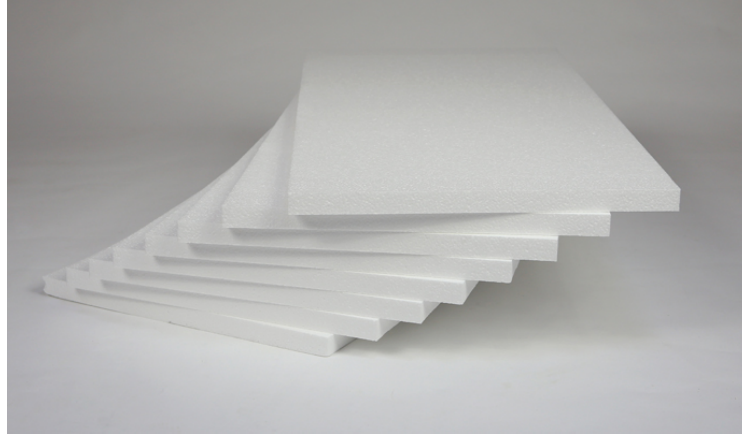
Genel olarak poliüretan aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Isı iletkenlik değeri $\lambda \leq 0.035$ W/mK'dir.
- Kullanım sıcaklığı: -200 / +110 °C
- Yanma sınıfı: B1 - B2 - B3 sınıfı zor, normal ve kolay alev alan
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: 30-100
- Mekanik dayanım: 100 - 400 kPa (10 - 40 ton/m²) (Kalaycı, 2016).

Poliüretan levhalar 110-120 °C sıcaklığa kadar devamlı dayanıklıdır. Petrol türevi bir ürün olduğu için bu malzemeler kolayca tutuşabilen ve yanabilen malzemelerdir. Bu malzemelerin yanması esnasında oluşan ısı yayılımı, is, zehirleyici ve aşındırıcı emisyonlar ciddi zararlara sebep olmaktadır. Bu yüzden, poliüretan malzemelerin farklı tekniklerle ısıl kararlılık ve yanma dirençleri artırılır. Bu teknikler arasında en yaygın olanı, üretim sırasında doğal mineral maddelerin ve alev geciktiricilerin ilave edilmesidir (Akıncı, 2007).

2.2.1.4 Genleştirilmiş polistiren (EPS) ve ekstrude polistiren (XPS)

Polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde (Şekil 2.6), taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz 'Pentan'dır (Demir, 2014).



Şekil 2.6. Genleştirilmiş polistren

Polistren sert köpük, yapay organik bir ısı yalıtım malzemesi olup, ilk kez 1952 yılında Alman BASF firması tarafından üretilmiş ve ‘Styropor’ adı altında dünyaya yayılmıştır. Styropor termo-plastik bir malzemedir. Bugün diğer ülkelerde olsun, Türkiye’de olsun inşaatlarda en çok kullanılan yalıtım malzemelerinin öncülerindedir. (Akıncı, 2007). EPS ’nin başlıca tercih edilme nedenleri şunlardır;

- Isı iletkenlik beyan değeri $\lambda \leq 0.040$ W/mK’dir.
- Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ ’dir.
- Sıcaklık dayanımı uzun sürede yoğunluğa bağlı olarak maksimum 75-85 °C’ye, minimum olarak -180 °C’ye kadar kullanılır. Bu nedenle çok soğuk tesisler için de uygun bir malzemedir.
- B1 sınıfı yanmaz malzemedir.
- Kapalı gözenekli olduğu için pratik olarak ıslanmaz, yalıtımı sürekli yapar. Kapiler ve higroskopik değildir.
- Sonsuz ömürlüdür. Bina durdukça yalıtım görevine devam eder.
- Çok hafiftir, kolay taşınır, kolay uygulanır (Kalaycı, 2016).

EPS’ler petrol türevi bir ürün olduğu için yanıcı bir malzemedir. Ancak içine özel maddeler karıştırarak zor alev alıcı veya kendi kendilerine sönen tiplerini de elde etmek mümkündür.

XPS (Ekstrüde polistren köpük) polistren sert köpüğün banttan çekilerek üretilen tipidir. Bu malzemelerin hücre yapıları ve dağılımı homojendir. Isıl iletkenlik katsayıları EPS’lere göre daha düşüktür. Levhaların kapalı hücre yapılarının şekilleri itibarıyla su alma durumları daha da azdır. Yoğunlukları 25-45 kg/m³ arasında değişmektedir. En önemli özelliklerinden biri basınca karşı olan dayanımının fazla

olmasıdır. Ayrıca su buharı direnç faktörleri de yüksektir. Isıl iletkenlikleri bakımından; 33 kg/m^3 yoğunluğundaki XPS, $\lambda = 0.026 \text{ W/mK}$ olmaktadır. Aynı şekilde bu malzeme kullanım sıcaklığı en çok $75-80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (Akıncı, 2007).

2.3. Türkiye ve Dünyada Yalıtım

Yalıtım konusunun, başlı başına bir uzmanlık alanı olarak ele alınması kısa bir süre önce gerçekleşebilmiştir. Ancak, uzak geçmişte, binalar yapılırken, basit barınma ihtiyaçlarının yanı sıra özellikle çevre koşulları da dikkate alınır, yalıtıma ilişkin çözümlere yer verilirdi. Ancak, dünyada, yalıtımın bir uzmanlık alanı haline gelmesi, 1920'lerden itibaren başlayan uzun bir süreçte gerçekleşmiştir. Türkiye'de ise yalıtım konusunun bir uzmanlık alanı olarak görülmeye başlaması henüz çok yenidir (Şen, 2006).

Avrupa ülkeleriyle yapılan kıyaslamalar, Türkiye'nin yalıtım konusundaki vahim durumunu göstermek açısından yararlıdır. Fransa'da yalıtım ürünleri pazarının büyüklüğü 30 milyon metreküp iken Türkiye'de bu rakam 2.5-3 milyon metreküp 'tür. Pazarın parasal büyüklüğü 300 milyon dolar; kişi başına yalıtım tüketimi ise 0.04 m^3 'tür. Avrupa'da kişi başına yalıtım malzemeleri tüketimi 0.4 m^3 , Amerika'da ise 1 m^3 seviyesindedir. Kişi başına ısı yalıtım ürünleri tüketimi bakımından yapılan kıyaslama, Türkiye'nin Almanya'nın 20 kat, Fransa'nın ise 10 kat gerisinde kaldığını göstermektedir. Aynı kriterde Türkiye; İtalya, İspanya ve Portekiz'in 5 kat gerisindedir (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.9. Kişi başına düşen enerji ve yalıtım malzemesi (Şen, 2006).

Bölge	Ülke	Enerji Tüketimi (KEP*/Kişi)	Isı Yalıtım Malzemesi Tüketimi (m ³ kişi)
Kuzey Avrupa	Finlandiya	3985	0.66
	İsveç	3503	0.35
	Danimarka	3742	0.63
	Norveç	4748	0.84
Kuzey Amerika	Kanada	6941	0.78
	ABD	6679	0.49
Orta Avrupa	Almanya	3936	0.4
	İsviçre	2656	0.31
	Fransa	2604	0.29
	Avusturya	2813	0.37
	Hollanda	5054	0.24
	Belçika	3892	0.24
	İngiltere	3575	0.18
Akdeniz Ülkeleri	İtalya	2499	0.06
	İspanya	1474	0.06
	Yunanistan	1716	0.05
	Türkiye	782	0.04
Tropik Bölgeler	Avustralya	4792	0.17
	Kuveyt	6434	0.12
	Arjantin	1335	0.02
	Güney Afrika	1971	0.019
	Brezilya	537	0.008

Türkiye'de yalıtım açısından 1998 yılında Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan ve 1999 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından zorunlu standart olarak yayınlanan TS-825 standardı da önemli bir dönüm noktası sayılmaktadır. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, bu standardın yeni binalarda uygulanmasını sağlamak amacıyla, Haziran 2000'de Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'ni hazırlamıştır. Yapı denetim sisteminin içine dâhil edilen bu yönetmelik, 2000 yılından bu yana yeni ruhsat alınan ve inşa edilen binalarda uygulanmaktadır (Şen, 2006).

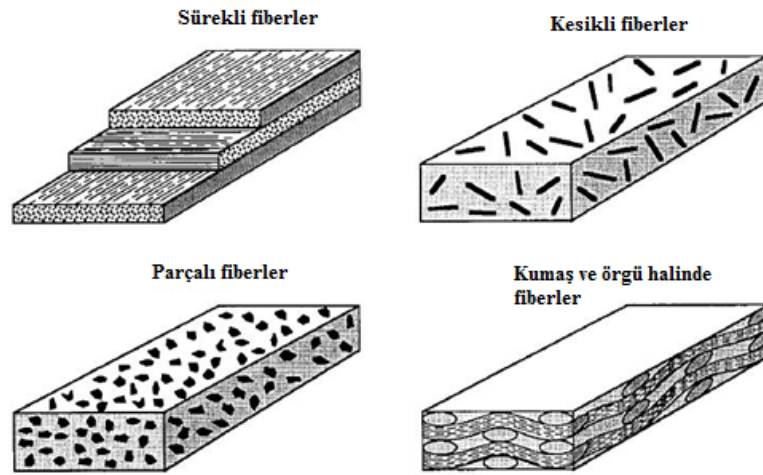
Türkiye'nin enerji kaynakları açısından panoraması, enerjinin önümüzdeki yıllarda Türkiye'nin en önemli sorunlarından biri olacağını göstermektedir. Bu noktada ısı yalıtımının önemi ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de tüketilen enerjinin %35'ine yakın kısmı konutlarda tüketilmektedir. Bu enerjinin % 80'i ısıtmada kullanılmaktadır. Bu da

ısı yalıtımının enerji tasarrufu açısından önemli bir potansiyel taşıdığı göstermektedir. Günümüzde konutların ısıtılması için enerji tüketilen enerjinin parasal karşılığı 6 milyar dolar civarındadır. Yapılan hesaplamalar Türkiye'deki bina stokunun mevcut standartlara göre yalıtılması durumunda enerji tasarrufunun parasal olarak yılda 3 milyar doların üstünde olacağını göstermektedir Isı yalıtımına yapılan harcamalar 2 ile 5 yıl arasında kendini amorti etmektedir. Tüm bunlarla birlikte, binalarda yalıtımla elde edilecek tasarrufun, binalardan kaynaklanan karbondioksit emisyonunu yarı yarıya azaltacağı tahmin edilmektedir. Bu da daha temiz bir çevre için Türkiye'nin katkısı olacaktır. Nüfus, kişi başına düşen milli gelir, coğrafi konum gibi yalıtıma doğrudan etki eden etkenler ile karşılaştırıldığında, gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen birim tüketimleri ülkemize oranla 10 ile 25 kat fazladır. Bu çerçeveden bakıldığında, Türkiye'de yalıtım sektörünün büyüme hedeflerinin, pazar yapısı, ürün çeşitliliği, standartlaşma konularını da içeren geniş bir kapsamda değerlendirilmesi ve ele alınması gerekmektedir (Şen, 2006).

3. AGREGA ESASLI KOMPOZİT YAPI MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Binalarda yapı elemanlarından geçen ısı kaybını azaltmada yapıların termofiziksel özelliklerini iyileştirmek önemli bir etkiye sahiptir. Enerji verimli binalarda kullanılacak, yalıtım özelliği yüksek, mekanik özellikleri uygun ve hafif olan taşıyıcı, duvar ve mantolama malzemelerinin geliştirilmesi için bu yapıları oluşturan malzemelerin içeriğinin, özelliklerinin, karışım oranlarının vb. malzemeye etki eden tüm parametrelerin bilinmesini gerektirir. Bu amaçla bu bölümde ilk olarak agrega esaslı kompozit yapı malzemelerinin tanımı, oluşturan malzeme içerikleri ve bu yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Bununla birlikte agrega esaslı mantolama malzemelerinin oluşum ve özellikleri beton ile benzer olduğundan yalnızca farklı olan kısımlar ayrıca irdelenecektir.

Kompozit kelime olarak “farklı parça veya maddelerden oluşma” anlamına gelir. Doğal olarak, bir kompozit malzeme, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı iki veya daha fazla malzemenin birbirine bağlanarak oluşturduğu ve farklı özelliklere sahip olan malzemelerdir. Doğada, kompozit malzemeler milyonlarca yıldır var olmuştur. Kompozit malzeme üretim teknolojisi saman takviyeli kerpiç bloklardan elyaf takviyeli polimerlere, seramik ve metalik matrislerden karbon-karbon kompozitler gibi sentetik lif takviyeli kompozit malzemelere doğru ilerlemiştir. Diğer taraftan fiber takviyeli kompozit malzemelerinin bakır, çelik, alüminyum, titanyum vb. konvansiyonel mühendislik malzemeleri üzerinde sahip olduğu belirgin avantajlar günümüz teknolojisinde büyük oranda yer almalarını sağlamıştır. Bu kompozit malzemeler genel olarak farklı özellik ve dizilişte olan fiberlerin matris denilen takviye elemanları tarafından bağlanmasıyla oluşturulmuşlardır. Fiber ve matris arasındaki bu bağ, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde temel etkiye sahiptir. Fiber takviyeli kompozitler genellikle kullanılan matris malzeme türüne göre sınıflandırılır; polimer matrisli kompozitleri (PMC), metal matrisli kompozitler (MMC), seramik matrisli kompozitler (CMC) ve karbon/karbon kompozitler (CCC). Şekil 3.1’de fiber takviyeli kompozitler malzemelerde kullanılan temel takviye çeşitlerini gösterilmektedir: hizalanmış sürekli fiberler, kesikli fiberler, parçalı fiberler, kumaş ve örgü halinde fiberler (Choo, 2000; Gay, 2014).



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerde fiberle güçlendirme şekilleri (Gay, 2014).

3.1. Matris veya Bağlayıcılar (Yapıştırıcılar)

Bağlayıcılar, montaj olmayan veya gevşek olan iki malzemenin bir araya getirilip yeni bir malzeme oluşturmasında çok etkilidirler. Bağlayıcılar genel olarak iki ana gruba ayrılabilirler: organik ve inorganik yapıştırıcılar. Organik yapıştırıcılar da hayvansal, bitkisel ve sentetik kökenli olmak üzere üçe ayrılabilirler. Bağlayıcıların sınıflandırılmasının bir başka yolu, bu bileşiklerin kimyasal niteliğine dayanır:

- protein veya protein türevleri,
- nişasta, selüloz veya sakızlar ve bunların türevleri,
- termoplastik sentetik reçineler,
- termoset sentetik reçineler,
- doğal reçineler ve bitümler,
- doğal ve sentetik kauçuklar,
- inorganik bağlayıcılar.

Bağlayıcılar ayrıca, amaçlarına göre sınıflandırılabilirler: sert plastikler ve sert metaller gibi sert yüzeylerin yapıştırılması ve esnek plastikler ve ince metal saclar gibi esnek yüzeylerin birleştirilmesi (Swift ve Kissell, 2016).

3.1.1. Organik bazlı yapıştırıcılar

Yalıtım malzemesi teknolojisi gelişiminde uzun yıllar boyunca farklı tür yapıştırıcılar ve yalıtım malzemelerinin mekanik ve ısı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Organik yapıştırıcılardan asfalt ve nişasta özellikle birçok çalışmada yer almış ve günümüz yalıtım teknolojisinde kullanılmıştır. Nişasta, α -D- (1.4) glukozidik

bağlarla bağlanmış anhidroglukoz birimlerinden oluşan bir karbonhidrat polimeri olup., dünyada bulunan en bol organik bileşik olması kullanımını yaygınlaştırmıştır. Nişasta, bir enerji rezervi görevi gören yüksek bitkilerin yaprakları, sapsarı, yumruları, tohumları ve köklerinden elde edilebilir. Bunun yanı sıra nişasta, gıda, tekstil, kozmetik, plastik, yapıştırıcılar, kağıt ve ilaç gibi çeşitli endüstrilerde de kullanılmaktadır (Manek ve ark., 2012).

Termoplastik bağlayıcılar, polivinil asetat, polivinil bütiral, polivinil alkol ve diğer polivinil reçineleri gibi çeşitli polimerize malzemeleri içeren, polistiren reçineleri, akrilik ve metakrilik asit ester reçineleri, siyanoakrilatlar, poliizobutilen poliamitler, courmarone-idene ürünleri ve silikonlar gibi çeşitli diğer sentetik reçineleri kapsayan bağlayıcılardır. Mükemmel mekanik ve elastik özellikleri, sertlik, yüksek aşınma ve kimyasal dayanıma sahip olma gibi özellikleri ile termoplastik poliüretanlar, segmentlenmiş polimerlerin multi-fazlı bir çeşit gurubudur ve endüstride, otomotiv yan sanayide, inşaat, kablo ve ayakkabı sanayisinde geniş uygulama alanları bulmaktadır (Shan ve ark., 2011).

Termoset veya termoelastik bağlayıcılar, çeşitli fenol-aldehid, üre-aldehid, melamin-aldehid ve poliüretan reçineleri gibi diğer yoğunlaşma-polimerizasyon malzemelerinden oluşur. Termoset bağlayıcılar, ısı ya da katalitik eylem yoluyla çözünmeyen ve sızdıran maddelere dönüştürülmesi vasıtasıyla karakterize edilebilir. Tekstiller, plastikler, kauçuklar ve diğer pek çok malzemenin bağlanması için fenol, resorsinol, üre, melamin-formaldehit, fenolfürfuraldehit ve benzeri içeren bağlayıcı bileşimleri kullanılır (Swift ve Kissell, 2016).

Nişasta, asfalt, termoplastik ve termoset, elastomer gibi genel olarak organik bazlı yapıştırıcıların çok üstün mekanik ve elastik özelliklerine rağmen özellikle yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmeleri nedeniyle özellikle son yıllarda yangın oluşumunu ve yayılmasını önleyebilecek yapı malzemelerine olan ihtiyaç artmıştır. Bununla birlikte yaygın olarak yapılan çalışmalarda organik yapıştırıcı veya elyaf (fiber) içeren malzemelere yangın geciktirici veya yanıcı olmayan malzemelerin ilave edilmesi araştırılmaktadır. Bu ise matris malzemesinin yangın geciktirici özelliğini çok arttırmamakla beraber ortaya çıkan kompozit malzemenin mekanik özellikleri de oldukça kötüleşmektedir. Bu yüzden çalışmalarımız çimento ve kireç gibi inorganik bazlı yapıştırıcı üzerinde yoğunlaşmıştır.

3.1.2. İnorganik bazlı yapıştırıcılar

İnorganik bağlayıcılar genellikle uygun bileşimdeki doğal hammaddelerin ısı işlemi ile üretilen inorganik maddelerdir. Bu bağlayıcılar, kendi kendini sertleştirme kabiliyetine sahip olan, tanecik sistemlerini sert ve kompakt bir şekilde birleştiren malzemelerdir. Bağlayıcılar genel olarak içeriğinde dolgu maddesi de barındırabilirler. İstenen su miktarı ile karıştırılmaları sonucunda, hızlı katılaştıran ve sertleşen bir malzemeyi oluşturabilirler. Oluşturulan kompozit malzemenin dayanımı, tanecik ve gözeneklerin boyutu, miktarı, şekli, türü ve gradasyonuna (dağılımına) bağlı olacaktır. İnorganik bağlayıcının sertleşmesi iki bölümden oluşur: katılaştırma ve sertleştirme. Katılma malzemenin deforme edilebilirliğinin giderek azalması (akışkanlığı kaybetme) ile nitelendirilebilir. Bu aşama daha sonra ikinci aşama olan sertleşme safhasına geçer ve bu safhada malzeme mekanik özelliklerini kazanır. Katılma ve sertleşme esnasında, hidrasyon (bileşenlerin su ile reaksiyonu) adı verilen karmaşık kimyasal reaksiyonlar sıklıkla meydana gelir. Bununla birlikte, kimyasal sürecin kendisi, uygun mekanik özellikleri oluşturacak fiziksel bir eylem ile beraber yapılmazsa sertleşme sağlanamaz.

İnorganik bağlayıcılar aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

1. Doğrudan bağlayıcılar: doğrudan su ile reaksiyona girerek katılma ve sertleşmeyi meydana getiren bağlayıcılar (alçıtaşı, kireç, çimentolar)
2. Gizli hidrolik bağlayıcılar: sadece su ile katılmayan ve sertleşmeyen aynı zamanda bir katalizöre ihtiyaç duyan bağlayıcılar (cüruf, uçucu kül).

Bunun yanında pratik açıdan, iki ana inorganik bağlayıcı grubu olarak da ayırabiliriz:

1. Teknik bağlayıcılar: fosfat bağlayıcıları, silikatlar

2. Yapı bağlayıcıları: çimento, kireç, alçı gibi harcı oluşturan temel malzemelerdir.

Çimentolar ayrıca üç gruba ayrılmıştır:

- Hava çimentoları
- Hidrolik çimentolar
- Özel çimentolar

Hava çimentolarında su ile karıştırıldıktan sonra sırasıyla katılma ve sertleşme işlemi tamamlanır, fakat bu bağlayıcılar sadece havada kararlıdırlar. Nemli bir ortamda veya suda bekletilirken dayanımları azalır ve sıklıkla parçalanırlar. Bunlar genel olarak alçı bağlayıcıları, magnezyum bağlayıcılar ve hava-kireci bağlayıcılarıdır.

Hidrolik çimentolarında su ile karıştırılma işleminden sonra sırasıyla katılma ve sertleşme tamamlanır ve bu bağlayıcılarla hazırlanan ürünler suda daha iyi sertleşmektedir. Bu bağlayıcılar hem hava hem de suda kararlı olup suda bekletilirken daha yüksek dayanımlara ulaşırlar. Bunlar genel olarak hidrolik kireç ve hidrolik çimento bağlayıcılarıdır.

Özel çimentolar ise farklı özellikleri ile ortaya çıkmaktadırlar (ör. yüksek sıcaklık dirençli alüminli çimento).

Çimentolar şu anda inşaatta en çok kullanılan bağlayıcı türüdür. Özellikle hidrolik çimentolar ince öğütülmüş inorganik maddeler olup suyla karıştırıldığında, hidrasyon reaksiyonları ve prosesleri sonucunda oluşan ve katılan bir bulamaç oluşturmaktadır. Sertleştikten sonra, sudaki dayanıklılığını korur. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bu bağlayıcıların aynı zamanda yüksek ısı iletkenlikleri mantolama malzemelerinde kullanımını zorlaştırmıştır (Topinkova, 2015).

3.1.2.1. Çözülebilir silikatlar:

Çözülebilir silikat camları, tozları ve sıvıları ile hem ticari hem de türevleri açısından hacimce en çok üretilen sentetik kimyasal maddeler arasındadır. Aynı zamanda antropojenik olarak en eski kimyasal sınıflardan birini temsil ederler. Sodyum silikatlar eski Mısırlılar tarafından 5000 yıldan daha önce, kuvars kumu ve doğal olarak oluşan sodyum karbonat eritilerek üretilmiştir (CEES, 2004).

Çözülebilir silikatlar, genellikle belirgin bir kimyasal formüle ve molekül ağırlığına sahip olan kimyasal maddelerden olmayıp çeşitli oranlarda alkali metal oksit ve silika kombinasyonlarından elde edilen cam veya sulu cam solüsyonlarıdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Cam suyu da olarak bilinen sodyum silikatın katı haldeki görünümü (CEES, 2004).

Çözülebilir alkali silikatlar için genel formül şu şekildedir:



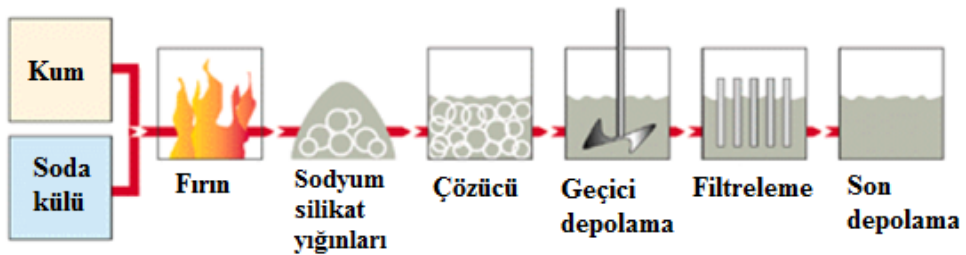
burada M , Na (Sodyum), K (Potasyum) veya Li (Lityum)'dur. x , alkali metal oksit (M_2O) molü için silika mol sayısını (SiO_2) tanımlayan molar oranıdır (MR). Endüstride, SiO_2 : M_2O ağırlık oranının (WR) molar oranına bağlı olan (MR) daha yaygın olarak gösterimi aşağıdaki gibidir:

- Sodyum silikatlar: $MR = 1.032 WR$
- Potasyum silikatlar: $MR = 1.566 WR$
- Lityum silikatlar: $MR = 0.5 WR$

Belirtilen çözülebilir silikatlar alkalın maddeler olup konsantre ürünlerin pH değerleri genellikle 10 ila 13 arasındadır. MR veya WR azaldığında ürünlerin alkaliliği artar.

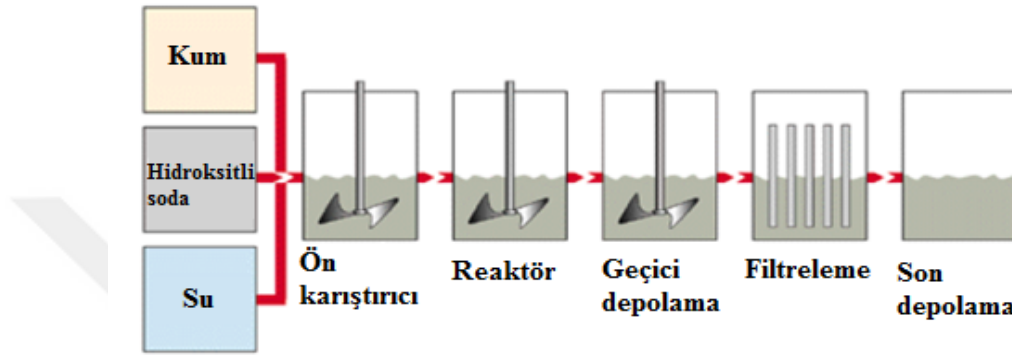
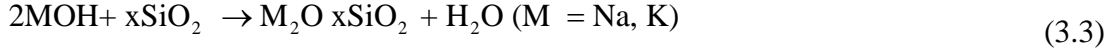
Çözülebilir silikatlar cam toprakları, öğütülmüş camlar, sulu çözeltiler veya kurutulmuş tozlar olarak üretilir ve pazarlanır. Bu ürünlerin fiziksel, kimyasal, toksikolojik ve eko-toksikolojik davranışları, bireysel ürünlerin alkalilik derecesini kontrol ettiği için MR/WR oranı SiO_2 : M_2O 'ya bağlıdır. Bununla birlikte çözülebilir silikatlar genel olarak aşağıda verilen yöntemlerle üretilirler:

a) Sodyum ve potasyum silikat camları (topakları), yağ, gaz veya elektrikle ateşlenen fırınlarda $1000^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda tam olarak ölçülen saf silika kumu (SiO_2) ve soda külü (Na_2CO_3) veya potas (K_2CO_3) bölümlerinin doğrudan füzyonuyla aşağıdaki reaksiyona göre üretilir (Şekil 3.3):



Şekil 3.3. Silikatların soda külü kullanılarak üretimi

b) Çözülebilir silikat solüsyonları ya çözülebilir silikat topraklarının suda yüksek sıcaklıklarda (ve kısmen yükseltilmiş basınçta) çözündürülmesiyle veya aynı nitelikteki reaktif silika kaynağının (esas olarak silis kumu) ilgili alkali hidroksit çözeltisinde hidro-ısl olarak aşağıdaki denklemdeki gibi çözündürülmesiyle elde edilir (Şekil 3.4):



Şekil 3.4. Silikatların hidroksitli soda kullanılarak üretimi

Genel olarak, solüsyonlar daha sonra belirli özellikli ürünler üretmek üzere filtrelenir ve ayarlanır.

c) Amorf silikat tozları, sprey veya tamburlu kurutucular vasıtasıyla sulu çözeltilerin kurutulmasıyla yapılır. Bu ürünler daha sonra, tozun özelliklerini (örneğin; parçacık boyutu, yığın yoğunluğu) değiştirmek için işlenir,

d) Alkali silikat toz kristallerinin belirli bir bileşimi (fakat farklı miktarlarda kristalleşme suyu içeren) çeşitli yollarla üretilebilirler; örneğin sodyum metasilikat pentahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) normal olarak $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O} = 1.0$ (WR) olan bir ana likör elde etmek için, nihai ürünün kristalize olduğu sodyum silikat solüsyonları ve ilave kostik soda (NaOH) karışımı ile üretilir.

Çözülebilir silikat ürünlerinin tipik uygulama alanları ve kullanımını aşağıdaki gibidir:

- Kimya endüstrisi (ham maddelerin sentezi için, örneğin çökelen silis, zeolitler, katalizörler vb.)
- Deterjan endüstrisi (alkali, tamponlama maddeleri, korozyon engelleyicileri gibi)
- Kağıt hamuru ve kağıt endüstrileri

- Yapışkanlar (ör. Tüp sarımı, folyo laminasyonu, vb.)
- Tekstil işleme
- Toprak enjeksiyonu
- Su ve atıksu arıtımı
- Petrol ıslahı
- Mineral cevher flotasyonu
- İnorganik bağlayıcı olarak örn.
- Boyalar, sıvalar, özel kaplama malzemeleri
- Briketleme ve yığınlaşma
- Ateşe dayanıklı malzemeler
- Döküm kalıpları ve çekirdekleri
- Kaynak çubukları

Bununla birlikte 2010 verilerine dayanarak sadece Batı Avrupa'da çözülebilir silikatların 760,000 tondan (SiO_2 bazında) daha fazla üretildiği belirlenmiştir.

Çözülebilir silikatların sınıflandırılması, tek tek ürünlerin molar oranına bağlıdır. Sağlık açısından çözülebilir silikatların farklı gruplarının sınıflandırılması, yalnızca pH değerleriyle değil, aynı zamanda geçmişte gerçekleştirilmiş ve belgelenmiş cilt ve göz tahrişi testlerine dayalıdır. PH değeri ile paslanma veya tahriş edici özellikler arasında doğrudan bir ilişki mevcut değildir. Örnek olarak, yaklaşık % 0.4' lük bir hidrosit soda (NaOH) içeren sulu bir solüsyon 13.0 ph değeri göstermekte ve AB sınıflandırma ve etiketleme yönetmeliklerine (CLP) göre tehlikeli (paslandırıcı veya tahriş edici) olarak sınıflandırılmaz (CEES, 2004).

Sayırsız alanlarda bağlayıcı olarak alkali silikat solüsyon ve katkılarının kullanılması uzun süredir bilinmekte olup, uygulamalarda da büyük ölçüde etkili olmuşlardır. Ancak, daha öncede belirtildiği gibi, alkali silikat solüsyonları bir katalizör yardımı olmadan tek başına sertleşme ve katılaşmayı gerçekleştirmediği gibi, nem ve iklim direnci, sıcaklık kararlılığı, sertlik ve esneklik gibi birçok teknik özelliği de tam olarak karşılayamamaktadır. Bu özelliklerin geliştirilmesi ve uygun katalizörlerin bulunması için alkaliye sayısız öneriler solüsyona eklemeler biçiminde yapılarak incelenmiştir. Özellikle, bazik olarak tepkimeye giren ürünler için üre, asitler, veya asitle reaksiyona giren bileşikler katalizör olarak önerilmiştir (Volker, 1970).

Alkali silikatlarda, özellikle sodyum silikat, sertleştirme malzemesi gaz, sıvı ve katı olmak üzere 3'e ayrılır. Çizelge 3.1'de alkali silikat bağlayıcılarla oluşturulmuş

kompozit malzemelerde yaklaşık olarak silikanın hacimce oranı bu katalizörlerin ağırlıkça kullanım aralığı verilmiştir.

Çizelge 3.1. Farklı katalizör maddeleri kullanarak önerilen bileşimler (Perlite Institute, 2010)

Malzeme*	Gaz sertleştirici	Sıvı sertleştirici	Katı sertleştirici
Agrega hacmi cinsinden % olarak sodyum silikat solüsyonu	% 2.5-5	% 5-10	% 5-15
Sertleştiricilerin sodyum silikat ağırlığına göre % kullanımı	% 15-25 20°C'de	% 8-14	% 25-50

* Gerekli silikat miktarı, kullanılan agreganın parçacık boyutuna, yoğunluğuna ve emiciliğine bağlı olacaktır

Alkali silikat bağlayıcılı kompozit malzemelerde sertleşmeyi sağlayan katalizörlerin kullanımı yanında kürlenme sıcaklığı ve kürlenme yöntemi de malzemenin yüksek mekanik özellik kazanmasında etkilidirler. Bu durum ayrıntılı olarak malzeme ve yöntem kısmında incelenmiştir.

3.2. Beton ve Özellikleri

Günümüzde bina yapılarını oluşturan genel olarak taşıyıcı olarak kullanılan kompozit malzemeler özel olarak 'beton' adını almıştır. Beton, agregalar arasındaki boşluğu dolduran ve onları birleştiren sert bir matris malzemesinde (çimento veya bağlayıcı) gömülü iri tanecikli malzemelerden (agrega veya dolgu maddesi) oluşan bir kompozit malzemedir (Şekil 3.5) (Sidney ve ark., 2003). En basit biçimde beton, yapıştırıcı ve agregaların karışımıdır. Portland çimentosu (kalsiyum silikat) ve sudan oluşan yapıştırıcı, ince ve iri agregaların yüzeyini kaplar. Hidratasyon denilen kimyasal bir reaksiyonla yapıştırıcı sertleşir ve beton olarak bilinen kütleli bir malzemeyi oluşturur.



Şekil 3.5. Beton üretiminde kullanılan beton bileşenleri (Kosmatka ve ark., 2002)

İnşaat malzemesi olarak betonun popülerliği ve yaygın kullanımı, diğer inşaat malzemeleri üzerindeki avantajlarından kaynaklanmaktadır. Bu avantajlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Beton, başta plastik halde olması ve zamanla sertleşmesinden dolayı istenilen şekle dökme özelliğine sahiptir.
- Beton dayanıklıdır, paslanmaya karşı dirençsiz olan çelik gibi kalitesini kolayca kaybetmez ve ahşap gibi zamanla bozunmaz.
- Beton ekonomiktir: a) hacminin yaklaşık dörtte birini oluşturan agregaların bolluğu ve nispeten düşük fiyatı nedeniyle, b) yarı vasıflı işçiler büyük oranda istihdam edilebilir olması ve bununla birlikte beton işlerinde nispeten daha basit ekipman kullanıldığından, c) bakım masrafı düşüktür.
- Beton, metaller ve diğer inşaat malzemeleri ile karşılaştırıldığında etkili bir malzemedir. Beton hacminin en büyük bölümünü oluşturan agregalar bahsedilen kadar bol ve ucuzdur.
- Beton tatmin edici derecede yüksek basınç dayanımına sahiptir.
- Beton, metaller ve kerestelerinkine kıyasla oldukça yüksek yangın direncine sahiptir.
- Beton, estetik özelliklere sahiptir; çünkü herhangi bir şekil ve renge sahip beton elemanlar, katkı maddeleri kullanılarak kolaylıkla üretilebilir.
- Enerji verimli binalarda beton, ısı kütleyi kullanmaktadır (Sabnis, 2015).

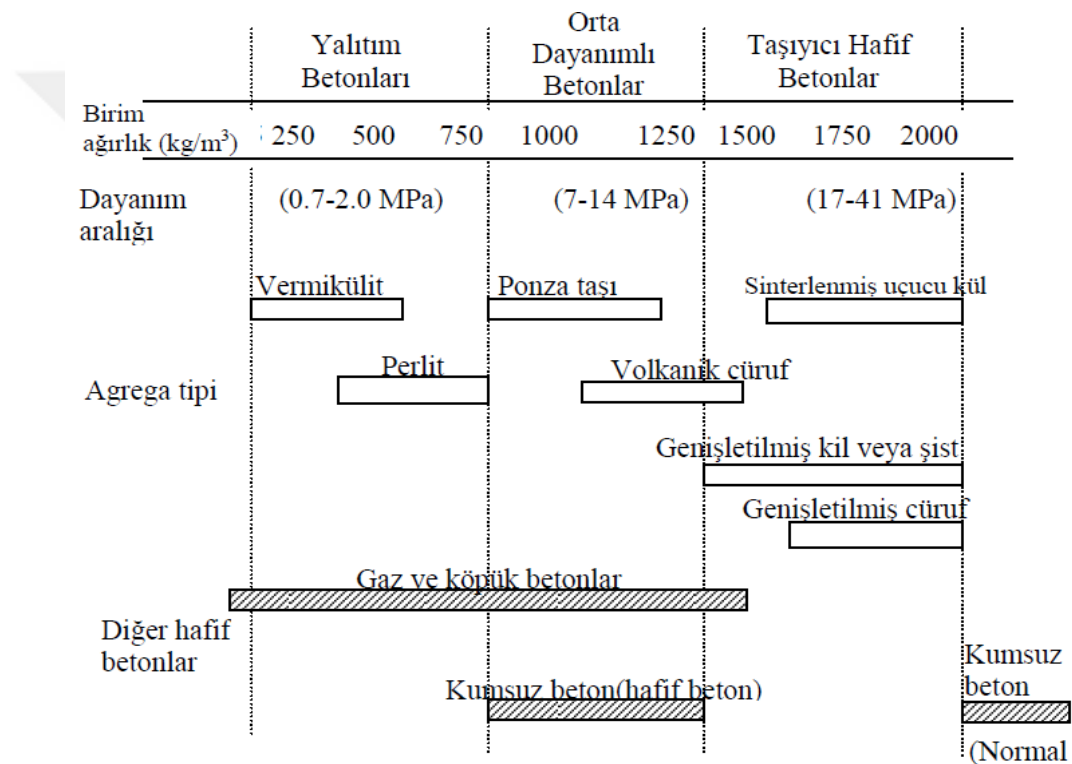
Betonlar, yoğunluklarına göre üçlü gruplara ayrılır:

1. Ağır beton: Yoğunluğu 3200 kg/m^3 - 4000 kg/m^3 arasında değişen ve özellikle nükleer reaktörlerde kullanılan beton türüdür.

2. Normal beton: Yoğunluğu 2400 kg/m^3 - 2600 kg/m^3 arasında değişen beton türüdür.

3. Hafif beton: Yoğunluğu 2000 kg/m^3 'den azdır.

Hafif betonlar yapısal hafif betonlar ve yapısal olmayan amaçlarla ultra hafif betonlar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Şekil 3.6'da, çeşitli hafif agregalarla üretilmiş betonların yoğunluk ve dayanım aralıkları verilmiştir.



Şekil 3.6. Hafif betonların sınıflandırılması (Kosmatka ve ark., 2002)

Şekilden 3.5'ten görüldüğü gibi minimum basınç dayanımı taşıyıcı hafif betonlar için 17.0 MPa'dır ve bu betonlar 40.0 MPa'a kadar dayanımlara ulaşabilmektedir. Bununla birlikte, taşıyıcı hafif betonların ısıl iletkenlik değerleri normal ağırlıklı betonlara göre oldukça üstündür (Chandra ve Berntsson, 2002). Hafif betonların başlıca avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yapının ağırlığını azaltarak destek tabanının ve sütun boyutunun kesitini azaltabilir. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle, betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılıp yapı hafifletilmekte, böylece taşıyıcı sistem

elemanlarının kesitleri küçültülerek yapım maliyeti düşürülmektedir (Azizi, 2007).

- Özellikle, depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte, dolayısıyla bina sallanırken yıkılmamaktadır (Washa, 1956; Taşdemir, 1984; Doğan ve ark., 2004).
- Binaların doğal yangın direncini artırır.
- Düşük ısı iletkenliği betonda hava boşluklar oluşturarak elde edilebilir. Bu da binalarda yüksek ısı yalıtımı sağlar.

3.2.1. Beton üretiminde kullanılan malzemeler

3.2.1.1. Çimento

Daha önceki başlıklarda bahsedildiği gibi birçok çimento çeşidi bulunmakta ve bu çimentoların kimyasal bileşimleri oldukça çeşitlilik gösterebilmektedir. Günümüzde inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan çimento türü Portland çimentosudur. Hidrolik silika çimentolarında olan Portland çimentosu, kalkerli ve killi malzemelerin uygun bir kombinasyonunun yakılmasıyla elde edilen çimento klinkeri ile birlikte az miktarda alçının pulverize edilerek üretilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Çimento ve su karışımı "harç" olarak adlandırılır. Harcın betondaki işlevi, agrega parçacıklarının yüzeylerini örtmek ve parçacıklar arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega parçacıklarını bağlayarak kompakt bir kütle üretmektir.

3.2.1.2. Su

Su, beton imalatında kilit bir bileşendir. İçme suları standartlarına ulaşamayan su ile bile kaliteli beton yapılabilir. Buna karşın, beton üretiminde kullanılan su içerisindeki zararlı etkilere sahip yabancı maddeler, betonun kalitesinde sorunlara neden olabilir. Eğer su büyük miktarda çözünmüş katı madde veya önemli miktarda organik madde içeriyorsa bu önlenmelidir (Kosmatka ve ark., 2002).

3.2.1.3. Fiberler

Agrega esaslı kompozitlerde mekanik olarak birçok özellikte artış yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinden mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok üst düzeyde olabilmektedir. Daha önceden bahsedildiği gibi fiberler, yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli fiberler veya uzun fiberlerin kesilmesiyle elde

edilen süreksiz fiberler veya elyaflar şeklinde olabilirler. Fiberlerin dayanımı kompozit yapının dayanımı açısından çok önemlidir. Ayrıca, fiberlerin uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından fiberlere iletilen yük miktarı artmaktadır. Fiber yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının dayanımında önemli olan diğer bir unsur ise fiber matris arasındaki bağ yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise fiberlerle temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da fiber ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

Fiberler kompozit malzemelerde ana bir bileşen olmasına karşın betonlarda genel olarak mekanik özelliklerini arttırmada yardımcı bir malzeme olarak kullanılırlar.

3.2.1.4. Agregalar

Agregalar genellikle beton hacminin % 70 ila 80'ini kaplarlar, bu nedenle beton özelliklerinde çok önemli bir etkiye sahiptirler. Doğal kaya ve kumlardan elde edilen kırma veya toz halindeki malzemelerdir. Bununla birlikte, genişletilmiş kil veya cüruf şeylleri gibi sentetik malzemeler çoğunlukla hafif betonda (Sidney ve ark., 2003) kullanılmaktadır. Boyutları açısından, agrega çoğunlukla iri ve ince olmak üzere iki gruba ayrılır. İri agrega 4 mm'den daha büyük parçacıkları tanımlamak için kullanılırken, ince agregalar 4 mm'ye eşit veya daha küçük parçacıklardır.

Agregalar kaynaklarına göre şöyle sınıflandırılır:

1. Doğal Agregalar: Üretim sırasında; ezme, ayrıştırma veya yıkama dışında doğal durumundan herhangi bir değişiklik göstermeyen, doğal yataklardan elde edilir. Kum, çakıl, pomza, perlit, kireçtaşı, kırmataş doğal agregalara örnektir.

2. Sentetik Agregalar: Günümüzde hafif betonlarda kullanılan çoğu hafif agregalar, hem özel olarak işlenmiş doğal malzemelerden hem de sentetik malzemelerden üretilmektedir. Genel olarak sentetik malzemeler, geniş çeşitlilikteki katı atıkların genel başlığı altına girmektedirler. Bunlar, belediye ve ev çöplerinden veya bina molozundan, cüruf ve uçucu kül gibi istenmeyen endüstriyel yan ürünlerden veya kullanılmayan atık malzemelerden (Sidney ve ark., 2003) elde edilebilir. Geri dönüştürülmüş lastik kauçukları bu grup altında yer almaktadır. Genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş vermikülit, yanmış kil ve uçucu kül agregası ısı ile üretilen agrega örneklerindedir.

Agregalar betonun bir mühendislik malzemesine dönüştürülmesi için olmazsa olmaz malzemelerdir. Betonun fiziksel olarak çok farklı özelliklere sahip olmasını sağlayabilirler. Betonda saf ve zengin harçların işlenmesinde çok büyük zorluklara

sebebiyet veren nemle ilişkili deformasyonlarını (örneğin büzülme) azaltmada oldukça büyük bir etkiye sahiptirler. Ayrıca, harca uzun vadeli deformasyon özellikleri kazandırır. Bununla birlikte, agregalar, genellikle, beton karışımlarına katılan malzemelerden daha dayanıklı ve dengeli olup betonum daha büyük dayanıma ulaşmasını sağlar. Bu sebeple, agregalar iki önemli yolla bir mühendislik malzemesinin üretilmesine yardımcı olurlar: Maliyeti düşürürler ve en ekonomik şekilde uygun bir ürün üretmek için temel mühendislik gereksinimlerini yerine getirirler (Kist ve Kigali, 2008).

Özgül ağırlığı veya birim ağırlığı ile ilgili olarak beton agregaları şu şekilde sınıflandırılır:

1. Normal ağırlıklı agregalar: Normal agregalarının özgül ağırlıkları 2.4 ile 2.8 g/cm³ arasında değişir.
2. Hafif agregalar: 2.4 g/cm³'den daha düşük bir özgül ağırlığa sahip agregalara hafif agregalar denir.
3. Ağır agregalar: 2.8 g/cm³'den daha büyük bir özgül ağırlığa sahip agregalara ağır agregalar denir (Alexander ve Mindess, 2010).

Beton agregası, asgari temizlik, mukavemet ve sürdürülebilirlik standartlarını karşılamak ve zararlı maddelerden büyük ölçüde arındırılmak zorundadır. Bu nedenle yeni veya denenmemiş agrega kaynaklarını kullanmadan önce petrografik inceleme de dahil olmak üzere kapsamlı test ve muayene yapılmalıdır. Aynı zamanda, farklı agrega türleri beton matrisinde farklı şekilde etkileşim halinde olabilir ve bu farklılıklar etkinin büyüklüğüne bağlı olarak teknik olarak önemli olabilir. Bazen, farklı agregaların betonda kullanılmasıyla artan dayanım ile birlikte çimento miktarında önemli azaltmalar yapmaya izin vererek, ekonomik açıdan yarar sağlayabilirler.

3.2.1.4.1. Agregaların fiziksel özellikleri

Hafif agregaların her birinin özellikleri, sertleştirilmiş ve plastik betonun özelliklerini taşıyabilir. Bununla birlikte, hafif ağırlıklı betona ait bu özellikler, normal ağırlıktaki betonunkiyle ortak olarak çimento harcının kalitesinden büyük ölçüde etkilenir. Betonun özelliklerini etkileyebilecek agregaların özellikleri aşağıdaki gibidir:

3.2.1.4.1.1. Gözeneklilik

Çoğu konvansiyonel yoğun mineral agrega parçacıkları ölçülebilir bir gözenekliliğe sahiptir ve bununla suyu emebilirler. Porozite, ϕ , pekişmiş veya

pekişmemiş katı malzemenin maddenin iç gözenek (boşluk) hacminin toplam hacmine oranıdır.

Agrega gözenekliliğinin önemi, agreganın yoğunluğu ve dolayısıyla dolaylı olarak beton dayanımı ve sertliği ile bağlantılı olan beton yoğunluğuna etkilerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, gözenekli agregalar daha düşük yoğunluk, elastik modül ve mukavemete sahip olarak; aşırı hafif ve yüksek gözenekli agregalar, özel karışım oranlarına ve işleme tekniklerine ihtiyaç duymaktadır. Özellikle bu gözenek sistemleri birbirine bağlıysa, betonun iyonlara ve sıvılara geçirgenliğini artırabilirler (Alexander ve Mindess, 2010).

3.2.1.4.1.2. Su emme özelliği ve nem miktarı

Gözenekli agregalar su emebilir. Bir agreganın parçacığının gözeneklerini su ile doldurmak için, gözeneklerinin birbirine bağlı olması ve yüzeyden açık olması gerekmektedir ve böylece dışarıdan gelen su, katıya nüfuz edebilmektedir. Su emme, doymuş hale getirildikten sonra fırında kurutulmuş bir numunenin kütlesindeki artışın kuru numunenin kütlesine yüzde oranı olarak ifade edilir. Agreganın parçacıkları farklı nem durumlarına sahip olabilirler. Kuru agreganın fırında 100-110 °C'de içerisinde nem olmayacak şekilde kurutulması durumu; hava kuru agreganın, agregaların kurutulduktan sonra çevre havasıyla higral dengesine (ortamdan agregaya hiçbir nem hareketi olmama durumu) ulaştıktan sonra bazı nemin agregaların tarafından tekrar tutulma durumu; doymuş kuru yüzey agregasının, agreganın parçacıklarının suya doymuş olmasına rağmen yüzeyinde serbest halde fazla nem olmama durumu; ıslak agreganın, parçacıklarının ve agreganın serbest tamamen doymuş olma durumu olarak tanımlanabilir. Şekil 3.7 bu farklı nem durumlarını göstermektedir. Nem durumu agreganın yoğunluğunu etkiler ve bu nedenle yoğunluk, bazı standartlarda belirlenmiş nem durumlarında ölçülür (Alexander ve Mindess, 2010).



Şekil 3.7. Agregaların nem durumu (Alexander ve Mindess, 2010)

Gözeneklilik ve yüzde su emilim miktarı şu şekilde hesaplanır:

$$\phi = \frac{(m_{dky} - m_k)}{(m_{dky} - m_s)} \times 100 \quad (3.4)$$

$$w = \frac{(m_{dky} - m_k)}{m_k} \times 100 \quad (3.5)$$

burada:

ϕ : Betonun gözenekliliği (porozite) (%)

w: su emme oranı (%)

m_k : etüv kurusu ağırlığı (g)

m_{dky} : Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı (g)

m_s : Numunenin sudaki ağırlığı (g) dir.

3.2.1.4.1.3. Yoğunluk

Bir katının Yoğunluğu ρ , kütlesinin kapladığı hacimle olan oranı olarak tanımlanır;

$$\rho = \frac{M_s}{V_s} \quad (3.6)$$

burada M_s ve V_s , sırasıyla katı maddenin kütlesi ve hacmidir. Agrega yoğunluğu ('normal ağırlık', 'hafif' veya 'ağır' agregası) agregaları sınıflandırmak için temel olarak kullanılır. Dolayısıyla, dikkate alınması gereken birkaç yoğunluk ölçüsü vardır.

3.2.1.4.1.4. Mutlak yoğunluk

Bu yoğunluk, iç kapalı gözenekleri hariç katının kendi yoğunluğudur. Kapalı geçirimsiz gözenekleri yok etmek için malzemenin toz haline getirilmesi işlemini içeren bu yoğunluk normal beton teknolojisinde kullanılmaz.

3.2.1.4.1.5. Bağıl yoğunluk (Özgül ağırlık)

Nispi yoğunluk' terimi, bazen 'özümlü ağırlık' terimi olarak da kullanılmaktadır. Bir katının göreceli yoğunluğunun standart su yoğunluğuna bölünmesi (1000 kg/m^3) ile hesaplanır. Mutlak yoğunluk için kullanılan birimlerden bağımsız olduğu için,

yoğunluğun göreceli bir ölçüsüdür ve faydalıdır. Normal agregaların nispi yoğunlukları yaklaşık 2.2 ila 3.0 arasında değişir. İri hafif agregaların özgül ağırlığı ise, normal ağırlıklı agregalarınınkinin yaklaşık 1/3 ila 2/3'ü aralığındadır (Alexander ve Mindess, 2010).

3.2.1.4.1.6. Yığinsal yoğunluk

Yığinsal olarak belirli bir hacmi işgal eden agregaya parçacıklarından oluşan malzemenin yoğunluğudur:

$$\rho_{\text{yığinsal}} = \frac{M_T}{V_T} \quad (3.7)$$

burada; M_T agregaya parçacıklarının oluşturduğu malzemenin toplam kütlesi (katıların kütlesi) ve V_T numunenin toplam hacmi. Çizelge 3.2. agregaların farklı yığinsal yoğunluklarını göstermektedir.

Çizelge 3.2. Agregaların yığinsal yoğunluğu açısından sınıflandırılması (Alexander ve Mindess, 2010).

Sınıflandırma	Yığinsal yoğunluk aralığı (kg/m ³)	Sıkıştırma durumu
Yalıtım	96-196	Kuru gevşek
Hafif yapı tuğlası	880-1120	Kuru gevşek
Hafif beton için	880-1120	Kuru gevşek
Hava soğutulmuş cüruf	>1120	Sıkıştırılmış
Normal beton	1200-1760	Sıkıştırılmış
Ağır beton	1760-4640	Sıkıştırılmış

3.2.1.4.1.7. Birim ağırlık

Birim ağırlığı kavramı, malzemeyi oluşturan agregaya parçacıklarının yığinsal topluluğu için de geçerlidir. Bir yığinsal malzemenin birim ağırlığı γ , ağırlık kuvveti ile ifade edilen malzemenin yığinsal yoğunluğudur.

$$\gamma = \rho_{\text{yığinsal}} g \quad (3.8)$$

'Yığinsal yoğunluk' ile 'birim ağırlık' farklı olmasına rağmen literatürde sıklıkla 'birim ağırlığa' denk gelmektedir (Alexander ve Mindess, 2010).

3.2.1.4.1.8. Parçacık şekli

Parçacık şekli yalnızca agrega parçacıklarının temel şeklini değil, aynı zamanda açısallık ve pullanma özelliklerini belirtir. Parçacık şekli, parçacık boyutlarını, uzunluk, genişlik ve kalınlıklarını ölçerek sayısallaştırılabilir ve sınıflandırılabilir.

Eritilmiş metalürjik cürüfler gibi sentetik agregalar çok zayıf parçacık şekillerine sahip olabilirler. Öte yandan, doğal çakıllar daha küresel olma eğilimi göstererek, yıpranmaya bağlı olarak yuvarlak kenarlara sahip olmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Parçacık şekillerinin gösterimleri (Alexander ve Mindess, 2010)

Agrega parçacıkları her ne kadar küresel ve yuvarlak yapıya yakın ise, işlenebilirlik ve düşük su ihtiyacı açısından beton için o kadar caziptir. Pullaşmış ve uzatılmış agregalar, su gereksinimini arttırmann yanı sıra parçacıkları suyu hapsedebilirler. Şekil 3.7, parçacık şekillerini gösteren bir dizi şekil sunmaktadır. Özellikle ince agregaların şekli, betonun plastik özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğundan çok önemli bir yere sahiptirler. Yuvarlak ve daha az açısallık parçacıklar plastik karışımda, pul pul ve köşeli parçacıklara kıyasla daha az dirençle birbirlerine sarılabilir veya kayabilirler. Kötü şekilli parçacıklar, aynı zamanda karışım ile agrega arasında birbirine kilitleme eğiliminde olup, enerjiye karşı direnç gösterirler. Şekil ayrıca, agregaların boşluk içeriğini ve yığınsal yoğunluğunu, düşük sıkıştırılmış yoğunluklara ve kötü şekillendirilmiş parçacıklardan kaynaklanan daha yüksek boşluk içeriğini etkiler.

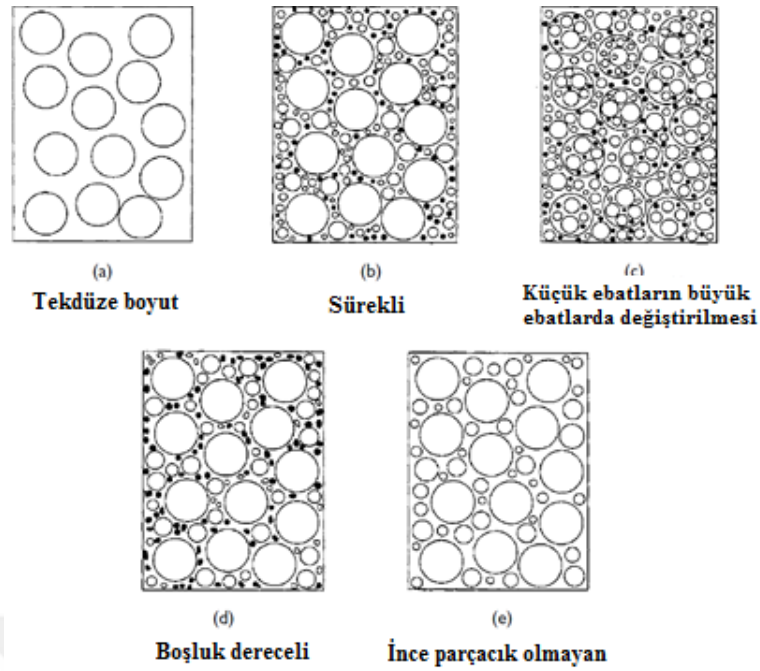
3.2.1.3.1.9. Parçacık yüzey dokusu

Yüzey dokusu, plastik ve sertleştirilmiş betondaki agrega performansını etkileyen önemli bir özelliktir. Yüzey dokusu sertliğe, tane boyuna, gözenek yapısına ve ana kaya dokusuna ve aynı zamanda parçacık üzerinde yumuşatılmış veya pürüzlendirilmiş olabilecek aşınma miktarına bağlıdır. Pürüzlü yüzey dokusu bir agreganın toplam yüzey alanını ve sıkıştırma sırasında agrega parçacıkları arasındaki iç sürtünmeyi artırır. Bu etkiler karışım suyu gereksinimlerini artırma eğilimindedir; çünkü agrega yüzeyi ıslatmak için daha fazla su gerektirir. Öte yandan, pürüzlü dokular, agrega ve harç arasında daha iyi bağlanmayı sağlayabilir ve betonun mekanik özelliklerini geliştirebilir (Alexander ve Mindess, 2010).

3.2.1.4.1.10. Gradasyon

Gradasyon, parçacık büyüklüğü dağılımına atıfta bulunur ve agregaların parçacık şekillerinin bir özelliğidir. Agregada gradasyonu, betonun plastik özellikleri ile ilişkili olarak çok önemli bir etkiye sahiptir. İyi gradasyon edilmiş ve iyi şekillendirilmiş agregalar, kolayca taşınan, yerleştirilen, sıkıştırılan işlenebilir karışımlar üretilmesini sağlar. Kohezif karışımlar, yeterli miktarda ince malzeme bulunduğu takdirde yerleşir ve özellikle düşük çimento içerikli karışımlarda yeterli miktarda 'ince agrega' içeren bir gradasyon gerekir. Ayrıca, karıştırma özellikleri betonlama işlemi ve yapısal uygulama ile eşleştirilebilmesi koşuluyla, iyi betonun zayıf dereceli veya kötü şekillendirilmiş agregalarla bile oluşturulabileceğini vurgulamak gerekir. Ayrıca, agregaların gradasyonu, harçla doldurulması gereken boşlukların miktarını ve harcın kaplanması gereken agrega yüzey alanını yönetmektedir.

Şekil 3.9'de gösterilen beton agregaları için çeşitli derecelendirmeler yaygındır. Tekdüze ebatlı agregalar (Şekil 3.9a), parçacıklar arasında büyük hacim boşlukları içerirken, çeşitli ebatlarda aralıkların bulunduğu sürekli gradasyon (Şekil 3.9b) boşluk alanını ve harç gereksinimlerini azaltır. Maksimum büyüklükte agrega kullanmak (Şekil 3.9c) de boşluk alanını azaltabilir. Bazen, boşluk dereceli (Şekil 3.9d) ya da herhangi ince parçacık olmayan gradasyonlar da (Şekil 3.9e) kullanılabilir. Agregaların derecelendirilmesi bir özellik değildir. Bununla birlikte parçacık şeklinin, gradasyon ve yüzey dokusunun birleşik etkileri, betonun plastik özelliklerini büyük ölçüde etkiler ve bu özelliklerin hiçbiri diğerlerini tecrit ettiği düşünülmemelidir.



Şekil 3.9. Agrega gradasyonunun şematik gösterimleri (Alexander ve Mindess, 2010)

Genel olarak, bir beton karışımında mümkün olduğunca maksimum büyüklükte agrega boyutuna sahip olmanın en önemli avantajı, harcın birim hacimce kaplanacak olan toplam yüzey alanını düşürmesidir. Bu aynı zamanda karışımın su ihtiyacını da azaltacaktır. Yüksek dayanımlı betonlar maksimum agrega ebadında, genellikle 19 mm'lik bir kısıtlamaya sahiptir. Agrega cinsinden parçacık boyutlarının aralığı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Beton içinde kullanım için parçacık halinde bulunan agrega boyut aralığı. (Kosmatka ve ark., 2002)

3.2.1.4.1.11. İncelik modülü

Bu boyutsuz parametre, bir agreganın granülometrik bileşimi hakkında bilgi veren tek bir sayıdır ve ortalama parçacık boyutunu (logaritmik ortalama parçacık boyutunu) değerlendirir. İncelik modülü, her bir standart eleğe karşılık gelen kümülatif yüzdelерinin toplamı ve bu toplamın 100'e bölünmesiyle elde edilir. Agregataneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür. Aynı incelik modülüne sahip agregaların granülometreleri farklı olabilir. Standart eleklerin her birinde tutulan malzemenin kümülatif yüzdelерinin toplamı ve toplamı 100'e bölünerek elde edilen parçacık boyutu dağılımının bir parametresidir. Kural olarak, aynı incelik modülüne sahip gradasyonlar, aynı kıvamda bir karışım oluşturmak için benzer miktarda suya ihtiyaç duyacaktır. Bununla birlikte, su gereksinimi yalnızca incelik modülü tarafından belirlenen ortalama parçacık boyutuna bağlı kalmayıp, aynı zamanda gradasyonda kullanılan en ince malzemenin de yüzdesine (<300µm) bağlıdır. İncelik modülü hesaplamaları, hem taşlara hem de kum örneklerine eşit derecede uygulanır, ancak incelik modülü genellikle Çizelge 3.3'te önerildiği gibi kumların incelik ve kalınlık ölçüsünün hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.3. İncelik modülü kullanılarak kumların inceliğinin sınıflandırılması (Alexander ve Mindess, 2010)

İncelik modülü	Kum inceliği
<1.0	Çok ince
1.0-2.0	İnce
2.0-2.9	Orta
2.9-3.5	İri
>3.5	Çok iri

3.2.1.4.1.12. Dayanım

Agrega parçacıklarının dayanımı, tür ve kaynağa göre değişmekte olup sadece nitel bir yolla ölçülebilir. Bazı parçacıklar güçlü ve sert olabilir, bazıları ise zayıf ve kırılımandır. Agregat dayanımı ile beton dayanımı arasında güvenilir bir ilişki olmayıp, daha düşük parçacık dayanımı yapısal betonda agregat olarak kullanımını engellemez. Agregat basınç dayanımları genel olarak 65 ila 270 MPa aralığındadır (Sidney ve ark., 2003).

3.2.1.5. Beton katkıları

Katkı malzemeleri, harç ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren malzemelerdir (Akyüz, 1991). Genel olarak harca belirli oranlarda eklenen iki türlü katkı maddesi vardır: mineral katkıları ve kimyasal katkıları. Kimyasal katkı maddelerinin aksine, mineral katkıları betonda çimento veya ince agrega yerine nispeten geniş şekilde kullanılır (Kosmatka ve ark., 2002).

3.2.1.5.1. Mineral katkıları

Mineral katkıları üç genel türe ayrılır:

1. Çimento özellikli olan Puzolanik veya çoğunlukla puzolanik olanlar
2. Çimentolu olanlar
3. Diğer mineral katkıları

"Pozzolan " ismi, silis ve alüminyum içerip çimentolu bir madde içermeyen, ancak çimento özellikli bileşiklerin oluşması için sıradan sıcaklıklarda kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona giren bir Pozzuoli'nin bozulma hali olarak bilinmektedir. Volkanik küller, volkanik tüfler (kafesler), volkanik camlar, pumikitler, kalsine küller veya şeyller, diatomlu toprak, uçucu küller (elektriği üretmek için elektrik santrallerinde toz haline getirilmiş kömürün yakılmasından elde edilen ince küller), özlü silika dumanları ve pirinç kabuğu külleri puzolanik özelliklere sahip olan yaygın olarak bilinen maddelerdir (Kosmatka ve ark., 2002). Mineral katkıları betonun işlenebilirliğini dayanımını, dayanıklılığını, ekonomisini iyileştirmek için ya da ısısını kontrol etmek amacıyla, beton karışımına katılan katı ve ince bir şekilde öğütülmüş maddeler olup çimento harcında dozajı genel olarak %5 ila %10 arasında kullanılır.

3.2.1.5.2. Kimyasal katkı maddeleri

Kimyasal katkı maddeleri, Portland çimentosu, su ve agrega haricindeki harç bileşenlerinden olup, karışıma hemen önce veya karıştırma sırasında ilave edilirler. Katkıları betondaki fonksiyonlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Hava sürükleyici katkı maddeleri
2. Su azaltıcı katkıları
3. Plastikleştiriciler
4. Hızlandırıcı katkı maddeleri
5. Geciktirici katkı maddeleri
6. Hidratasyonu kontrol eden katkıları

7. Korozyon yavaşlatıcıları
8. Büzülme azaltıcılar
9. Alkali-silika tepkime yavaşlatıcıları
10. Renklendirici katkıları
11. İşlenebilirlik, yapıştırma, nem geçirmezlik, geçirgenlik azaltıcı, köpürtme ve pompalama kolaylaştırıcı katkıları gibi çeşitli katkı maddeleri.

Kimyasal beton katkı maddesinin kullanılması ile beton maliyetinde bir artış meydana geliyorsa da bu artışı elde edilen olumlu sonuçların sağladığı yararlar veya mukavemet artışını çimento tasarrufu ile dengelemek fazlasıyla karşılamak mümkündür. Genel olarak kimyasal katkı malzemelerinin kullanımının başlıca nedenleri şunlardır:

- Beton inşaat maliyetini düşürmek
- Betonda bazı özellikleri daha etkili bir şekilde elde etmek
- Olumsuz hava koşullarında karıştırma, taşıma, yerleştirme ve kütleme aşamalarında beton kalitesini korumak
- Beton işleri sırasında bazı acil durumların üstesinden gelmek

Kurallara uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleri ile iyileştirmek imkânsızdır. Üretilen betonun öncelikle katkısız durumda yeterli niteliklere sahip olmalıdır. Kullanılan katkı ile çimento ve agreganın uyumlu olması gerekir. Uyumluluk ön deneylerle tespit edilmesi gerekir. Birden fazla katkının birlikte kullanılması beklenen sonuçları olumsuz etkileyebilir (Kosmatka ve ark., 2002).

3.2.2. Betonun mekanik özellikleri

3.2.2.1. İşlenebilirlik

En genel anlamda betonun işlenebilirliği, malzemelerde ayrışma meydana gelmeden taze bir betonu sıkıştırmak için gerekli olan mekanik iş ya da enerji miktarıdır. Betonun işlenebilirliğini etkileyen faktörler genel olarak şunlardır:

- (1) çimento içerikli malzemelerin miktarı ve özellikleri
- (2) beton karışımının tutarlılığı,
- (3) taşıma yöntemleri ve süresi (çökelti) ve
- (4) gradasyon, yüzey dokusu ve ince ve iri agrega form şekilleri
- (5) su içeriği,
- (6) hapsolan hava,

(7) ortam hava sıcaklığı ve beton katkıları.

Agrega parçacıklarının ve birleştirilmiş havanın düzenli bir gradasyonu, işlenebilirlik ve ayrılmanın kontrolünü önemli ölçüde geliştirir.

Agregalar iki ana yolla işlenebilirliğe etki ederler: parçacık şekli, büyüklüğü ve gradasyona bağlı reolojik özellikleri etkileyerek, belirli bir işlenebilirlik için karışım suyu ihtiyacını yöneterek. İnce agrega gradasyonu, işlenebilirlik üzerinde iri agregadan daha önemli bir etkiye sahiptir.

Çökme testi en eskisi ve halen en çok kullanılan işlenebilirlik testidir. Betonun çubukla sıkıştırıldığı, 300 mm yüksekliğindeki, üst ve alt kısmının sırasıyla 100 mm ve 200 mm çapında olduğu kesik koni şeklinde bir kalıp kullanılarak gerçekleştirilen bir testtir. Kalıbın çıkarılmasından önce ve çıkarılmasından sonraki taze beton yüksekliği ölçülür ve farkı betonun çökmesi olarak adlandırılır. Genel olarak 20-180 mm'lik bir çökme aralığı inşaat gereksinimleri açısından düşük işlenebilirliği kapsar. Kohezif olmayan karışımlar için uygun değildir(Kosmatka ve ark., 2002).

3.2.2.2. Dayanım (mukavemet) ve yığınsal yoğunluk

Beton basınç dayanımı, genel olarak betonun en önemli özelliği olarak tanımlanmaktadır. Betonun kalitesi ile ilgili bilgi edinilmesini sağlayan beton dayanımı, betonun kullanım alanlarının belirlenmesi ile ilgili genel bir fikir vermektedir. Beton; agrega, çimento ve agrega ile çimento hamuru ara yüzeyinden oluşan üç fazlı bir kompozit malzeme olarak göz önüne alındığında malzeme özellikleri sadece bileşenlerin özelliklerine bağlı değildir (Neville, 1996). Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. İç faktörler; betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, agrega özellikleri, su/çimento oranı, kullanılan kimyasal ve mineral katkıları, beton boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, basınç dayanımı deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir. (Mehta ve Monteiro, 1997).

Bunun yanında önemli diğer bir özellik olan beton yoğunluğu, nem ve çimento içeriğine, karışım oranlarına, agregaların derecelendirilmesine, sıkıştırma yöntemi, kür koşulları, mineral ve kimyasal katkı maddeleri, su-çimento oranı gibi etkenlere bağlıdır (Kosmatka ve ark., 2002).

3.2.2.3. Su emme özelliği

Agregaların su emme özelliği betonun özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Doğal agregalara kıyasla hafif agrega içeren beton karışımlarında daha yüksek gözenek içeriği vardır. Yüksek gözenek hacmine sahip agregaların su emme özellikleri daha yüksektir. Bu özellik doymamış veya kısmi olarak doymuş olan agregalarla üretilen taze betonların işlenebilirlik, birim ağırlık ve sertleşmiş betonların ise birim ağırlık, ısı yalıtımı ve donma direnci özelliklerini etkilemektedir. (Clarke, 1993)

3.2.2.4. Betonun ısı özellikleri

Bir sistemin ısı özellikleri, sistemin ısısal ve mekanik uyarılara tepkisini ölçen özellikler olarak tanımlanır. Bir sistemden ısı geçişi veya madde akışı sırasında, sistemin bu etkilere karşı ilk ve son denge durumları arasındaki değişimini tanımlayan termodinamik özellikleri içerir. Bir yapıdan geçen ısı transfer miktarının hesaplanmasında gerekli olan önemli termofiziksel özellikler; yapının ısı iletkenliği, özgül ısı ve yoğunluğu olarak belirtilebilir. Bir betonun ısı özellikleri, yapısını oluşturan agregaların ısı özellikleri ve bu agregaların betondaki hacimsel oranı ile doğrudan etkilidir. Bu nedenle, istenen ısı özelliklere sahip beton yapıları oluşturmak için beton harcı, uygun agrega özellikleri ve oranları ile tasarlanmalıdır (Best ve Helgerson, 1978; Neville, 1996; Klieger, 1994).

3.2.2.4.1. Isı iletkenlik

Daha öncede belirtildiği gibi ısı iletkenlik (λ), iki yüzey arasında birim sıcaklık farkıyla birim kalınlık ve birim alandan geçen ısı transfer miktarı olarak tanımlanır. Betonun ısı iletkenliği büyük oranda kaya ve mineral türüne bağlı olan agreganın ısı iletkenliğine bağlıdır. Kuvarsın iletkenliği nispeten yüksek iken feldispatların buna nazaran düşük ısı iletkenliğe eğilimleri vardır. Bir agreganın gözenekliliği iki açıdan da önemlidir: gözenekler hava ile doluysa hava iyi bir yalıtkan olduğundan ısı iletkenliği azalır; gözenekler su doluysa, suyun yüksek ısı iletkenliği nedeniyle tersi oluşur. Bu nedenle, agreganın nem içeriği, ısı iletkenlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Sonuç olarak yüksek derecede yalıtımlı beton tasarlanmak isteniyorsa, yüksek gözeneklilikteki ancak nispeten düşük su emme özelliği olan agregalar kullanılmalıdır. Bu gereklilikler, kapalı hücreli yapay agregalarla kolayca karşılanmaktadır (Best ve Helgerson, 1978).

Sıradan betonun ısı iletkenliği betonun doğun olduğu durumda, beton karışımına bağlı olarak 1.4 ila 3.6 W/mK arasında değişmektedir. Buna karşın, yoğunlukları 300–2000 kg/m³ olan ve ısı iletkenlik değerleri ise 0.2–1 W/mK arasında değişen hafif betonlar üretilebilmektedir (Clarke, 1993)

3.2.2.4.2. Özgöl ısı

Özgöl ısı (c_p) , bir birim malzeme kütlesinin sıcaklığını bir birim sıcaklık (J/kgK birimleri) kadar yükseltmek için gereken ısı miktarıdır. Betonun özgöl ısısı genellikle ısı birimleri tarafından yönetilir. Beton yüksek özgöl ısısı, yapının sıcaklık kararlılığını yükseltmeye yardımcı olur. Geleneksel betonlarda büyük oranda agrega, nem içeriği ve beton yoğunluğuna bağlı olarak özgöl ısı; 840 ila 1170 J/kgK arasında değişmektedir (Neville, 1996).

3.2.2.4.3. Isıl yayılım

Isıl yayılım, malzeme ısı iletkenliğinin özgöl ısı ve yoğunluğa (m^2/s) bölünmesi ile tanımlanır. Bir malzeme içerisinde ısının ne kadar hızlı yayıldığını gösteren fiziksel bir özelliktir. Isıl iletkenlikte olduğu gibi, normal ağırlıklı bir agreganın ısı yayılımı esas olarak malzemenin kristal yapısına bağlıdır. Benzer şekilde, özgöl ısı, mineral içeriği tarafından yönetilmektedir (Lane, 1994). Oluşturduğu agrega türüne bağlı olarak geleneksel betonun ısı yayılımı 5.5×10^{-7} ila $15.5 \times 10^{-7} m^2/s$ arasında değişmektedir (Neville, 1996).

4. BİNA YAPISININ ISIL DENGESİ

İnsanlar çok dar ısı koşullar aralığında kendilerini iyi ve rahat hissetmektedir. Dünyada var olan doğal iklimlerden sadece birkaçında insanoğlu rahatlığını sağlar. Çoğu alanda iklim koşulları, günde sınırlı bir süre ve ancak yılda sınırlı bir süre insan için rahattır. Bir bina dış koşullara karşı koruma sağlayan bir kapalı alandır. İç kısımda rahat bir ortam sağlanmalıdır. Düşündüğümüz binanın en önemli bölümü, duvar, zemin, tavan ve binanın dış kısımlarını içeren bina yapısıdır. Isı kaybı genel olarak bu kısımlardan binanın iç ortamına giren veya kaybolan ısı olup bir binanın tasarımında çok önemli bir faktör olarak yer almaktadır. Bir binadan dış ortama kaybolan ısı miktarı, bir binada gerekli olan ısıtma, soğutma ve havalandırma miktarını etkiler. Aynı zamanda bir yerin iklimi de, ısı kaybının belirlenmesinde çok önemlidir (Patrick ve ark., 1993).

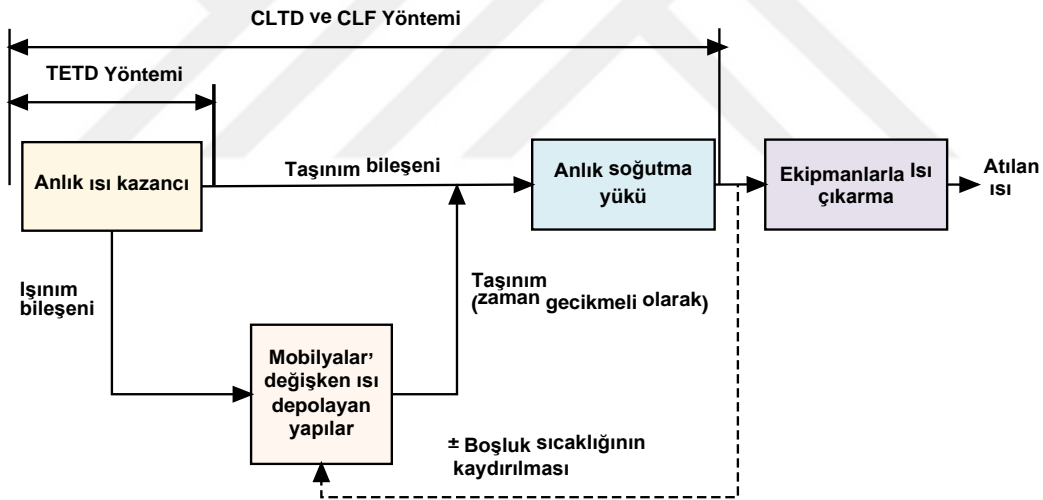
Konutlarda ısıtma tasarımı yapmadan önce, ısıtılması gereken her odanın veya alanın maksimum olası ısı kaybı yaklaşık olarak hesaplanmalıdır. Bir binada iki tür ısı kaybı vardır: duvarlar, tavan, zemin, cam veya diğer yüzeylerden geçen ısı ve mekana giren dış havayı ısıtmak için gereken ısı. Bu ısı kayıplarının toplamına ısıtma yükü denir. Isıtma yükü, sıcaklığı kabul edilebilir bir aralıkta tutmak için bir mekana veya alana verilmesi gereken ısı enerjisinin miktarıdır.

4.1. Isı Kazancı ve Soğutma Yükü

Isı kazancı, soğutma yükü ve ısı çekme oranı arasındaki farkı belirlemek önemlidir. Isı kazancı, enerjinin bir alana aktarılması veya bir boşlukta üretilme hızıdır. Aynı ayrı hesaplanıp tablolaştırılması gereken, duyulur ısı ve gizli ısı olmak üzere iki ana bileşene sahiptir. Isı kazançları genellikle aşağıdaki şekillerde oluşur:

1. Saydam yüzeyler ve açıklıklardan geçen güneş ışınımı.
2. İç yüzeylerden boşluk içerisine taşınım ve radyasyon ile birlikte cidarlar boyunca geçen ısı iletimi.
3. Duyulur ısı taşınımı ve iç nesnelere gelen radyasyon.
4. Havalandırma (dış hava) ve sızma havası.
5. Boşlukta üretilen gizli ısı kazançlarından oluşur (McQuiston ve Parker, 1982).

Soğutma yükü, sıcaklık ve nemi tasarım değerlerinde tutmak için ısı enerjinin bir mekandan uzaklaştırma oranıdır. Soğutma yükü genellikle ısı kazancından farklıdır. Bunun nedeni yapı içerisindeki nesnelere ve duvarların iç yüzeyinden gelen radyasyon ve aynı zamanda açıklıklardan bir alana doğrudan gelen güneş radyasyonu; havayı doğrudan mekanda ısıtmaz. Bu ışıma enerjisi çoğunlukla zeminler, iç duvarlar ve mobilyalar tarafından emilir ve daha sonra oda havasının sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara ulaştığında öncelikle taşınım ile soğutulur. Oda havası, yalnızca taşınım ile aldığı bu enerji ile soğutma yükünün bir parçası haline gelir. Şekil 4.1 bu durumu göstermektedir. Yapı ve iç objelerin ısı depolama ve ısı transfer özellikleri ısı gecikmeyi ve dolayısıyla ısı kazancı ile soğutma yükü arasındaki ilişkiyi belirler. Bu nedenle yapının ve onun içerdiklerinin ısı kütlesi veya başka bir deyişle ısı kapasitesi (kütle ile özgül ısının çarpımı) bu gibi durumlarda düşünülmelidir. ısı gecikme nedeniyle maksimum soğutma yükündeki azalma, soğutma ekipmanının boyutlandırılmasında oldukça önemlidir (McQuiston ve Parker, 1982).

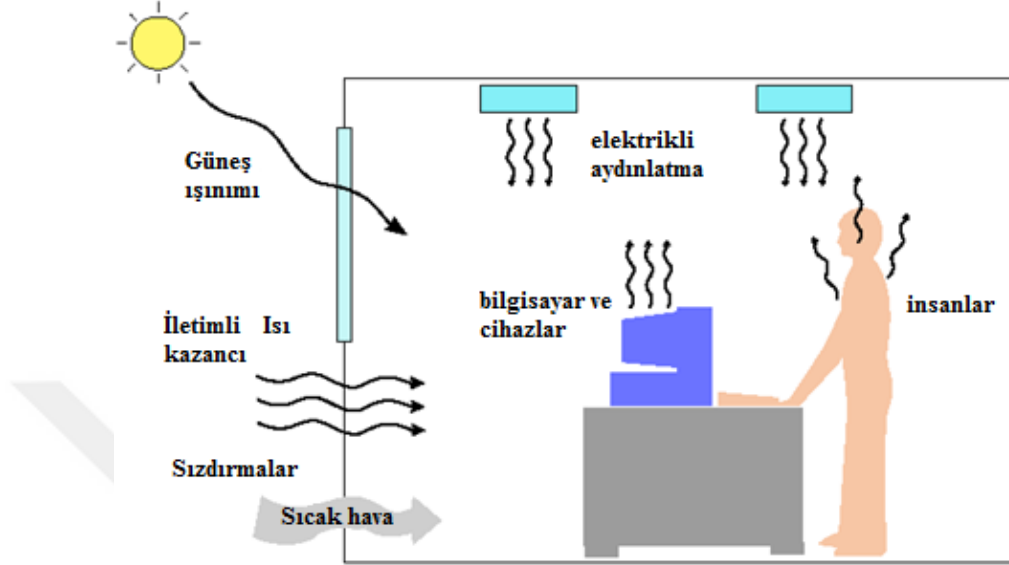


Şekil 4.1. Isıl yük aktarım şeması.

Bir binada toplam soğutma yükü, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bina kabuğundan (duvarlar, düz tavan, zemin, pencereler, kapılar vb.) geçen ısı transferi ile bina sakinleri, güç ekipmanları ve ışıklar tarafından üretilen ısının toplamından oluşur. Bir binada dış yükler, bina kabuğu ve bölme duvarları vasıtasıyla şartlandırılmış bir mekandaki ısı kazançlarından oluşur. Dış yüklerden kaynaklanan soğutma yükleri şöyledir:

- Dış duvarlardan ve düz tavanlardan gelen ısı kazancı
- Pencerelerden geçen güneş ışımasını ile gelen ısı kazancı

- Pencerelerden iletim yoluyla gelen ısı kazancı
- Bölme duvarlardan ve iç kapılardan gelen ısı kazancı
- Dış ortam havasının şartlandırılmış alana sızmasıdır.



Şekil 4.2. Soğutma yükü kaynakları (Spitler ve ark., 1993)

İç yükler, şartlandırılmış alanın içindeki ısı kaynaklarından duyulur ve gizli ısının yayılmasıyla oluşurlar. Bu kaynaklar, iç soğutma yüklerine katkıda bulunur:

- İnsanlar
- Elektrik lambaları
- Ekipman ve cihazlar

Dış yüklerin iç yüklerle oranı, bina türüne, saha iklimine ve bina tasarımına göre değişir. Herhangi bir binadaki toplam soğutma yükü hem duyulur hem de gizli ısı yükü bileşenlerinden oluşur. Duyulur ısı yükü, kuru oda sıcaklığını etkilerken gizli yük, şartlandırılmış alanın nem içeriğini etkiler. Dış yüklerden gelen ısı kazancının etkisinde olan binalarda, bina içerisindeki soğutma yükü esasen çevre ile iç klimalı alan arasındaki ısı transferinden kaynaklanmaktadır. Çevredeki koşullar belirli bir günde oldukça değişken olduğu için, bu binaların soğutma yükü de büyük ölçüde değişir. İç yüklerden gelen ısı kazancının etkisinde olan binalarda ise soğutma yükü esas olarak, bina içlerinde bulunan insan, ışık cihazları veya cihazlara benzeyen kaynaklardan oluşmaktadır.

4.1.1. Soğutma yükü hesaplama yöntemleri

Soğutma yükünün hesaplanmasında ise birden çok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- a) Isı geçişi probleminin analitik olarak çözülmesine dayalı sayısal yöntemler,
- b) Geçiş fonksiyonu yöntemi (Transfer function method, TFM),
- c) Soğutma yükü sıcaklık farkı yöntemi (Cooling load temperature difference method, CLTD),
- d) Toplam eşdeğer sıcaklık farkı yöntemi (Total Equivalent Temperature Difference, TETD),
- e) Işınım zaman serisi yöntemi (Radiant time series, RTS).

Analitik yöntem (Heat Balance Metot), enerji dengesine ve ısı transferi probleminin çözümüne dayanmakta, bu yöntemle duvar ve tavandan gelen ısı kazanımı doğrudan ve kolay bir şekilde hesaplanmakta ve hassas sonuç vermekte olup, diğer yöntemler kapalı çözüme göre daha az hassas sonuç vermektedir. Bununla birlikte, analitik yöntem, daha fazla bilgi işlem zamanı, karmaşık bilgisayar programları ve tecrübeli kullanıcıları gerektirir (Bansal ve ark., 2008).

Geçiş fonksiyonu yöntemi, sadece bazı duvar ve tavan tipleri ve belirli yerler için uygulanmaktadır. TFM, hesaplama açısından daha titiz ve oldukça uygun bir yöntemdir. Bununla birlikte, geçiş fonksiyonu metodu, ısı denge metodunun basitleştirilmesidir. TFM yazılımı kullanıcı dostu olduğu için hesaplama süresinden tasarruf sağlar. TFM'de, öncelikle, iç yüzey sıcaklığı ve dış duvarlardan, düz tavanlardan ve katlardan gelen ısı kazancı ya da kaybı, tepki faktörleri ya da iletim aktarım fonksiyonunun katsayıları kullanılarak doğrudan bir saatin bir parçası olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak, soğutma veya ısı kaybından kaynaklanan ısı kazançları, geçiş fonksiyonunun katsayılarına dönüştürülür. Bugün, iklimlendirme danışmanlık firmalarında en çok kullanılan bilgisayar destekli yük hesaplama yöntemidir. Bununla birlikte, soğutma yükü hesaplamaları, alanın özelliklerinin yanı sıra geçiş fonksiyon katsayılarının değerlerine bağlı olduğundan, TFM yöntemi sınırlı kalmıştır. Buna ek olarak, geçiş fonksiyonları yalnızca bazı duvar ve düz tavan temsillerinden oluştuğu için, farklı temsillerde deneysel olarak veya analitik yöntem kullanılarak elde edilmelidir.

CLTD bir yapı kütesinin günlük sıcaklık aralığındaki güneş ışınımı ve ısı depolamanın kombine etkilerinden oluşan iç ve dış hava sıcaklık farkını açıklayan teorik bir yöntemdir. Yön, eğim, ay, gün, saat, enlem vb. faktörlerden etkilenir. CLTD

faktörleri, duvarlar, tavanlar, zemin ve camdan gelen ısı kazançlarını belirlemek için kullanılır. CLF, belirli bir zamanda koşullandırılmış alana giren tüm ışıma enerjisinin anında soğutma yükünün bir parçası haline gelmediğini hesaba katar. Çeşitli yüzeyler için CLF değerleri güneş saati ve yönlendirme fonksiyonları olarak hesaplanmış olup ASHRAE elkitablarında tablolar halinde mevcuttur. CLF faktörleri, ışıklar, ekipmanlar, elektrikli ev aletleri gibi iç yüklerden kaynaklanan ısı kazançlarını belirlemek için kullanılır. SCL faktörleri, camlardan geçen ısı kazançlarının belirlenmesi için kullanılır. TFM'nin sınırlamaları CLTD / SCL / CLF sonuçlarına da iletilir. Dahası, CLTD / SCL / CLF 'nin gruplandırması ek hatalara neden olabilir (Bhatia, 2007).

TETD (toplam eşdeğer sıcaklık farkı) / TA yöntemi de TFM ailesinin bir üyesi olup, öncelikle manuel hesaplama için geliştirilmiştir. TETD/TA, ısı kazançlarının soğutma yüklerine dönüştürülmesinde daha basittir. Bununla birlikte, zaman ortalaması hesaplama prosedürü öznelidir. Ayrıca, TETD'i hesaplamak için TFM kullanıldığında, bu sıcaklık farklarının elde edilmesinde ise, ASHRAE (Erdal, 2008)'de verilen Amerikanın tipik bir yeri ve birçok duvar için tablolarla verilen TEDT değerlerinin yapıya en uygun olanı kullanılmakta ve bir takım faktörlerle doğrulanmaktadır. Bu faktörlerde TFM'nin sahip olduğu sınırlamaları devralır (ASHRAE, 1993; Ayres ve Stamper, 1995; ASHRAE, 1999; Bhatia, 2007).

Son olarak, radyan zaman serileri (RTS) yöntemi, ısı denge bölgesinin olmaması ve bunu yerine daha önceden belirlenmiş bir bölge tepkisinin bir yapının depolanan ve salınan ısı enerjisinin yaklaşımını prensip olarak aldığından daha basit uygulanabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, soğutma yükü doğrudan bulunur, ancak bölge hava sıcaklığı sabit kabul edilir. Tasarım soğutma yükleri, sabit periyodik koşulların varsayımı üzerine kurulmuştur. Böylece belirli bir saatteki belirli bir bileşen için ısı kazancı, önceki 24 saat ve daha önceki 48 saat ile aynıdır. RTS yöntemi, önceki basitleştirilmiş yöntemlerle (TFM ve TETD / TA) tamamen aynı prensibi kullanmaktadır. Diğer yöntemlerden farklı olduğu önemli alanlar, iletimsel ısı kazancının hesaplanması, taşınımsal ve ışıınımsal ısı kazançlarının birbirinde ayrılarak ayrı olarak hesaplanmasını ve ışıınımsal ısı kazançlarının ASHRAE soğutma yüklerine dönüştürülmesini içerir. Işınım ve iletim zaman faktörleri, ısı dengesi modelinden türetilen önemli faktörlere bağlıdır. Işınım zaman faktörleri, herhangi bir saatte soğutma yükü haline gelen daha önceki ışıınımsal ısı kazancının yüzdesini yansıtır. Benzer şekilde, iletim zaman faktörleri, bir duvarın veya düz tavanın, herhangi bir saatte içeride ısı kazancı olan bir önceki ısı kazanımının yüzdesini yansıtmaktadır (ASHRAE, 1999).

4.1.2. Çeşitli hesaplama yöntemlerinin güvenilirliği ve doğruluğu

Her bir soğutma yükü hesaplama yönteminde birçok avantaj veya kısıtlama bulunmaktadır. Basitlik ve doğruluk yerine getirilmesi gereken çelişkili iki hedefdir. Eğer bir yöntem basit kabul edilebilirse, doğruluğu bir sorun teşkil etmektedir ve tam tersi de olabilir.

Modern yöntemler, güneş ve iletimsel ısı kazanç hesaplama yönteminin geliştirilmesine vurgu yapmakla birlikte, iç yük ısı kazançlarından (kişi, aydınlatma ve ekipman) gelen diğer ana kaynaklar da vardır.

Günümüzde manuel soğutma yükü hesaplama yöntemi için en pratik kullanım 1997 ASHRAE elkitabında açıklandığı gibi CLTD / SCL / CLF yöntemidir. Bu yöntem, optimum olmamasına rağmen, ekipmanın boyutlandırılmasında kullanılacak maksimum yük değerlerine dayalı en tutucu sonuçları vermektedir. CLTD / CLF yöntemini kullanarak elde edilen sonuçlarda büyük oranda dikkate alınması gereken mekanın özelliklerine ve çeşitli tablolarda gösterilen CLTD / CLF verilerini oluşturmak için kullanılan modellerin bağlı olduğu değişim durumlarına dikkat edilmelidir. Özel tabloların yorumlanmasında ve uygun düzeltme faktörlerinin uygulanmasında mühendislik kararı gereklidir (ASHRAE, 1999).

4.1.3. Tasarım bilgileri

Bir mekanın soğutma yükünü hesaplamak için; detaylı bina bilgileri, yer ve hava durumu verileri, iç tasarım bilgileri ve çalışma çizelgeleri gereklidir. Dış mekan tasarım şartları ve istenen iç mekan koşulları ile ilgili bilgiler, yük hesaplamasının başlangıç noktasıdır ve aşağıda belirtilmiştir.

4.1.3.1. Dış mekan tasarım koşulları

ASHRAE Elkitabı (1999), ABD, Kanada ve diğer uluslararası yerler için iklim koşullarının tablolarını listelemektedir. Tasarım koşulu, binanın maksimum ısı kazanç ve kaybını hesaplamak için kullanılır. Konfor koşulları için yaz aylarında mevsimsel yüzdelik değerleri % 0.4, 1 ve 2 olan; kış aylarında mevsimsel yüzdelik değerleri 99.6 ve 99 olan sıcaklık ve nem şartları aranır. % 0.4, 1 ve 2% tasarım durumu, dış yaz sıcaklığının ve rutubet içeriğinin eş zamanlı olarak haziran ayından eylül ayına kadar olan saatlerde yalnızca % 0,4, 1 ve 2' sinin aşılacağı (hava sıcaklığı tasarım şartının üstünde olacağı) anlamına gelmektedir. Enerji kullanımı hesaplamasında yaz ve kış

tasarım değerleri yerine bir tasarım gününün saatlik açık hava verileri dikkate alınmalıdır.

4.1.3.2. İç mekan tasarım koşulları

İç mekan tasarım koşulları doğrudan insan konforuyla ilgilidir. Mevcut konfor standartları bir "konfor bölgesi" belirlemektedir. Bu standartlar ASHRAE 55-1992 standardında detaylı olarak açıklanan, binanın sakinlerinin en az % 80'inin memnuniyetini sergilemesi beklenen ısı faktörlerin (hava sıcaklığı, ışınma sıcaklığı, hava hızı, nem) ve kişisel faktörlerin (giyim ve aktivite seviyesi) en iyi aralığını ve kombinasyonlarını temsil eder (ASHRAE, 1989; 2004).

4.1.3.3. Yapı özellikleri

Alan ısı kazancını hesaplamak için bina kabuğuyla ilgili aşağıdaki bilgiler gereklidir:

Mimari planlar; bina boyutlarını / alanı / hacmini tahmin etmek için kesitler ve yükseklikler

- Bina yönleri (K, D, G, B, KD, GD, KB, GB vb.), konum vb.
- Dış / iç gölgelendirme, zeminden yansıma vb.
- Dış duvarlar, düz tavanlar, pencereler, kapılar, iç duvarlar, bölmeler, tavan, yalıtım malzemeleri ve kalınlıklar, dış duvar ve tavan renkleri için inşaat malzemeleri, duvarlar, düz tavanlar, pencereler, kapılar, bölmeler, vb. için U değerlerini seçilir ve hesaplanır. Yapının yalıtılmış veya yüksek rüzgar maruz kalıp kalmadığı dikkate alınır.
- Pencerelerdeki cam sayısı, çeşidi ve gölgelendirmesi dikkate alınır.

4.1.3.4. Çalışma saatleri

İç yüklere katkıda bulunan insan, aydınlatma, ekipman, cihaz ve işlem süreçlerinin elde edilmesinden sonra klima cihazlarının sürekli veya aralıklı olarak çalışıp çalışmayacağını (örneğin kapanma, gece ayarlamaları ve hafta sonu kapanma gibi) belirlenmesidir. Bu anlamda aşağıdaki bilgilerin toplanması gereklidir:

Aydınlatma ihtiyaçları, aydınlatma armatür çeşitleri,

Bilgisayarlar, yazıcılar, faks makineleri, su soğutucuları, buzdolapları, mikrodalga fırın, çeşitli elektrik panoları, kablolar vb. gibi alet gereksinimleri,

Klima ekipmanları tarafından açığa çıkan ısı,

İnsanların sayısı, binanın kullanım süresi ve binanın kullanım şekli.

4.1.3.5. Hususlar ve varsayımlar

Soğutma yükü, belirli bir kabul koşulları altında bir binada oluşan tüm yükleri hesaba katar. Tasarım soğutma yükünün ardındaki varsayımlar şunlardır:

- Hava koşulları, uzun vadeli bir istatistiksel veri tabanı arasından seçilir. Koşullar gerçek bir yılı göstermez, ancak binanın konumunu temsil eder. ASHRAE bu tür verileri tablo halinde çizer.
- Binadaki güneş yüklerinin, hesaplamalar için seçilen ayda açık bir günde gerçekleşecek olan güneş yükleri olduğu varsayılır.
- Bina doluluklarının tam tasarım kapasitesinde olduğu kabul edilir.
- Havalandırma oranları hava değişimlerinde veya beklenen maksimum doluluk oranına dayanarak kabul edilir.
- Tüm bina teçhizatı ve cihazlarının belirtilen ve makul bir kapasite ile çalıştığı kabul edilmektedir.
- Işıklar ve aksesuarlar, tasarımda tipik bir gün için beklendiği kapasitelerde olduğu gibi çalışmaktadır.
- Duyulur ve hissedilir yükler dikkate alınmaktadır.
- Isı akışı, dinamik koşullar varsayılarak analiz edilir ve bu bina kabuğunda ve iç malzemelerdeki ısı depolamasının düşünüldüğü anlamına gelir.
- Gizli ısı kazancının anlık soğutma yükü olduğu kabul edilirken, duyulur ısı kazancı koşullandırılan alanın özelliklerine bağlı olarak kısmen ertelenebilir. ASHRAE yönetmeliklerine göre, insanlardan elde edilen makul ısı kazancı % 30 taşınım (anlık soğutma yükü) ve % 70 radyasyon (ertelenmiş bölüm) olarak kabul edilir.
- Maksimum yük hesaplamaları, maksimum kapasiteye göre hesaplanıp soğutma ekipmanı seçilir.
- Bölgesel soğutma yükü, besleme debisini hesaplamak ve hava sistemi, kanallar, terminaller ve difüzörlerin boyutlarını belirlemek için kullanılır.
- Havalandırmaya bağlı ısı transferi binanın yükü değil, sistemin yüküdür (ASHRAE, 1999).

5. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Enerji verimli binalar elde etmek için önemli bir yol yapıların ısı yalıtım özelliklerini iyileştirmektir. Binalarda ısı kaybının azaltılması enerji tüketimini düşürür, böylece ısıtma ve soğutma maliyetini azaltır. Hafif beton yüksek gözenekliliğe sahip olması nedeniyle yapılarda ısı yalıtımı için uygun bir malzemedir. Hafif betonlar uzun yıllar yapısal amaçlar için başarıyla kullanılmıştır. Hafif betonların yapısal uygulanması için, yoğunluk genellikle dayanımdan daha önemlidir. Aynı mukavemet seviyesi için yoğunluğun azalması, kendi ağırlığını, temel büyüklüğünü ve inşaat maliyetlerini düşürür (Rossignola ve ark., 2003).

Hafif beton blok üretiminde düşük ısı iletkenliğe sahip hafif agrega kullanımı maliyetlerin azalmasında alternatif bir çözüm sağlayabilir. Hafif agregalar doğal olarak işlenmemiş ya da işlenebilir malzemeler olabilirler. Doğal veya yapay hafif agregaların içerisinde bulunan çok sayıda boşluk sebebiyle hafif beton, normal betona göre nispeten daha yüksek bir ısı yalıtım verimliliğine sahiptir. Fakat yüksek yükün gerekli olduğu yerlerde bu yapılar dayanım gibi bazı düşük mekanik özelliklere sahip olması normal betonlara göre dezavantajlarındandır (Al-Jabri ve ark., 2005).

Hafif betonlar, normal betondan çok daha düşük yoğunluk ve yüksek ısı yalıtım kapasitesine sahip olmalarına rağmen binalarda yapı malzemesi olarak kullanılabilinmeleri için gerekli mekanik özelliklere de sahip olmaları gerekmektedir. Betonda mekanik özellik denilince başta “basınç dayanımı” akla gelmektedir. Basınç dayanımı yapı ve tasarımda önemli, bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. BS 6073'e göre betonlarda minimum dayanım dereceleri genel olarak tüm dolgu duvar blokları için 2.5 MPa ve yük taşıyan bloklar için 5.0 MPa olarak belirlenmiştir (EuroLightCon., 2000).

Bununla birlikte hafif betonların tavan, kolon, kiriş, perde beton gibi yapısal taşıyıcı beton olarak kullanılabilinmeleri için ACI 213'e göre (Cavanaugh ve ark., 2002) 28 günlük basınç dayanımları 17.2 MPa ve üzerinde olması gerekmektedir.

5.1. Hafif Betonlarla İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Karakoc ve Demirboğa hafif agrega olarak kullandıkları genişletilmiş perlit agregalarının yüksek dayanımlı betonların özellikleri üzerine yaptığı etkilerini araştırmışlardır. Isıl iletkenliğin zamana bağlı kuru ve ıslak kürlenme etkileri

karşılaştırılarak % 0 (kontrol),% 7.5,% 15,% 22.5 ve % 30 gibi 5 farklı genişletilmiş perlit agrega oranını beton karışımlarında kullanmışlardır. Genişletilmiş perlit agregası içeren hafif betonlarda basınç dayanımı, ısı iletkenlik, ultrasonik ses geçiş hızı ve etüv kurusu yoğunluk özelliklerinin genişletilmiş perlit agrega oranının artmasıyla azaldığı bildirilmiştir (20).

Demirboğa ve ark. (2001), pomza ve genişletilmiş perlit agregasının farklı oranlarda kullanıldığı hafif betonlar üzerinde farklı miktarlarda kullanılan silis dumanı ve uçucu külün etkilerini araştırmışlardır. Üretilen numunelerde ağırlıklar genişletilmiş perlit miktarı arttıkça hafif betonların birim ağırlıkları 1154 kg/cm^3 'ten 735 kg/cm^3 'e kadar azalmıştır. Hem silis dumanı, hem de uçucu kül birim ağırlığı azaltmıştır. Kür süresi arttıkça genişletilmiş perlit agregasının etkisi artmıştır (Karakoç ve Demirboğa, 2008).

Farklı özellikteki genişletilmiş perlit agregalarının ham perlit agregalı hafif betonlar içinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ham perlit agregası yerine hacimce %10 oranında üç farklı özellikte genişletilmiş perlit agregası kullanılarak 7 ayrı karışım oluşturulmuştur. Bu numunelerin 28 günlük basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve su emme oranları test edilmiştir. Sonuç olarak, uygun özellikteki genişletilmiş perlit agregası kullanımının perlit agregalı hafif betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır (Demirboğa ve ark., 2001).

Sengul ve ark. genişletilmiş perlitin hafif betonun mekanik özellikleri ve ısı iletkenliği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deney programında, normal agregayı kısmen genişletilmiş perlit ile değiştirerek karışımlar hazırlanmış ve bunun sonucunda taze haldeki hafif beton ağırlıkları $700 \text{ ila } 2000 \text{ kg / m}^3$ arasında değişmiştir. Hazırlanan karışımların basınç dayanımı, elastisite modülü, su emme ve kılcallık katsayısı belirlendi. Numunelerin ısı iletkenliği de elde edilmiştir. Test sonuçları, perlit içeriğinin artması ile basınç dayanımı ve elastisite modülünün azaldığını bununla birlikte, daha yüksek perlit içeriği ile su emme ve soğurma katsayısı önemli oranda arttığı bildirilmiştir. Bunun yanında perlit kullanımı ile ısı iletkenliğin önemli ölçüde iyileştiğini ve ısı iletkenlik ile birim ağırlık arasında güçlü bir ilişki elde edildiği bildirilmiştir (Sengul ve ark., 2011)

Farklı bir çalışmada hafif agrega olarak kullanılan pomza agregalarının (PA) betonun termal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. % 25,% 50,% 75 ve % 100 oranındaki farklı PA değişimleri ile farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre PA eklenmesinin, sırasıyla, ısı iletkenliği ve yığinsal yoğunluğu % 46 ve % 40

oranda azalttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, beton karışımlarındaki çimento dozajının artırılması hem betonun yoğunluğunu hem de ısı iletkenliği arttırmıştır (Uysal ve ark., 2004)).

Gündüz (2008) farklı pomza agrega/çimento oranlarına sahip hafif betonlarda işlenebilirlik, basınç dayanımı, elastisite modülü, yığınsal yoğunluk, ıslanma genişlemesi, kurutma büzülmesi, su emme ve ısı iletkenlik üzerine kapsamlı çalışmalar yapmıştır. Sonuçlar düşük agrega/çimento oranının basınç direnci, elastisite modülü ve yoğunluğu arttırdığı, bununla birlikte yüksek agrega/çimento oranının su emme, ıslatma genişlemesi, kurutma büzülmesi ve ısı iletkenliği arttırdığı gözlemlenmiştir.

Yu ve diğerleri (2003), perlit tozunun çimento harcındaki etkisini araştırmış, farklı değişkenlerle elde edilen basınç dayanımı sonuçlarına göre indis elde etmişlerdir. Perlit inceliği, perlit karışım oranı, su miktarı, ince ve kaba agrega miktarları ve akışkanlaştırıcının değişken olarak alındığı bu çalışmada, 3, 28 ve 91 günlük sürelerde basınç dayanımları kaydedilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda perlit tozunun çimento için iyi bir katkı maddesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Benazzouk ve ark. (2008), hafif agrega olarak kullanılan atık lastik parçacıklarının hafif betonların ısı özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 oranlarında normal agrega ile atıl lastik agregalarının değiştirilmesi ile farklı beton karışımları oluşturulmuştur. Lastik parçacıklarının ilavesinin, numunelerin hem ısı iletkenliğini hem de yoğunluğunu azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, lastik parçacıklarının ısı yalıtım etkisi üzerinde cazibesi olduğu ve gelişim için yüksek ve gelecek vaat eden bir potansiyeli olduğu işaret edilmiştir.

Diğer bir çalışmada su/çimento oranının (0.45-0.55) olduğu ve normal agrega yerine % 5-50 aralığında lastik agregası içeren beton blokların yoğunluğu ve basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre karışımda lastik içeriği artarsa; yoğunluk ve basınç dayanımında sistematik bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Beton yapılarında kullanılan lastik ikamesinin yapısal betonlar için hacimce % 10 ve yapısal olmayan uygulamalar için hacimce % 40'ı aşmaması tavsiye edilmiştir (Turgut ve Yesilata, 2008).

Bununla birlikte Khatib ve Bayomy (1999) , beton karışımlarında kullandığı atık lastik agregalarının betonun işlenebilirliğini yüksek derecede düşürdüğünü ve hatta hacimce % 40 atık lastik içeren taze betonların sıfır çökmeye kadar düştüğü tespit edilmiştir.

5.2. Hafif Agregalı Esaslı Yalıtım Malzemeleri İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar:

Babor ve ark. (1928) hafif agregalı olarak genişletilmiş vermikülit kullanılarak ısı yalıtım tuğlaları üretmişlerdir. Bu malzemeler üzerinde yapılan test sonuçlarına göre üretilen yalıtım tuğlalarının çok hafif olduğu, yüksek basınç ve eğilme dayanımlarına sahip olduğu ve ayrıca yangına karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Bowen ve Novell (1952) genişletilmiş perlit agregalarının $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ oranı 3.22 olan sodyum silikat bağlayıcıları ile oluşturduğu yapıların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre üretilen numunelerin eğilme dayanımının 2.758 MPa üzerinde ve basınç dayanımının 5.51 MPa'ın üzerinde olduğu hafif yalıtım malzemelerine ulaşılmıştır.

Sams ve Newton (1969) hafif agregalı olarak diatomit kullanıldığı ısı yalıtım malzemeleri üretmişlerdir. Test sonuçlarına göre üretilen yalıtım malzemelerinin basınç dayanımlarının 0.414 ila 0.276 MPa olduğu tespit edilmiştir.

Diğer bir çalışmada genişletilmiş perlit agregalarından bağlayıcı olarak asfalt emülsiyonlarının kullanıldığı bir yalıtım malzemesi üretmişlerdir. Üretilen yalıtım bloklarının basınç dayanımlarının 0.827 MPa üzerinde olduğu bildirilmiştir (.Gerow ve Weidman, 1972).

Senhere (2000) silika kumlarının sodyum silikat bağları ile oluşturduğu çok hafif ve dayanıklı yalıtım numuneleri üretmiştir. Elde edilen malzemenin milyonlarca küçük, kapalı hücreden oluşan hafif, gözenekli bir malzeme olduğu basınç dayanımının 0.517 MPa ve ısı iletkenliğinin 0.074 W/mK olduğu tespit edilmiştir.

5.3. Isı Kazancı ve Soğutma Yükü Hesaplama Yöntemleri ve Uygulamaları

Binaların soğutma yükü, yaz sezonunda genel enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Birçok binalarda dış duvarlardan ve düz tavanlardan kaynaklanan ısı artışı, konveksiyon ve güneş ısı akısı gibi iklim koşullarına maruz kaldıkları için, toplam soğutma yükünün önemli bir bölümünü oluşturur. Bu nedenle, ısı kazancının dış duvarlar ve düz tavanlar aracılığıyla bir alana tahmini, soğutma yükünün hesaplanmasında ve klima sistemi bileşenlerinin seçilmesinde ilk önemli adımdır (Yumrutaş ve ark., 2005; 2007). Bununla birlikte, ısı kayıplarının şartlanmış bir alan için doğru olarak tahmin edilebilmesi, yapı kütlesi ve sürekli değişen dış koşulların ısı depolama etkileri, geometrik şekil ve yönelim etkisi ile beraber ısı kazancının lokasyon

üzerindeki geçici bağımlılığı nedeniyle oldukça karmaşık ve zaman alıcı olmaktadır (Bansal ve ark., 1992).

Yapıların ısı transfer özelliklerini tahmin etmek için pek çok yöntem vardır. Problem, bağlı olduğu sınır şartları kullanılarak bileşik bir yapıda Fourier ısı iletim denkleminin çözümüne indirgenir. Özışık ve Hahn (2012), değişkenlerin ayrılmas için, ortogonal genişleme tekniği, Green fonksiyonu, Laplace dönüşümü ve integral metotları gibi tek boyutlu problemlerin çözümü için çeşitli analitik yöntemler tanımlamıştır. Thakur (1982) ısı özelliklerin mekansal varyasyonlar sergilediği homojen olmayan malzemelerde ısı iletimi denkleminin Fourier serisi açısından periyodik çözümlerini sunmuştur. Yapı katmanlarındaki doğrusal periyodik ısıtma ve soğutma problemlerini analiz eden kompleks cebiri kullanarak sayısal analitik bir yaklaşım sunmuş olan Chen ve Lin (1991) Laplace dönüşüm tekniğinin hibrid uygulamasını ve sonlu elemanlar yöntemini doğrusal olmayan ısıtım sınır koşullarını da içerecek şekilde genişletmiştir. Bir başka çalışmada, Ulgen (2002) güneş ısıtım etkisi altındaki çeşitli duvar konfigürasyonlarının ısı tepkilerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Ayrıca, Yumrutaş ve ark. (2007), TETD değerlerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan üç tip duvar ve düz tavan için yapılarda bir boyutlu geçici ısı transferi probleminin periyodik çözümüne dayanan teorik bir metodoloji geliştirmiştir. Belli bir sıcaklıktaki bir alan için daha yüksek ısı kazançlarına ve daha yüksek enerji tüketimine karşılık gelen daha yüksek güneş ısıtımını ve ortam sıcaklığının daha yüksek TETD değerlerini verdiğini ispat etmişlerdir.

6. MALZEME VE YÖNTEM-I

Bu çalışmada ülkemizde enerji verimliliğini artırmak amacıyla; hafif, dayanımlı, yanmayan ve ısı yalıtım özellikleri yüksek, hem taşıyıcı hem de yalıtım amaçlı hafif beton ve mantolama malzemelerinin üretilmesi ve teknolojilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefi gerçekleştirmek amacıyla birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Malzeme ve Yöntem-I adı verilen bu kısımda bina yapılarında; duvar, taşıyıcı giriş ve kolon malzemesi olarak yalıtımlı hafif betonların üretilmesinde kullanılacak olan malzemelerin açıklanması, özelliklerinin belirtilmesi ve son kısımda ise üretilen numunelerin mekanik ve ısı özelliklerini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilecek testler açıklanmıştır. Mantolama malzemesi üretim ve yöntemleri sonraki bölümde ele alınmıştır. Hafif betonların, karışım oranı, su/çimento oranı, hafif betonda kullanılacak agregaların seçimi vb. gibi parametrelerin belirlenmesinde daha önceki çalışmamızdan faydalanılmış olup (Oktay, 2013), üretilen bazı hafif betonların bir kısım mekanik ve ısı özellik sonuçları bazı çalışmalarda sunulmuştur (Doğmuş, 2016; Kızar, 2017).

6.1. Hafif Betonu Oluşturan Malzemeler

6.1.1. Agregalar:

Agrega esaslı kompozit malzemelerin üretilmesinde doğal ve yapay olan agrega malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan agregaların içeriği, yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla belirtilmiştir.

6.1.1.1. Perlit

Çalışmamızda ana agrega olarak hem beton hem de yalıtım malzemelerinde kullanılmış olan perlit asidik karakterli volkanik bir cam olup ısıyla genişletildiğinde, ısıyla genişleme özelliği olan, çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit hem de bunun genişletilmesiyle elde edilen ürün için kullanılmaktadır. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişebilmektedir. Genleştiğinde ham perlitin rengi tamamen beyazlaşmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Genleştirilmiş perlit

Perlitte en önemli özellik, hidrasyona uğramış camsı silika yapısındaki %2-5 arasında bileşik halinde içerdiği sudur ve bu su, perlitin kararlılığını sağlamaktadır (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001). Ham perlit, öğütme ve boyutlandırma işlemlerinin uygulanmasının ardından, 400 °C'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Ön ısıtmanın ardından ham perlit 750-1200 °C arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genişerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşmektedir. Ham perlit, ilk hacminin 20 katına kadar genişebilmektedir. Bu ürüne genişmiş perlit denilmektedir (Mindess ve Young, 1981). Genel olarak genişleştirilmiş perlitin (GPA) fiziksel özellikleri Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri (DPT, 2001)

Renk	Beyaz
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.2-2.4
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	30-190
Porozite	%90
Özgül Isı (kCal/kg °C)	0,20-0,23
Sertlik (Mohs Skalası)	5.5-7.0
Erime Noktası (°C)	1300
Isıl İletkenlik (W/mK)	0.039-0.046
Isıl Genleşme (mm/m °C)	0.004-0.011
Ses Yalıtım	0.60
Ateşe Karşı Dayanım	Yanmaz

Dünya perlit rezervleri volkanik kuşak içindeki bölgelerde bulunmaktadır. Dünya görünür rezervi 700 milyon tondur. Çizelge 6.2’de bazı ülkeler ve bölgeler için perlit rezervleri verilmektedir.

Çizelge 6.2. Dünya perlit rezervleri (milyon ton) (DPT, 2004).

Ülke	Görünen rezervler (milyon ton)	Toplam rezervler (milyon ton)
ABD	50	200
Türkiye	30	5,700
Yunanistan	50	300
Diğer	600	1,500
Dünya toplam	730	7,700

Buradan görüldüğü gibi Dünya toplam rezervi (görünür + muhtemel + mümkün) 7.700 milyon ton olup; bu rezervin 5.700 milyon tonu (% 74’ü) Türkiye’de bulunmaktadır. Bu yüzden bor ile birlikte perlitin de kullanım alanlarının genişletilmesi Türkiye için kaçınılmaz bir durumdur (Kalaycı, 2016).

Çalışmamızda kullanılan farklı boyut ve yoğunluklardaki genişleştirilmiş perlit İnper Perlit A.Ş. ‘den temin edilmiştir. Perlitin oluşturan kimyasal bileşiklerin analizi Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Perlitin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşik	GPA (%)
SiO ₂	71-75
Al ₂ O ₃	12-16
Fe ₂ O ₃	-
CaO	0.2-0.5
Na ₂ O	2.9-4
K ₂ O	-

6.1.1.2. Pomza

Açık renkli, boşluksuz, süngerimsi, kabarcıklı şekilli, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, düşük yoğunluklu, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Kayaç olması nedeniyle birlikte bulunduğu kayaç gruplarından ayırt edilmesi zor olabilmektedir (Gündüz ve ark., 1998). Bir başka

deyişle, pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır da denilebilir. Şekil 6.2’de tipik bir pomza görünüşü verilmektedir.



Şekil 6.2. Pomzanın kayaç olarak genel görünümü (Bekaroğlu, 2012).

Pomzanın oluşumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza, kendine özgü bazı gözenekleri ile benzer volkanik camsı kayaçlardan (perlit, obsidyen, perlitik pomza) ayrılır. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayaçtır. Sertliği Mohs skalasına göre 5-6 dır (Gündüz ve ark., 1998). Genel olarak pomza agregasının (PA) fiziksel özellikleri Çizelge 6.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Pomzanın fiziksel özellikleri

Madde	Özellik
Renk	Acık griden, kirli beyaza.
Kristal Şekli	Amorf (Kristal sekli yok)
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5.5 – 6.0
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0.32 – 0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1.9- 2.65
Porozite (%)	45 - 70
Rötre (mm/m)	2
Isı iletkenlik Katsayısı (kcal/mh°C)	0. 12 – 0.20
Isınma Isısı (cal/gr.°C)	0. 24 – 0.28

Ses Yalıtımı (dB)	40 – 55
Su Emme (Ağırlıkca %)	30 – 70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5 – 10

Çalışmamızda hem beton hem de yalıtım malzemesinde belirli oranlarda kullanılan pomza agregası Batman Bimsaş piriket fabrikasından temin edilen ve Van-Erciş yöresinden çıkartılan asidik pomza agregasıdır. Pomzayı oluşturan kimyasal bileşiklerin analizi Çizelge 6.44'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Pomzanın Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşik	PA (%)
SiO ₂	59
Al ₂ O ₃	16.6
Fe ₂ O ₃	4.8
CaO	1.8
N _{a2} O	5.2
K ₂ O	5.4

6.1.1.3. Atık lastik:

Ömrünü tamamlamış atık lastikler çeşitli kesim ve öğütme yöntemleri uygulanarak beton içerisinde agrega olarak kullanılmaya hazır hale getirilebilmektedir. Atık lastikler çeşitli firmaların ürettiği makineler sayesinde kolayca istenilen boyutta kesilebilmektedir. Kesim sonrasında parça lastiklerin boyutları kesim şartlarına ve kesim makinelerine bağlı olmakla birlikte uzunlukları 300–460 mm gibi büyük, genişlikleri ise 100–150 mm gibi düşük olmaktadır. Atık lastikler, bütün halinde parçalanmamış lastik olarak, yırtık lastik olarak, öğütülmüş lastik olarak veya kırıntı lastiklerden elde edilebilir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Atık lastik parçaları

Bununla birlikte lastik kauçuğun ısı iletkenliği oldukça düşüktür. Aynı şekilde lastik kauçukların ses geçirgenliğinin zayıf olması nedeniyle ses yutucu olarak kullanılabilirler. (Emiroğlu ve ark., 2009)

Çalışmamızda hem beton hem de yalıtım malzemesinde belirli oranlarda kullanılan atık lastik agregası (ALA) Gaziantep yöresinde bulunan GAZİSAN Geri kazanım San ve Tic. Ltd. Şti 'den temin edilmiştir.

6.1.2. Çimento

Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir inorganik bağlayıcıdır. Beton özelliklerine etki eden faktörler arasında en büyük rolü üstlenen elemanlardan biri çimentodur. Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vb.) yapıştırımda kullanılan bir malzemedir. Dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısı çok yüksek olan çimentonun betonun içerisindeki miktarının en az olması, gerçekleştirilmesi istenen bir husustur. Fakat olması gerekenden az miktarda kullanılan çimento betonun dayanımını ve kalitesini düşürmektedir. Aynı zamanda fazla miktarda kullanılan çimentoda rötreye, sünmeye, yüzeysel ve kılcal çatlamalara neden olduğu gibi betonun ısı iletkenlik değerini arttırmaktadır. Aynı zamanda beton içerisinde kullanılacak olan çimentonun dayanımının yüksek olması yüksek oranda boşluklu agrega içeren hafif betonların dayanımını arttırmada en önemli yardımcı faktörlerdendir (Doğmuş, 2016). Bu yüzden bu çalışmada Adana Çimento'dan temin edilen PÇ 52.5 R cinsi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan Portland

çimentosunun, üretici firma tarafından belirlenen fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 6.6'da verilmektedir.

Çizelge 6.6. Çimento Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Bileşik (%)	Çimento
CaO	67.19
SiO ₂	20.86
Al ₂ O ₃	0.45
Fe ₂ O ₃	3.27
MgO	0.4
SO ₃	3.34
K ₂ O	1.05
Na ₂ O	0.05
C	-
S	-
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.16
Renk	Beyaz
Kızdırma kaybı	2.54
Özgül yüzey(cm ² /g)	5710
Basınç dayanımı (MPa)	2gün
	28 gün
	min 30
	min 52.5

6.1.3. Su ve katkı maddeleri

6.1.3.1. Su

Suyun kalitesi beton üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Suyun içerisindeki safsızlıklar çimentonun oluşumunu engelleyebilir, betonun kuvvetini olumsuz şekilde etkileyebilir veya yüzeydeki lekelerle neden olabilir ve takviyenin korozyonuna neden olabilir. Bu nedenlerden dolayı, malzemelerin karıştırılması ve sertleştirilmesi için su bulunabilirliği dikkate alınmalıdır. Mantolama malzemelerinde durum daha hassastır. Suyun içerisindeki safsızlıklar silikat bağlayıcılar ile oluşturduğu bağlara zarar verdiğinden yalıtım malzemesi üretiminde saflaştırılmış su kullanılmıştır.

6.1.3.2. Hava sürükleyici ve hiper akışkanlaştırıcı

Su içerisinde çözüldürülmüş Polikarboksilik eterden bir hiper akışkanlaştırıcı, taze betonun karıştırılması esnasında bir karışım olarak toplam çimentolu malzemenin

ağırlığınca% 0.5-1.5 arasında dozajda kullanılmıştır. Mikro Hava 200 kontrollü havayı beton içerisine sürükleyerek kalıcı, küçük ve optimum ayrılmış hava kabarcığı oluşturan yağ alkolü ve amonyum tuzu esaslı hava tutucu katkıdır. ASTM C260 (2001) standardına göre kullanılan dozaj, toplam çimentolu malzemenin ağırlığınca % 0.3'tür. Süper akışkanlaştırıcı ve hava itici katkı maddelerinin özellikleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

İşlenebilirliği sağlamak, çimento su oranını azaltmak, dayanımı arttırmak ve aynı zamanda ayrışmayı engellemek amacıyla beton ve yalıtım numunelerinin bazılarında Polikarboksilat eter bazlı yeni nesil hiper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Taze beton oluşturulması esnasında birçok denemeler yapılmış ve en uygun akışkanlaştırıcı miktarına karar verilmiştir. Bu çalışmada hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı taze beton karışımının oluşturulması esnasında toplam çimento ağırlığının % 0.15 - % 1.5 arasında kullanılmıştır.

Beton numunelerinin yalıtım özelliğini arttırmak için beton içerisindeki boşluk sayısını fazla olması gerekmektedir. Bunu sağlarken hem agregada içerisinde boşluğun olması hem de matris yani harcın mikro düzeyde gözenekli olması gerekmektedir. "Mikro hava 200" hava sürükleyici beton katkısı, kontrollü havayı beton içerisine sürükleyerek, beton içerisinde kalıcı, küçük ve optimum olarak birbirinden ayrılmış mikro düzeyde hava gözenekleri oluşturan yağ alkolü ve amonyum tuz esaslı hava sürükleyici katkı maddesidir. Betonun birim ağırlığını da düşüren hava sürükleyici katkı maddesi taze beton karışımının oluşturulması esnasında toplam çimento ağırlığının % 0.36 oranında kullanılmıştır. Kullanılan katkı maddelerinin fiziksel özellikleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Hiper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyicisinin fiziksel özellikleri

Katkı	Hiper akışkanlaştırıcı	Hava sürükleyicisi
Yoğunluk (g/cm ³), 20°C	0.45-0.6	1.00 - 1.02
Klor iyonu,%	< 0.1	< 0.1
Alkalin içeriği %	< 3	< 10
Renk	Açık pembe	Amber
Fiziksel Görünüm	Toz	Sıvı
Kimyasal bileşen	Polikarboksilat eter	Alkol yağı ve amonyum tuzu

6.1.3.3. Mikrosilika (silis dumanı)

Mikrosilika (silis dumanı) esas olarak yüksek miktarda çok ince ve amorf SiO_2 parçacıklardan oluşur ve ASTM C-1240-03 (2005) standartlarına uygun bir yoğunlaştırılmış veya yoğunlaştırılmamış mineral katkıdır (Şekil 6.4)



Şekil 6.4. Silis dumanı (mikro silika)

Betonun fiziksel ve kimyasal özelliğini iyileştirmede ve yapı elemanlarının dayanımının artırılmasında çimento ile birlikte silis dumanı kullanılmaktadır. Silis dumanı Dost Kimya A.Ş'den temin edilmiş olup taze betonun karıştırılması esnasında çimento ağırlığının % 10 miktarınca çimento yerine kullanılmıştır. Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Silis dumanı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşik (%)	Silis Dumanı
SiO_2	85-95
Al_2O_3	1-3
CaO	0.8-1.2
Fe_2O_3	0.5-1
MgO	1-2
Na_2O	0.87
C	0.5-1
S	0.1-0.3
Özgül ağırlık (g/cm^3)	2.2
Renk	Gri
Kızdırma kaybı	0.5-1
Özgül yüzey (cm^2/g)	3489

6.2. Hafif Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi ve Numune Hazırlanışı:

Bu bölümde taşıyıcı (kolon, kiriş vb.) ve duvar malzemeleri için yalıtım özelliği yüksek hafif betonların üretimi için karışım oranları ve numunelerin hazırlanma yöntemi anlatılacaktır. Numunelerin karışım oranlarının hesaplanması için öncelikli olarak agregaların özgül ağırlıkları tespit edilmiş ve en uygun gradasyon eğrileri oluşturulmuştur.

6.2.1 Agregası seçimi

Hafif beton üretiminde hedef, öncelikle katkısız en yüksek dayanıma sahip normal beton numunesi üretmektir. Bu sayede yalıtım için gerekli olan boşluk beton içerisinde belirli dayanım sınırlarının altında kalmadan istenilen şekilde oluşturulacaktır. Yüksek dayanımlı beton elde etmek için agrega seçimine bağlı gerekli kriterler şunlardır (Anonim, 2013):

- Yassı ve uzun taneler, beton için şekilce kusurlu tanelerdir. Türk standartlarında, agreganın en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3 kattan büyük ise, bu agrega taneleri kusurlu taneler olarak adlandırılmakta ve dayanımı etkilemektedir. Bu sebeple doğal agrega seçiminde genellikle agrega taneleri hem küresel şekle yakın hem de köşeli olanları seçilmiştir. Diğer taraftan köşeli agregalarla üretilen betonlarda, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans iyi olmakta ve yuvarlak ve pürüzsüz agregalar ile oluşturulmuş betonlara göre dayanımı daha yüksek olmaktadır.
- Uygun bir gradasyona sahip olmak kaydıyla, bir agreganın en büyük tane boyutu ne kadar büyük olursa, o agregayı oluşturan tanelerin yüzey alanları toplamı daha küçük olmaktadır. Böylece, daha az çimento miktarı kullanılması hem betonda büzülmesi azaltacak hem de daha ekonomik bir beton üretilmesine imkân sağlayacaktır. Ayrıca en büyük tane çapı arttıkça daha az suya gereksinim olacağından, betonun dayanımı da artacaktır. Bunun yanında TSEN 12390-1 (2002) göre beton numunesinin boyutu, kullanılan agrega en büyük tane büyüklüğünün en az 3.5 olacak şekilde seçilmelidir (Çalışmamızda 10x10x10 cm kalıplar kullanıldığından en büyük tane boyutu 16 mm seçilmiştir).
- ASTM C136 (2005) 'ya uygun olarak agregaların gradasyonu, maksimum tane boyutuna bağlı olarak ideal bölge olarak seçilmiştir. Deneylerde yüksek

dayanıma sahip hafif beton üretmek ve kullanılan çimento miktarını azaltmak için gradasyonu iri olan bölge seçilmiştir.

- Birim ağırlık belirli hacimdeki bir kabı dolduran agrega tanelerinin toplam ağırlığının, kabın hacmine bölünmesi ile bulunur. Birim ağırlık değerinin büyük olması, agrega taneleri arasındaki boşluğun az olduğunu göstermektedir. Agreganın en büyük birim ağırlığa ulaşması demek, agrega taneleri arasındaki boşluk miktarının en az olduğunu ve bu boşlukların da daha az çimento hamuru ile doldurulacağını gösterir. Yapılan çalışmalarda en ekonomik betonun, toplam agrega miktarında ince agrega miktarının ağırlıkça %40'a yakın olan betonlar olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden karışım gradasyonu oluşturulurken %60 iri, %40 ince agrega miktarı esas alınmıştır.
- Agregada gradasyonunun homojen olması da hafif betonda dayanım açısından çok önemli bir parametredir. Normal agrega ile hafif agrega yer değiştirilirken agrega boyutunun tek tip olmasına (aynı boyutların yer değiştirmesine) dikkat edilmiştir.
- Çimento dayanımı beton için doğrudan etkili bir parametre olduğundan karışımlarda yüksek hidrolik bağlayıcılı 52.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır.

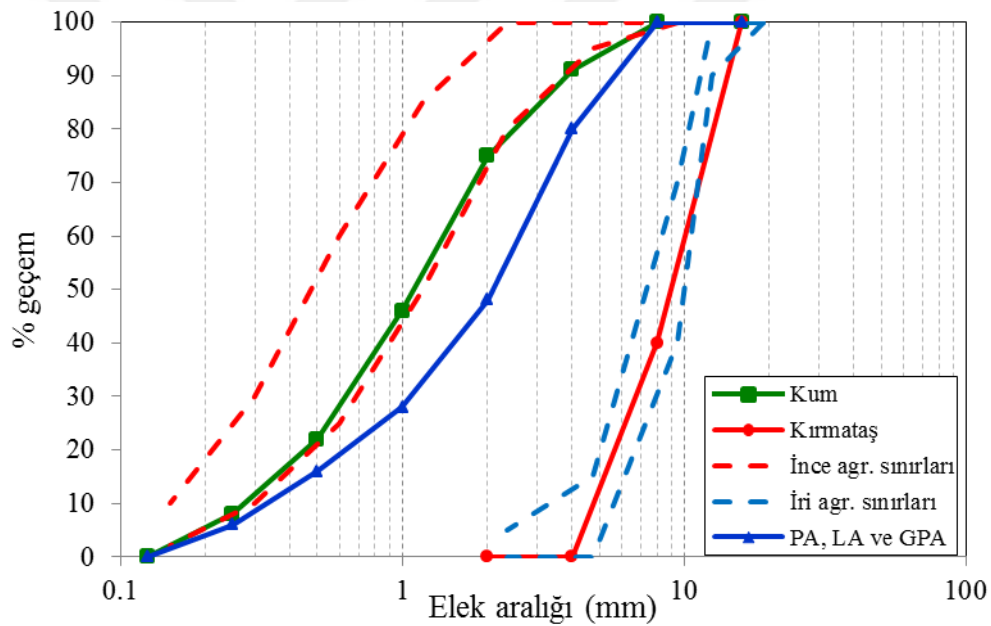
Yukarıda saydığımız tüm şartlar yüksek dayanımın en az çimento miktarı ile sağlanması için gerekli tedbirlerdir. Bunun en büyük sebebi yüksek ısı iletkenliğine sahip çimento bağlayıcının fazla miktarda kullanımının hafif betonda yalıtımı doğrudan olumsuz etkilemesidir.

6.2.1.1. Agregada gradasyonu ve fiziksel özellikleri

Elek analizi, en büyük elek aralığı ile başlayan bir dizi kare veya yuvarlak tel delikli elekler kullanılarak agrega parçacık boyut dağılımının belirlenmesi için gerekli çok önemli bir işlemdir. Sınıflandırma, inceltme modülü, agrega inceliği, iriliği ve homojenliği için bir indeks belirlemek için kullanılır. Üretilecek beton kalitesi, agregalarının özelliklerinden çok etkilenir. Bu nedenle agrega tane boyutu dağılımı veya dereceleme bu özelliklerden biridir ve dikkate alınmalıdır (Sidney ve ark., 2003).

ASTM C136 (2005) 'ya uygun olarak agregaların gradasyonu, maksimum tane boyutuna bağlı olarak ideal bölge olarak seçilmiştir. Hafif beton üretiminde, ince ve iri agrega olarak adlandırılan kırma kum ve kırmataşın maksimum agrega boyutu sırasıyla 4 mm ve 16 mm olarak seçilmiş olup ince ve iri agreganın incelik modülü sırasıyla 2.35

ve 5.51 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra beton oluşumunda en uygun dayanıma erişmek için agrega gradasyonunda %60 iri, %40 ince agrega oranları kullanılmıştır. Agrega gradasyonu için 16, 8, 4, 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm'lik elekler kullanılmış ve bu elek çaplarına göre agrega malzemeleri sınıflandırılmıştır. Karışımı oluşturan doğal ve hafif tüm iri agreganın %40'ı 16-8 mm, %20'si de 8-4 mm arasındaki agregalardan oluşturulmuştur. İnce agreganın ise %16'sı 4-2 mm, %10'u ise 2-1 mm, %6'sı 1-0.5 mm, % 5'i 0.5-0.25 mm ve %3'ü 0.25-elek altı arasında olmak üzere toplamda %100 olacak şekilde agrega gradasyonu düzenlenmiştir. Bununla birlikte agrega gradasyonunun homojenliğinin korunmasının beton bileşimi üzerinde önemli bir etkisi olduğundan, bu çalışmada tek tip ve tek biçimli tane boyutu kullanılmıştır. İnce ve iri agregaların elek analizi ile elde edilen agrega büyüklük gradasyonu Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Tüm beton numunelerinde kullanılan agrega gradasyonu

Agrega fiziksel özellik deneyleri yapılmadan önce numuneler su ile temizlenmiş ve içerisinde zararlı organik madde olup olmadığına TS 1744-1 (2000)' e göre karar verilmiştir. Daha sonra her aralıkta ve farklı boyutlardaki doğal ve yapay agregalar için agregaların kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle TS EN 1097-6 (2000)' ya uygun olarak tayin edilmiştir. İri agregada özgül ağırlık ve su emme deneyi tel sepet

yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup, ince agregada ise cam kavanoz ve kapak kullanılarak fiziksel özellikler tespit edilmiştir.

6.2.1.1.1. Tel sepet yöntemi:

Öncelikle elenerek belli boyutlarda sıralanmış yığından alınan üç farklı numune etüvde 105 ± 3 °C'de değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulur ve numune kütlesi %0.01 hassasiyetle tartım alınabilen terazide kuru ağırlığı (M_1) bulunur. Bundan sonra numune bir gün suda bekletilip doymuş kuru yüzey haline getirilir ve tekrar hassas terazi ile ağırlığı bulunur (M_2). Daha sonra malzeme tartıldıktan hemen sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılır. Su yüzeyine çıkarılmadan kovanın içinde en az 10 kez kaldırılıp indirilerek sağa sola sallanarak taneler arasında kalabilecek hava kabarcıkları çıkarılır. Daha sonra sepetin kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek özel düzenle terazi kafesinin ortasına yerleştirilir ve doymuş malzemenin sudaki ağırlığı bulunur (M_3). Son olarak üç numunenin ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılır:

$$\rho_k = M_1 / (M_2 - M_3) \quad (6.1)$$

$$\rho_d = M_2 / (M_2 - M_3) \quad (6.2)$$

$$m = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100 \quad (6.3)$$

burada;

ρ_k : İri agreganın kuru özgül ağırlığı

ρ_d : İri agreganın DKY özgül ağırlığı

m: İri agreganın su emme oranıdır.

6.2.1.1.2. Taşıma yöntemi:

Yukarıda bahsedildiği gibi belli boyutlarda yığından alınan üç farklı ince agrega numunesi etüvde 105 ± 3 °C'de değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulur ve numune kütlesi %0.01 hassasiyetle tartım alınabilen terazide kuru ağırlığı (M_1) bulunur. Bundan sonra numune bir gün suda bekletilip doymuş kuru yüzey haline getirilir ve tekrar hassas terazi ile ağırlığı bulunur (M_2). Daha sonra cam kavanoz su ile doldurulur, üzerine kavanoz içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde cam kapak kapatılarak tartılır (M_4). En son, cam kavanozdaki suyun en az yarısı boşaltılarak, daha önce doymuş kuru

yüzey haline getirilen malzeme kavanoza konur. Şekil 6.6'da gösterildiği gibi kavanozun tamamı su ile doldurularak, kavanozun içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde cam kapak kapatılarak hassasiyeti %0.01 olan tartı ile ağırlığı tayin edilir (M_4).



Şekil 6.6. Taşırma yöntemi

Daha sonra üç numunenin ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılır:

$$\rho_k = M_1 / (M_2 + M_4 - M_3) \quad (6.4)$$

$$\rho_d = M_2 / (M_2 + M_4 - M_3) \quad (6.5)$$

$$m = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100 \quad (6.6)$$

burada;

ρ_k : İnce agreganın kuru özgül ağırlığı

ρ_d : İnce agreganın DKY özgül ağırlığı

m: İnce agreganın su emme oranıdır.

Bununla birlikte yüksek su emme kapasitesine sahip geliştirilmiş perlit ve pomzanın taze karışımın su oranını çok fazla etkilediği ve bunun etkin su/çimento oranını değiştirmesi ve çökme kaybından dolayı dayanımı kötü bir şekilde etkilediği belirtilmiştir. Bu yüzden yapılan çalışmalarda harca katılmadan önce 30 dakika suda

bekletilen yüksek gözenekli agregaların en etkin dayanıma ulaştıkları tespit edilmiştir. Bu yüzden geliştirilmiş perlit ve pomza agregalarının 30 dakika süresindeki su emme yüzdeleri TS EN 1097-6 (2000)' ya göre belirlenmiş ve agreganın belirlenen tüm fiziksel özellikleri ile beraber Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Bu çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Agrega tipi		Elek aralığı (mm)						
		8-16	4-8	2-4	1-2	0.5-1	0.25-0.5	0-0.25
Kırmataş	DKY özgül ağırlığı	2.683	2.671	2.694				
	Su emme kapasitesi (%)	0.43	0.67	0.60				
Doğal kum	DKY özgül ağırlığı				2.68	2.632	2.574	2.51
	Su emme kapasitesi (%)				0.68	2.20	4.35	2.96
PA	DKY özgül ağırlığı	0.555	0.675	0.953	1.144	1.549	1.626	1.818
	Su emme kapasitesi (%)	55.42	67.83	79.26	36.92	21.23	18.47	10.99
	Yarım saat su emme (%)	68.63	72.37	74.98	75.71	82.87	87.51	96.12
GPA	DKY özgül ağırlığı		0.215	0.262	0.267	0.269	0.276	0.291
	Su emme kapasitesi (%)		97.10	62.45	137.63	182.43	216.44	260.62
	Yarım saat su emme (%)		180.65	189.06	205.60	240.99	271.96	327.46
ALA	DKY özgül ağırlığı		1.08	1.115	1.005	0.712	1.027	1.091
	Su emme kapasitesi (%)		0	0	0	0	0	0

6.2.2. Hafif beton karışımlarının hazırlanması:

Beton karışımı, taze ve sertleştirilmiş hallerden, önceden belirlenmiş özelliklere sahip beton üretimi için bileşenlerin ve oranlarının doğru seçilmesi olarak tanımlanmaktadır. Beton karışım hesabı ve üretimin yapılması çeşitli aşamalardan

oluşmaktadır. İlk aşamada ince ve iri hafif agregaların hacimce karışım oranlarına karar verilmiştir. Daha sonra taze betondan istenilen düşük birim ağırlık, ısı ve ses iletkenliği ile yüksek işlenebilirlik, dayanım ve gözeneklilik gibi özelliklerinin kazandırılması amacıyla karışım için en uygun su/çimento oranı, akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hava sürükleyici katkı maddesi miktarlarına karar verilmesi için yoğun bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu amaçla daha önceki bölümlerde bahsedilen en yüksek dayanımlı hafif beton için gerekli kriterlere uygun olarak, en düşük miktarda çimento kullanımının sağlanması ve en uygun su/çimento oranının belirlenmesi öncelikli olarak göz önüne alınmıştır. Bununla birlikte yapılan literatür araştırmalarında en uygun akışkanlaştırıcı katkı maddesi, silis dumanı ve hava sürükleyici katkı maddesinin kullanım oranına da karar verilmiştir. Yukarıda anlatılan araştırma sonucunda üretilecek tüm hafif betonların etkin su/çimento oranı 0.48 ve çimento miktarı 350 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Üretilen hafif beton karışımlarında toplam agrega hacminin sırasıyla %0, %10, %20, %30, %40, %50, %60 oranında genişletilmiş perlit ve atık lastik agregası, %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında pomza agregası ile aynı boyut ve oranlarda normal agregalar yer değiştirilerek hafif beton numuneleri üretilmiştir. Bununla birlikte %70 ve daha yüksek hacim oranında atık lastik ve genişletilmiş perlit agrega kullanılan betonlarda duvar malzemesi için yeterli dayanım oluşmayacağı öngörüldüğünden üretilen bu betonlar çalışmamıza dahil edilmemiştir.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi normal beton dışında tüm hafif beton karışımlarına çimento ağırlığının % 0.36'sı kadar hava sürükleyici katkı maddesi ve yeterli dayanıma ulaşmak için % 10 silis dumanı katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Betonda istenilen kıvamın sağlanabilmesi ve kullanılacak suyun azaltılması amacıyla karışımlarda aşağıda verilen oranlarda:

- %50 ve %60 oranlarında atık lastik agregası için çimento ağırlığının % 1.5
- %30 ve %40 oranlarında atık lastik agregası için çimento ağırlığının % 1
- Normal beton ve %10 ve %20 oranlarında atık lastik agregası için çimento ağırlığının % 0.5
- %10 ve %20 genişletilmiş perlit ile %10 pomza agregaları için çimento ağırlığının % 0.3
- %30 ve %40 genişletilmiş perlit ile %40 pomza agregaları için çimento ağırlığının % 0.15 oranında hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

Bununla birlikte %50 ve %60 genleştirilmiş perlit ile %60, %80 ve %100 pomza agregaları içeren karışımlarda ise yüksek miktarda su kullanıldığından akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımına gerek olmadan istenen kıvamda ulaşılmıştır. Atık lastik agregalarında yüksek miktarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımının sebebi, oluşturulan harçların çok düşük kıvamda (çökme) olmasıdır. Beton içindeki gerçek malzeme miktarları ve malzemelerin özgül ağırlıkları kullanılarak, malzemelerin hacimlerine ulaşılmıştır. Beton içindeki hava miktarı; 1 m³ lük beton hacminden, toplam malzeme hacminin çıkartılması ile hesaplanmıştır. Belirlenen gerçek taze beton birim ağırlıkları ile daha önceden hesaplanmış olan teorik taze beton birim ağırlıklarının birbirlerine oranlanması ile elde edilen katsayının, teorik malzeme miktarları ile çarpılması sonucu aşağıdaki denklemler kullanılarak Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.11’de gösterilmiş olan gerçek malzeme miktarlarına ulaşılmıştır.

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\delta_c} + \frac{W}{\delta_s} + h + k \right) \quad (6.7)$$

$$W = (E/C) \times C \quad (6.8)$$

$$G_i = V_a \times P_i \times \delta_i \quad (6.9)$$

burada

V_a : 1 m³ yerleşmiş betondaki toplam agrega hacmi, m³

C : 1 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı, kg

W : 1 m³ yerleşmiş betondaki suyun ağırlığı, kg

h : 1 m³ yerleşmiş betondaki hava hacmi, m³

k : 1 m³ yerleşmiş betondaki katkı maddesi hacmi, m³

δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı, kg/m³

δ_s : Suyun özgül ağırlığı, kg/m³

E/C : Etkin su/çimento oranı

δ_i : (i) agregasının özgül ağırlığı, kg/m³ olarak verilmiştir.

Çizelge 6.10. 1 m³'lük beton için karışım oranları

Karışım tipi	NB	GPB						PB						LB						
Hafif agrega oranı (%)	0	10	20	30	40	50	60	20	40	50	60	80	100	10	20	30	40	50	60	
S/ç oranı	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	
Çimento (kg)	350	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	
Su (kg)	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
Silis dumanı (kg)		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Süper akışkan. (kg)	1.75	1.05	1.05	0.525	0.525			1.05	0.525					1.75	1.75	3.500	3.500	5.250	5.250	
Hava sürük. (kg)		1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	
Normal agrega (kg)	16-8	748.97	679.47	679.47	680.54	680.54	681.62	681.62	679.47	680.54		681.62	340.81		678.04	678.04	674.46	674.46	670.89	670.89
	8-4	372.78	338.19	338.19	338.72	338.72	169.63		338.19	338.72					337.48	337.48	335.70	335.70	166.96	
	4-2	300.77	272.87	272.87	170.81				272.87						272.29	272.29	169.28			
	2-1	187.03	118.77	50.90					50.90						118.52	50.80				
	1-0.5	110.21	49.99	16.66					16.66						49.88	16.63				
	0.5-0.25	89.83	32.60												32.53					
	0.25-0	52.56	31.79												31.72					
Hafif agrega (kg)	16-8											70.56	141.11							
	8-4					13.66	27.32				42.87	85.75	85.75	85.75				67.52	135.04	
	4-2				9.98	26.62	26.66	26.66		96.73	96.88	96.88	96.88	96.88			42.043	112.11	111.52	111.52
	2-1		5.07	11.84	16.94	16.94	16.97	16.97	50.71	72.56	72.67	72.67	72.67	72.67	19.04	44.43	63.14	63.17	62.80	62.80
	1-0.5		5.112	8.52	10.24	10.24	10.26	10.26	49.03	58.92	59.02	59.02	59.02	59.02	13.50	22.50	26.85	26.85	26.71	26.71
	0.5-0.25		5.25	8.75	8.76	8.76	8.77	8.77	51.47	51.55	51.63	51.63	51.63	51.63	19.47	32.45	32.27	32.27	32.10	32.10
	0.25-0		1.85	5.57	5.55	5.55	5.55	5.55	34.52	34.58	34.63	34.63	34.63	34.63	6.89	20.68	20.57	20.57	20.46	20.46
30 dk su emme (kg)		43.07	86.79	120.36	151.81	176.72	201.40	93.32	151.12	169.66	188.19	216.93	245.67							
Taze beton ağı. (kg)	2381.9	2104.3	1999.8	1881.7	1759.0	1629.1	1497.8	2157.4	2004.5	1896.0	1789.6	1548.1	1306.6	2100.4	1996.3	1887.1	1787.9	1683.5	1584.0	
Çökme (cm)	19.9	21.3	24.3	23.8	24.2	23.8	24.8	23.3	23.5	23.8	24.0	25.7	26.3	20.9	19.1	19.8	19.7	18.9	17.7	

Çizelge 6.11. 1 m³'lük hafif beton için karışım oranları

Karışım tipi	%40 GPA % 60 PA	%50 GPA % 50 PA	%60 GPA % 40 PA	
Hafif agrega oranı (%)	100	100	100	
S/ç oranı	0,48	0,48	0,48	
Çimento (kg)	315	315	315	
Su (kg)	168	168	168	
Silis dumanı (kg)	35	35	35	
Süper akışkan. (kg)				
Hava sürük. (kg)	1.26	1.26	1.26	
	16-8	1411.14	1693.36	1693.36
	8-4	857.48	514.49	
Pomza agregası (kg)	4-2			
	2-1			
	1-0.5			
	0.5-0.25			
	0.25-0			
		8-4		163.92
Perlit agregası (kg)	4-2	266.57	319.88	319.88
	2-1	169.67	203.61	203.61
	1-0.5	102.56	123.08	123.08
	0.5-0.25	87.74	105.29	105.29
	0.25-0	55.54	66.642	66.64
30 dk su emme (kg)	2463.53	3031.36	3106.48	
Taze beton ağı, (kg)	814.33	785.11	755.90	
Çökme (cm)	27.1	27.5	28.2	

Karışımlar sırasıyla normal beton, pomza beton (PB), genişletilmiş perlit beton (GPB) ve lastik beton (LB) olarak üretilmiş olup, yanlarındaki sayılar (10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100) değiştirme yüzdesini göstermektedir. Beton karışımları aşağıdaki sıra ile laboratuvarında hazırlanmıştır:

- Öncelikle PA ve GPA önceden tespit edilen su emme miktarınca ıslatıldı.
- Daha sonra çimento suyunun üçte biri ile tüm agregalar karıştırıldı.
- Ardından çimento, silis dumanı, diğer katkılarla beraber kalan su ile karıştırılmıştır.
- Son olarak, homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Karışımlar 50 lt kapasiteli düşey eksenli zorlamalı küçük bir beton mikseri ile oluşturulmuş belirlenen karışımlarda her seriye ait yarmada çekme deneyleri için 10x20 cm boyutlarında 5'er adet silindir numune, 7, 14, 28 ve 90 günlük tek eksenli basınç dayanım değerleri ile diğer ısı ve ses özelliklerinin tayini için 10x10x10 cm boyutlarında 21'şer adet küp numune hazırlanmıştır. Böylelikle her seriye ait 26'şar ve toplamda 546 beton numunesi üretilmiştir. Kalıpların düzgün bir şekilde dolmasını sağlamak için karışımlar ikişer tabaka halinde dökülüp, sarsma tablasında vibrasyona tabi tutulmuştur. Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da görüldüğü gibi hazırlanan betonlar önceden hazırlanmış ve yağlanmış kalıplara yerleştirilmiş ve oda sıcaklığında 24 saat boyunca dinlenmeye bırakılmıştır.



Şekil 6.7. Küp numunelerin hazırlanması ve yağlanması



Şekil 6.8. Silindirik numunelerin hazırlanması ve yağlanması



Şekil 6.9. Numunelerin kalıplara doldurulması

Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak, Şekil 6.10'da gösterildiği gibi 7, 14, 28 ve 90 gün boyunca $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'deki kirece doymun su içinde istiflenmiştir.



Şekil 6.10. Numunelerin kür havuzuna yerleştirilmesi

6.3. Hafif Beton Numunelere Uygulanan Testler:

Bu bölüm taze ve sertleşmiş betonlara uygulanan testler olarak iki kısma ayrılmıştır.

6.3.1. Taze betonlara uygulanan testler:

Karışım esnasında sertleşmemiş beton harcına uygulanan testleri kapsamaktadır.

6.3.1.1. Taze beton birim ağırlığı belirleme deneyi

Taze betonlar üzerinde taze birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Karışım tamamlandıktan sonra numuneler sarsma tablasında vibrasyona tabi tutulmuş ve kalıplara doldurulup üst yüzü çelik masterla düzeltilmiştir. Daha sonra kalıbın etrafı silindikten ve yapışan harç parçaları temizlendikten sonra hassas terazide tartılmış ve TS 12350 (2000)'e göre taze beton birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

6.3.1.2. Taze Beton Çökme (Slump) Deneyi

Çökme (slump) deneyi ASTM C143 (1993)'e göre taze beton kıvamını tayin etmek amacıyla yapılır. Taze beton huniye üç tabaka halinde ve her tabaka huninin yaklaşık üçte birini dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Her tabaka 16 mm çapında ve 60 cm uzunluğundaki şişleme çubuğu ile 25'er defa kenarlardan ortaya doğru dairesel olarak düşey bir şekilde şişlenmiştir. Daha sonra huni yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilerek yığının yanına konulmuştur. En sonunda huninin en büyük tepe noktası, en küçük tepe noktası ve ortalama yükseklikteki tepe noktasından alınan değerlerin ortalaması çökme değeri olarak Şekil 6.11'de gösterildiği gibi (cm) cinsinden vermiştir. Diğer taraftan bir numunenin 30 dakikalık su emme miktarları, taze birim ağırlıkları ve çökme değerleri Çizelge 6.19 ve 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Şekil Çökme testi

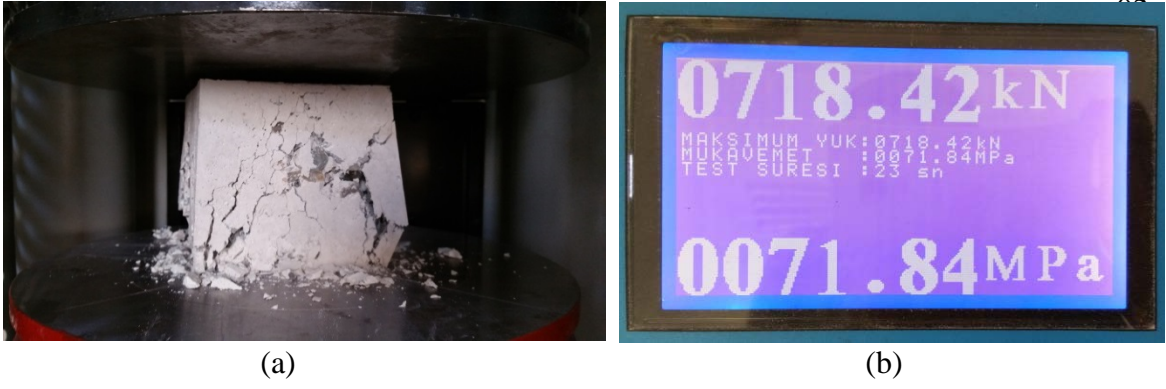
6.3.2. Sertleşmiş betona uygulanan deneyler

Bu kısım mekanik ve ısı testleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Mekanik testler; tek eksenli basınç dayanımı, yarımada çekme dayanımı, yığınsal yoğunluk, gözeneklilik, su emme ve ultrasonik ses hızı testlerini kapsarken ısı testleri; ısı iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılım testlerini içermektedir.

Üretilen 10×10×10 cm küp numunelere 7, 14, 28 ve 90 gün boyunca 22±3°C’deki kirece doymun suda bekletildikten sonra, tek eksenli basınç dayanım testi, 10×20 cm boyutlarında 5’er adet silindir numune ise mekanik deneyler, ısı iletkenliği belirleme deneyi, ısı yalıtım deneyi uygulanmıştır.

6.3.2.1. Tek eksenli küp basınç dayanım testi

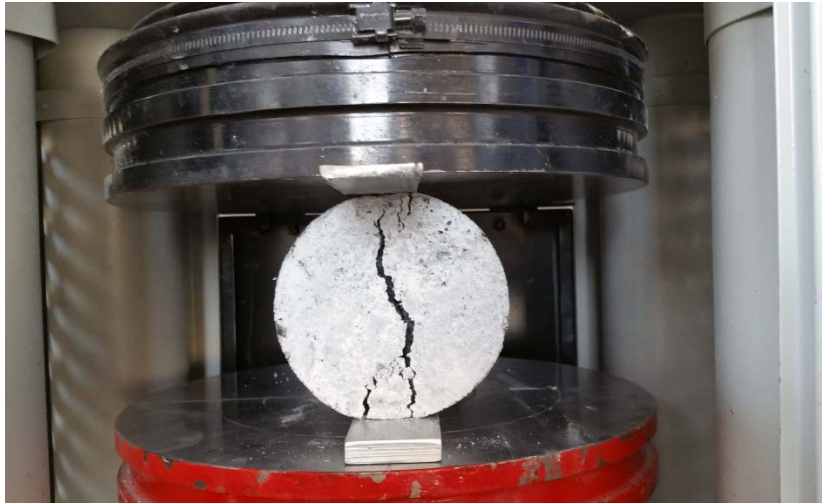
Her seriye ait 10×10×10 cm boyutlarındaki 5’er adet küp numune 7, 14, 28 ve 90 gün boyunca 22±3°C’deki kirece doymun suda bekletildikten sonra tek eksenli basınç dayanım testine tabi tutulmuşlardır. Küp basınç dayanımı deneylerinde 3000 kN kapasiteli KALTEST 3000 Marka basınç presi kullanılmış (Şekil 6.12a), ASTM C39 (2001) standardına göre yapılmıştır. Yükleme 0.24 MPa/sn hızla yapılmıştır. Cihaz ekranından numunenin boyutları girilip, yükleme hızı ayarlandıktan sonra test başlatılmış ve numunelerin kırıldığı anda ulaşılan en büyük yük ve dayanım sırasıyla Şekil 6.12b’de gösterildiği gibi” kN” ve “MPa” olarak okunmuştur. Test sonucunda elde edilen her seriye ait tüm değerlerin ortalaması alınarak deney tamamlanmıştır.



Şekil 6.12. Tek eksenli basınç dayanımı testi: (a) testin yapılışı (b) değerlerin okunması

6.3.2.2. Yarmada çekme dayanım testi:

Her seriye ait 10×20 cm boyutlarındaki 5'er adet küp numune 28 gün boyunca 22±3°C'deki kirece doymun suda bekletildikten sonra yarmada çekme dayanım testine tabi tutulmuşlardır. Betonun yarmada çekme dayanımı testleri yine aynı test presi kullanılarak (Şekil 6.13), ASTM C 496 (2004) standardına göre yapılmıştır. Yükleme 0.24 MPa/sn hızla yapılmıştır. Cihaz ekranından numunenin boyutları girilip, yükleme hızı ayarlandıktan sonra test başlatılmış ve numunelerin yarıldığı anda ulaşılan en büyük yük ve dayanım değerleri okunmuş olup elde edilen her seriye ait tüm değerlerin ortalaması alınarak deney tamamlanmıştır.



Şekil 6.13. Yarmada çekme deneyi

6.3.2.3. Yığınsal yoğunluk, su emme ve gözeneklilik

ASTM C138 (2001) ve ASTM C 948 (2000)'de belirtilen standartlara göre hazırlanan her seriye ait 10x10x10 cm boyutlarındaki 5'er adet küp numunelerin 28. gün sonunda her biri ilk olarak kür havuzundan çıkarıldıktan hemen sonra Şekil 6.14'de görülen kafes örgülü Arşimed terazisine konulur.



Şekil 6.14.Arşimet prensibi

Numune su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılır ve en az 10 defa su içerisine daldırılıp çıkartılır. Belli aralıklarla çalkalama yoluyla numunedeki hapsolmuş hava uzaklaştırılır ve kefe hariç numune kütlesi 0,1 gram hassasiyetle tartılır (M_{ds}). Daha sonra tel sepetten çıkarılan numune nemli bez ile silinerek bekletilmeksizin havadaki kütlesi tartılır (M_{dh}) ve numune etüvde 105 ± 3 °C'de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulur, desikatörde soğutulur ve böylece numune kütlesi 0,1 gram hassasiyetle tartılarak bulunur (M_k). Son olarak numunelerin boyutları kumpasla birkaç kez 0.1 mm hassasiyetle ölçülerek ortalama değerler bulunur ve bu değerlerden numune hacmi (V) hesaplanır. En sonunda beş numunenin ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılır.

$$m = \frac{(M_{dh} - M_k)}{M_k} \times 100 \quad (6.10)$$

$$V = \frac{M_{dh} - M_{ds}}{\rho_s} \quad (6.11)$$

$$V_b = \frac{M_{dh} - M_k}{\rho_s} \quad (6.12)$$

$$\phi = \frac{V_b}{V} \times 100 \quad (6.13)$$

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \quad (6.14)$$

burada;

ρ_k : Betonun kuru özgül ağırlığı, kg/m^3

V: Katı kısım (görünür) hacmi, m^3

V_b : Açık boşlukların hacmi, m^3

ϕ : Etkin porozite, %

m: Betonun su emme kapasitesi, %

ρ_s suyun yoğunluğu olup genel olarak 1000 kg/m^3 alınır.

6.3.2.4. Ultrasonik ses geçiş hızı testi

28 gün boyunca $22 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kirece doymuş suda bekletildikten sonra her seriye ait $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ boyutlarındaki 6'şar adet küp numune kür havuzundan çıkartılarak bir gün boyunca $22 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki ortamda bekletilir. Ertesi gün 0.1 gram hassasiyetli tartıda ağırlıkları tespit edilerek tüm numunelerin ortalamasına en yakın olan numune ses hızı ölçümleri için seçilir. Seçilen numune etüvde $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklıkta 24 saat ara ile yapılan ardışık tartımlarda elde edilen ağırlık farkı %1 veya daha az oluncaya kadar kurutulur. ASTM C597 (2009) 'da belirtildiği şekilde ultrasonik ses hızları (m/sn) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_{pv} = \frac{L_M}{t_s} \quad (6.15)$$

burada L_M test edilen numunenin genişliğini, t_s ise sesin numunenin içerisinden geçme zamanını göstermektedir. Ses ölçüm deneyleri yapılmadan önce ses hızı bilinen bir numune ile cihazın kalibrasyonu yapılır ve ardından 3 farklı noktadan 5'er kez tekrarlanarak ultrasonik ses hızları ölçülür ve ortalamaları alınır. Ultrasonik ses tayini

için Matest 24048 test cihazı kullanılmış olup teknik özellikleri Çizelge 6.12’de verilmiştir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Ultrasonik ses geçiş hızı tayini

Çizelge 6.12. Ultrasonik ses geçiş hızı tayini için cihazın ölçüm aralıkları

Cihaz özellikleri	Ölçüm aralığı ve doğruluk
Ultrasonik ses hızı	0 - 3000 μ s, +/- 0,1 μ s
Aksesuar	55 kHz. iki adet prob
Diğer özellikler	250 ila 1000 V arasında ayarlanabilen ultrasonik geçiş hız genlik seçimi

6.3.2.5. Isıl iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı

Betonun ısı iletkenliğini ölçmek için genellikle iki yöntem kullanılır. Bunlar zamana bağılı olmayan kararlı ve zamana bağılı olan geçici yöntemlerdir (Klieger, 1994). Kararlı hal yöntemleri, muayene edilen malzeme rijit ve kuru olduğunda veya ortam koşullarına göre şartlanmış ise faydalıdır. Geçici yöntemler, rijit ve yarı rijit malzemelerin ısı performanslarının hızlı ölçümler yapılarak elde edilmesinde daha uygundur. Bununla birlikte geçici ölçüm teknikleri düşük iletkenli ve gözenekli malzemeler için uygundur. Bu yüzden son zamanlarda, geçici ısı değişim yöntemleri, malzemelerin ısı özelliklerini belirlemek için daha çok tercih edilmektedir (Dos Santos, 2008). TPS (Transient Plane Source) veya sıcak disk metodu, test edilen numunenin birim hacim başına ısı iletkenlik, ısı yayılımı ve özgül ısı hakkında bilgi veren modern bir tekniktir. Bir sensör ile üretilen numuneler arasındaki ara yüzlerden herhangi bir rahatsızlık vermeden ölçümlere izin verir ve gözenekli numunelere

doğrudan uygulanabilir (Gustavsson ve ark., 1994). Teknik, geçici kayıtların toplam zamanını sınırlayarak sonsuz bir ortam olarak görülebilen numune içindeki üç boyutlu ısı akışına dayanır. TPS tekniğinde ısı kaynağı, sıcaklık artışının sensörü olarak işlev gören iki yönlü spiralden yapılmış sıcak bir diskir. Taşınmaz veya kararlı yöntemlerle karşılaştırıldığında, geçici yöntemlerin avantajı, tek bir hızlı ölçüm içinde tüm termofiziksel özelliklerin hepsini birden vermesidir.

Ses hızı ölçümleri için seçilen numunelerdeki işlemler aynı şekilde bu deneyde de tekrarlanmıştır. Seçilen 10×10×10 cm boyutundaki etüv kurusu numune TS EN 12667 (2003)'ye göre 35. günde ısıl özellik testleri yapılmıştır. Numunelerin yüzeyleri ısıl özellik testi yapılmadan önce zımparalanmıştır. Bu çalışmada ISOMET 2104 cihazı, betonun ısı iletkenliğini, özgül ısı kapasitesini ve ısı yayılımını ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 6.16). Bu cihazın temel prensibi TPS yöntemiyle aynıdır; Bununla birlikte, ısıl iletkenlik, tek taraflı, ara yüzeyli, ısı yansıtma sensörü ile ölçülür ve numuneye anlık ve sabit bir ısı kaynağı uygulanır. Ölçüm süresi yaklaşık 8-16 dakikadır. Ölçülen parametreler için cihaz aralıklarının değerleri Çizelge 6.13'te tablolaştırılmıştır. Daha sonra her bir numune beş farklı noktadan ısıl özellikleri tespit edilerek ortalamaları alınıp deney sonuçlandırılmıştır.



Şekil 6.16. Isıl özellikler tespit cihazı

Çizelge 6.13. Isıl özelliklerin tayini için cihazın ölçüm aralıkları

Ölçüm Doğruluğu	Ölçüm aralığı	Doğruluk
Isıl iletkenlik katsayısı	0,015-6 W/mK	Okumanın % 5'i + 0.001 W/mK
Özgül ısı kapasitesi	$4 \times 10^4 - 4 \times 10^6$ J/m ³ K	Okumanın % 15'i + 1,103 J/m ³ K
Çalışma sıcaklığı	-20 - +70 °C arası	1 °C

7. MALZEME VE YÖNTEM-II

Nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dünyayı tehdit eder hale gelmesine neden olmaktadır. Enerji kullanımının büyük bir bölümünün konut ısıtılmasında olduğu dikkate alınır, yapı yalıtımının önemi daha iyi anlaşılacaktır. Binalarda uygulanacak yalıtım malzemesi, sağlayacağı ekonomik faydanın yanı sıra çevre kirliliğine etkisi ve binanın yangın yalıtımına katkısı gibi hususlarda dikkate alınarak seçilmelidir. Bununla birlikte ülkemizde yaygın olarak kullanılan çoğunluğu petrol ürünü ve yanıcı olan strafor ve poliüretan gibi yalıtım ürünlerine muadil olabilecek ve ülkemizin kaynaklarını kullanarak elde edilecek ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara cevap verebilecek perlit ve bor gibi ülkemizin kaynak bakımından büyük rezervlere sahip olduğu malzemelerle, dayanım, ısı, ses ve yangın yalıtımı yüksek olan yalıtım malzemelerinin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefi gerçekleştirmek amacıyla birçok deneysel ve teorik araştırmalar yapılmıştır. Bu kısımda bina yapılarında mantolama (dış cephe) malzemesi olarak kullanılabilen agrega esaslı ürünler geliştirme yöntemleri ve kullanılan malzemeler anlatılmıştır. Ürünlerin geliştirilmesinde ve hazırlanmasında kullanılacak olan malzemelerin açıklanması, özelliklerinin belirtilmesi ve son kısımda ise üretilen numunelerin mekanik ve ısı özelliklerini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiş testler açıklanmıştır.

7.1. Agrega esaslı yalıtım kompozitini oluşturan malzemeler:

7.1.1. Agregalar

Hafif beton üretiminde kullanılan genişletilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregaları hafif betonda olduğu gibi yalıtım malzemesinin de ana bileşenlerini oluşturmaktadır.

7.1.2. Dolgu (filler) malzemeleri:

63 µm den küçük agrega malzemeleri filler olarak adlandırılır. Agrega esaslı yalıtım malzemelerinde yukarıda belirtilen genişletilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregaları dışında yalıtım malzemesinin stabilitesini, dayanımını, rijitlik vb. gibi bir çok

mekanik özelliğini arttırıcı filler malzemeleri kullanılmıştır. Bu kısımda bu mineraller hakkında bilgi verilmiştir.

7.1.2.1. Mika

Yerbilimlerinde önemli bir mineral birimi oluşturan "Mika"lar tabaka silikatlar (fillosilikatlar) grubundandır. Doğada yaprakçıklar ve pullar halinde, pegmatitler ve bazı magmatik kayalar içerisinde bulunurlar. Kristal yapıları SiO_4 dörtyüzlülerinin oluşturduğu tabakalar ve bu tetrahedral (dörtyüzlü) tabakaların tepelerdeki serbest oksijen ve aralardaki katyonlarla bağlanarak sekizyüzlü tabakaları oluşturması ve nihayet bu sekizyüzlülerinin de oksijen ve (OH) grupları ile çevrilmesinden meydana gelmiştir. Ticari açıdan çok önemli bir yere sahip olan mikaların çeşitli elek boylarındaki kullanım alanları Çizelge 7.1'de verilmiştir (Harben, 1995).

Çizelge 7.1. Mikaların tipik kullanım alanları (HARBEN, 1995).

Sınıf	Elek Boyu (mesh no)	Kullanım Alanları
Kaba, işlenmemiş tabakalar	6	Petrol sondajları, suni kar
Orta taneli tabakalar	10	Yılbaşı süsleri, sergi maddeleri
İnce taneli tabakalar	16	Çatlak çimentosu, ateş tuğlaları, asfalt düz tavan kaplaması
İşlenmemiş ince toz	30	Metal tavlama,antiseptik,patlayıcı maddelerde soğurucu olarak,otomotiv parçaları
Orta - ince toz	60	Kaynak elektrodları, kablo ve tel,Döküm sanayi, petrol hatları, sakız,yağlayıcı ve yapıştırıcı madde olarak
İnce toz	100	Yapı boyları, ses geçirmez sıva,düz tavan kiremitleri
Süper ince toz	325	Boylar, plastikler, lastik ürünleri, kağıt

Bu çalışmada ince mika tozu (80 μm) ve pul mika (Şekil 7.1) olarak iki farklı mika agregası kullanılmış olup Töreci Makine Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir.



Şekil 7.1 Pul mikanın görüntüsü

7.1.2.2. Feldispat

Feldispatlar (Şekil 7.2a) yer kabuğunun %60-65'ini oluşturan sodyum, potasyum, kalsiyum, lityum ve bazen de baryum ve sezyum ve bu elementin izomorf birleşimi ile oluşmuş susuz alümina silikatlarıdır. Bu mineraller her magma kütlelerinde değişik şekillerde bulduklarından bunların soğuyup kristalleşmesi ile yer yer feldispat bölgeleri ve yatakları oluşmaktadır. Temel seramik ve cam hammaddesi olan feldispatlar ülkemizde de yaygın olarak bulunmakla birlikte çoğunlukla gerek alkali içerikleri açısından zenginleştirme gerektirmektedirler. Boya, seramik, cam ve plastik sanayisinde yaygın olarak kullanılan feldispatlar genel olarak Mohs sertlik değerine göre 6-6.5 sertlik derecesine olup yoğunlukları $2.5-2.76 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir (Kogel, 2006).

7.1.2.3. Kuvars

Kuvars (Şekil 7.2b) fiziksel özellikleri ile genelde renksiz, açık beyaz renkli, ince taneli yapı sergileyen yalıtımlı hafif yapı malzemeleridir. Temel empürilerinin oranları ve türleri oluşum yerine bağlı olarak değişiklikler gösterir. Mohs skalasında sertliği 7, özgül ağırlığı 2.65 gr/cm^3 , ergime sıcaklığı 1785 °C olan ve yer kabuğunda oldukça sık görülen minerallerden biridir. Doğal kuvars içerisinde katı eriyik halinde bulunan başlıca elementler: Li, Na, Al, Ti ve Mg'dur. Genel olarak renksiz, ancak çok farklı renklerde de görülebilmektedir. Renkli oluşumlar gaz, sıvı, katı kapanımlarla

oluşmuştur. Bu katanımlar, CO₂, H₂O, hidrokarbon, NaCl, CaCO₃, rutil, aktinot gibi bazı minerallerdir. Kuvars minerali üfleçte erimemekle beraber, sadece hidroflorik asitte çözünür. Piezoelektrik ve piroelektrik özellikleri gösterir. Kuvars çeşitleri iri kristalli ve kriptokristalen olmak üzere iki gruba ayrılır (Kumbasar, 1977; Çetinel ve ark., 1996; Kurşun ve İpekoğlu, 1995). Kuvars kumunun sektörel bazda kullanımına ait bir değerlendirme aşağıda özetlenmektedir (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2. Kuvars kumunun tipik kullanım alanları (Kurşun ve İpekoğlu, 1995).

Döküm	Döküm sanayinde kalıp kumu: kuvars kumu, bentonit ve sudan oluşur.
Refrakter	Silika tuğla yapımında ana hammaddedir. %25 oranında kuvars kumuda kuvarsit yerine kullanılabilir.
Metaller	Cüruf yapıcı (flux) olarak, parça halinde ve % 90 SiO ₂ saflıkta olmalıdır.
İnşaat	Hafif gaz beton yapı elemanları (Ytong), yapı kumu ve pres tuğla yapımında.
Elektronik	Dielektrik ve piezoelektrik özellikleriyle çeşitli devrelerde frekans geçişi ve frekans kontrolü gibi işlevler için kullanılır.
Seramik	Fayans imalinde kullanılan temel hammaddelerin %25'i plastik kil, %22-25'i kaolin, %35-38 kuvars kumu, %11'i de beyazlatıcılar ve diğerleridir. Kuvars kumu pişirme sırasında oluşabilecek bozulma ve kırılmaları önlemekte ve malzemeyi beyazlatmaktadır.
Cam	Şişe ve düz cam imalinde kuvars kumu ve kuvarsit kullanılırken kristal cam imalinde kaliteli kristal kuvars kullanılır
Silikon ve Ferrosilikon imali	Uygun hammadde; %85-90 SiO ₂ içermeli, 0.15mm tane boyutunda ve yüzey alanı 20m ² /g olmalıdır



(a)

Şekil 7.2. Kuvars kumunun (a) ve feldispat kayacının (b) genel görünümü

Çalışmamızda kullanılan ince kuvars tozu (75 µm) ve potasyum feldispat tozu (75 µm) Matel Hammadde San. Tic. A.Ş.'den temin edilmiş olup kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir:

7.1.2.4. Mikrosilika (silis dumanı)

Hafif betonlarda çimento ile beraber belirli oranlarda kullanımı sonucunda yüksek dayanım özelliği kazandıran silis dumanı agregası esaslı yalıtım malzemelerinde ise, yalıtım malzemesinin hem dayanımını arttırmak hem de dolgu maddesi olarak farklı özellikler kazandırmak amacıyla agregası ve minerallerin karıştırılması esnasında karışımın toplam ağırlığının % 2.5 ila % 3 arası kullanılmıştır.

7.1.3. Yapıştırıcılar (bağlayıcı veya matris)

Kompozit malzemede tanecik ve fiberleri bir arada tutan yapıştırıcılar (matrisler) yapının iskeletini oluşturmaktadır. Bu yüzden kompozit malzemeyi oluşturmadan önce kullanılacak yapıştırıcıya karar verilmesi gerekmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi kompozit yalıtım sistemlerinde yapıştırıcılar genelde organik ve inorganik bazlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Çalışmada üreteceğimiz malzemede yanmazlığı hedeflediğimizden organik yapıştırıcılar yerine inorganik olanları tercih edilmiştir. Öncelikle inorganik bazlı yapıştırıcı olarak yapı malzemelerinde kullandığımız Portland çimentosunun yapıştırıcı olarak kullanıldığı birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Fakat çimentonun yüksek ısı iletkenlik katsayısından dolayı üretilen numunelerin yalıtım özelliği hedeflenen değerlerin çok uzağında kalmıştır. Bununla birlikte çimento miktarının azaltılmasıyla üretilen numunelerin de yeteri dayanıma ulaşmadığı ve kolay bir şekilde parçalandığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden yapılan yoğun literatür çalışması sonucunda yapıştırıcılarda ana bileşen olarak silikatlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte agregası esaslı kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan diğer bağlayıcılar ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

7.1.3.1. Silikatlar

Boya, kağıt, deterjan, kozmetik sanayi gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılan silikatlar özellikle yüksek yangın direncine ve düşük ısıl iletkenliğine sahip olduklarından çalışmada yalıtım malzemelerinin kullanımında ana inorganik yapıştırıcı olarak görev almaktadır. Çimento gibi yüksek bağlayıcı özelliklerine sahip olmadıklarından üretilen yalıtım malzemelerinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için

farklı kimyasal ve minerallerin kullanılması gerekmektedir. Bunun yanında çimento gibi kendinden sertleşemediğinden bir sertleşme ajanına aynı zamanda kürlenmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmamızda üç farklı silikat kullanılmıştır. Bunlar sodyum silikat (cam suyu), potasyum silikat ve lityum silikattır. Sırasıyla sodyum silikat AS Kimya A.Ş.'den, potasyum silikat Egekimya ve Özkimsan A.Ş'den lityum silikat ise yine Egekimya A.Ş'den temin edilmiştir.

$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ ve $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O}$ ağırlık oranlarına göre piyasada çok sayıda silika çeşidi bulunmakta ve bu oranlara göre inorganik malzemenin su direncinden, vizkozitesine ve yoğunluğuna gibi birçok özelliği değişmektedir. Üretilen agrega esaslı yalıtım malzemelerin üstün mukavemet, yalıtım, ateş dayanımı, suya karşı direnci gibi bir çok parametre yapıştırıcının özelliğine büyük oranda bağlı olduğundan yapıştırıcı seçimi yapılırken çok yoğun literatür çalışması yapılmıştır. Çizelge 7.4'de yalıtım malzemesinde kullanılmış olan silikatların özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 7.3. Silikatların özellikleri

Özellikler	Sodyum silikat	Potasyum Silikat	Lityum silikat
SiO_2 , (%)	25-28	25-27	17.5-19.5
Na_2O , (%)	7.7-8.7	0.5	-
K_2O , (%)	-	12-14	-
Li_2O , (%)	-	-	3-3.30
Be (20 °C)	40-43	40-43-	23.50-24.50
Yoğunluk (g/cm^3)	1.38-1.42	1.38-1.42	
Katı içeriği, %	% 32-44	% 28-32	% 26-30

7.1.3.2. Kaolin

“Kaolin” kil hammaddeleri içinde Ca ve Na montmoryonit (bentonit) gibi kaolinit minerali ile karakterize olan bir hammaddedir. Endüstriyel kullanımda “kalsine” edilmiş şekilde “kaolin” altında istatistiklere dahil edilir. Kil agregası olan kaolin; boya, kağıt, seramik, plastik sanayi gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılması ile birlikte yüksek yapıştırıcı özelliklerinden dolayı bağlayıcı olarak da kullanılır. Özellikle agrega esaslı yalıtım malzemelerinde yüksek ateş direnci ve düşük büzülme oranları sağladığından kaolin kili çalışmada belirli oranlarda kullanılmıştır. (Samanta, 1994). Çalışmada kullanılan kaolinin özellikleri Çizelge 7.4'de belirtilmiştir:

Çizelge 7.4. Kaolinin kimyasal bileşimleri (MTA, 2013)

Kimyasal Bileşik (%)	Kaolin
SiO ₂	46.9%
Al ₂ O ₃	38.2%
Fe ₂ O ₃	0.35%
TiO ₂	1.42%
CaO	0.43%
MgO	0.58%
Na ₂ O	0.04%
L.O.I. (Kızdırma kaybı)	13.9%

7.1.3.3. Sodyum hidroksit

Sodyum hidroksit birçok endüstride kullanılan önemli temel bir bileşiktir. Sodyum hidroksit'in diğer adı kostik tir. Beyaz renkte olup nem çekici özelliği olan bir maddedir. Suda kolaylıkla çözülür. Yumuşak, kaygan ve sabun hissi veren bir yapıdadır. Sıvı ve katı halde bulunmaktadır. Sodyum hidroksitin özellikleri Çizelge 7.5'te verilmiştir (Anonim, 2017).

Çizelge 7.5. Sodyum hidroksitin özellikleri

Fizikokimyasal Bilgi	
CAS Numrası	1310-73-2
Kimyasal Formülü	NaOH
Molar Kütle	40.00/mol
Yoğunluk	2.13 g/cm ³ (20°C)
Ergime Noktası	323°C
Ph Değeri	14(50g/l H ₂ O20°C)
Buhar Basıncı	(20°C)
Çözünürlük	1090g/l (20°C)

Sodyum hidroksit endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Kağıt, boya, yapay ipek, deterjan sanayinde petrol rafinelerinde kullanılmaktadır. En büyük kullanım alanı kimyasal endüstridir, deterjan ve boya daha sonra kağıt sektöründe kullanılır. Agregas esası yalıtım malzemelerine yüksek bağlayıcılık özelliği kazandırdığından çalışmada belirli oranlarda kullanılmıştır (Lee ve Jackson, 1969)

7.1.3.4. Polivinil alkol

Polivinil alkol, Vinil asetat ve bir katalizörün polimerizasyonu sonucu türetilen renksiz, termoplastik, suda çözünebilir, reçinemsiz yüksek ve suda çözünür bir polimerdir. Bir polivinil esterinin (polivinil asetat) hidroliziyle hazırlanır. Süngerlerin üretiminde kullanılan elastomerlerin bir komponenti olarak kullanılır. Bu polimer kağıt veya tekstiller üzerinde yağlar ve makine yağlarına dayanıklılık veren aharlama ajanları olarak kullanılırlar, filmleri solventler veya oksijen tarafından saldırıya dayanıklı yapmak için kullanılır. Polivinil alkol ayrıca yapıştırıcıların, emülsifiyerlerin, süspanse edici ve kalınlaştırıcı (kıvam verici) ajanların bir komponenti olarak kullanılabilir. Agregas esaslı yalıtım malzemelerine yüksek bağlayıcılık özelliği kazandırdığından çalışmada belirli oranlarda kullanılmıştır (Yates, 1973).

7.1.3.5. Sodyum karboksimetil selüloz

% 99.5 saf CMC, teknik CMC ve etil alkolün ekstraksiyonundan türetilir. Krem rengi, tozudur. Suda kolayca çözünür. Organik sıvılarda çözünmez. Ağır metal tuzları ile reaksiyona girdiğinde suda çözünmeyen, şeffaf, dayanıklı ve organik maddelerden etkilenmeyen bir film oluşturur. Yarı sentetik, suda çözünebilir polimerdir. Selülozik yapısı nedeniyle, kağıt gibi diğer selüloz maddeleri için çok iyi bir yapıştırıcı olma özelliğine sahiptir. Tek başına ya da diğer polimerlerle birlikte mükemmel duvar kağıdı tutkalı olma özelliği gösterir. Agregas esaslı yalıtım malzemelerine yüksek bağlayıcılık özelliği ve dayanım kazandırdığından çalışmada belirli oranlarda kullanılmıştır (patent). Çalışmada kullanılan sodyum karboksimetil selülozun özellikleri Çizelge 7.6'da verilmiştir (Anonim, 2017).

Çizelge 7.6. Sodyum karboksimetil selülozun özellikleri

Spesifikasyonlar	
Formül	$C_{28}H_{30}Na_8O_{27}$
Tanımı	Beyaz krem rengi granül
CMC	%58 S2
DS	%0.4-0.6
Erime Derecesi	396 °C
Molekül Ağırlığı	21.000-500.000
Özgül Ağırlık	1.59 (25 °C)
Ph	6.5-8.0 (%1)
Rutubet	6.0-9.0
Vizkozite	1000-2000 (%40)

7.1.3.6. Trisodyum fosfat

Suda çok çözünen iyonik bir tuzdur. Suda çözüldüğünde, çözelti alkalidir. Fotoğraf geliştiriciler, buhar kazanı pul (kabuk) uzaklaştırılması ve kireç önleme, su yumuşatma, deterjan karışımı, olarak vb... çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Trisodyum fosfat aynı zamanda asitlik düzenleyici (tampon), emülsifiyer, kalınlaştırıcı ajan ve ayırma ajanı (metal kompleksleştirici) olarak da kullanılabilir. Agregas esası yalıtım malzemelerine yüksek bağlayıcılık özelliği ve dayanım kazandırdığından çalışmada belirli oranlarda kullanılmıştır (Vogel ve Westlund, 1982). Çalışmada kullanılan trisodyum fosfatın özellikleri Çizelge 7.7’de verilmiştir (Anonim, 2017).

Çizelge 7.7. Trisodyum fosfatın özellikleri

Spesifikasyonlar	
Formül	NA ₃ PO ₄ .12H ₂ O
Tanım	Beyaz kristal toz
Safılık	Min %98
Sülfat	Max %0.5
Suda Çözünenler	Max %0.1
Mol Ağırlığı	380.12g/mol
Fosfor Pentaoksit	Min %18.3
Klorür	Max % 1.5
Sodyum Oksit	Max % 15.5-19
Dekompozisyon	70 °C

7.1.3.7. Çimento

Daha önceki bölümlerde ayrıntılı bilgi verilen çimento, agregas esası yalıtım malzemelerine hızlı sertleşme özelliği ve ayrıca yüksek bağlayıcılık özelliği kazandırdığından malzemede ısıl iletkenliği etkilemeyecek şekilde belirli oranlarda kullanılmıştır.

7.1.4. Fiberler

Kompozit malzemeleri oluşturan ana unsurlardan biri olan fiberler eski çağlardan günümüze kadar inşaat malzemelerinde kullanılmaktadır. Özellikle agregas esası kompozit malzemelerde yüksek dayanım, esneklik ve yapısal bütünlük sağlayan fiberler genel olarak organik yada inorganik olarak gruplandırılırlar. Çalışmamızda

organik fiber olarak selüloz, inorganik fiber olarak bazalt, cam ve karbon fiberleri yalıtım malzemesinin toplam ağırlığının % 1 ila % 5 oranında kullanılmıştır.

7.1.4.1. Selüloz

Selüloz, odun, keten, bambu, pamuk ve diğer bitkisel materyallerin hücre çeperinin temel maddesini oluşturmakta olup, odunun hücre çeperinin %40-60'ını kapsar. Bitkisel lifler veya selüloz elyafları nispeten düşük maliyetle geniş kullanılabilirlik, biyolojik yenilenebilirlik, geri dönüştürülebilirlik, biyolojik bozunabilirlik, tehlikesiz yapı, sıfır karbon ve önemli fiziksel ve mekanik özellikler (düşük yoğunluklu ve dengeli sertlik, tokluk ve mukavemet) sağlarlar. Bitkisel lifler geniş çapta morfolojilere (çap, en / boy oranı, uzunluk ve yüzey pürüzlülüğüne) ve esas olarak iplikler, hamur veya zımba biçiminde bulunabilirler. Bununla birlikte yüzeyleri daha hidrofilik veya hidrofobik bir karaktere sahip olmak veya fonksiyonel gruplar eklemek için kolayca modifiye edilebilirler (Anonim, 2017).

Günümüzde, sürdürülebilir, enerji tasarruflu yapı malzemeleri gereksinimi, çevre dostu inşaat ürünleri üretmek için alternatif malzemeler üzerine yoğun araştırmalar yapılmıştır. Bununla birlikte bitkisel lifli çimento kompozitler, lif takviyesiz çimento esaslı malzemelerle karşılaştırıldığında gelişmiş tokluk, süneklik, eğilme kapasitesi ve çatlama direnci sergilemesidir. Selülozik elyaflar, eğilme mukavemet, tokluk ve darbe direncinin önemli ölçüde artırılması için çimento esaslı matrislere yeterli sağlamlık, kuvvet ve bağlanma kapasitesi sağlar. Dahası, bu lifler serbest plastik çekmeyi azaltabilir, ısı iletkenliği azaltır ve ses emilimini ve spesifik sönümü artırarak akustik performansı geliştirir (Anonim, 2017).

Selülozun üstün mekanik özellikler sağlamasına karşın yangın direncine karşı zayıf olmaları nedeniyle çalışmada üretilen yalıtım malzemelerinde miktarları sınırlandırılmıştır. Çalışmamızda uzunluklarında iki farklı selüloz fiberleri kullanılmıştır. Yalıtım malzemesinde kullanılan fiberler Essel Selüloz ve Kağıt Sanayi Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir (Şekil 7.3). Karışıma eklenecek selülozlar yalıtım malzemesinin toplam ağırlığının % 0.5 ila % 1.2 oranında kullanılmıştır. Selülozların karışıma homojen olarak dağılması için karışıma eklenmeden önce % 5 NaOH çözeltisinde 30-40 °C arası 30 dakika karıştırılmıştır.



Şekil 7.3. Çalışmada kullanılan selüloz fiber tabakaları

7.1.4.2. Cam fiber (elyaf)

Cam elyafı cam ipliğidir. Silisli kum, kireçtaşı, asitborik, alüminyum ve magnezyum karışımından elde edilir. Büyük bir ısıtma tankında üretilen cam, değerli platin madenden yapılmış bir elekten geçirilerek, yukarıdan aşağı V biçiminde püskürtülen iki basınçlı hava ya da buhar jeti arasında yaklaşık 1 mm kalınlığında iplikler haline dönüştürülür. Isıyla yapışkan hale gelen reçine yardımıyla döner bir kayış üzerine yapışan 20-25 cm uzunluğundaki bu cam iplikler, uygun bir yoğunluğa kadar sıkıştırıldıktan sonra, reçinenin katılması için fırınlanarak pamuk haline getirilir. Cam pamuğu en çok ses ve ısıya karşı yalıtkan ve inşaat malzemesi olarak kullanılır. Bununla birlikte fiber haline getirilen cam elyaflar, prekast beton, hazır beton, hazır sıva ve harçlar, ısıya mukavim alçı plakalar, dekoratif betonlar gibi alanlarda çatlak kontrolü, kalıcılık ve sağlamlık için kullanılan ve hem kimyasallara hem de yüksek ısıya karşı dayanıklı bir katkı olarak kullanılmaktadır. Kısaca avantajları şunlardır:

- Kılcal rötre çatlaklarını azaltır
- Aşınma, kırılma ve kopma dayanımını artırır
- Kalıcılığı ve sağlamlığı artırır
- Su geçirimsizliğini artırır
- Burkulma dayanımını ve yorulma direncini artırır
- Kullanımı kolaydır, düşük maliyetlidir ek işgücü gerektirmez (Anonim, 2017).

Bu çalışmada 13 μ m çapında ve 3-6 mm uzunluklarında iki tip cam fiber kullanılmıştır. Yalıtım malzemesinde kullanılan fiberler Dost Kimya Sanayi Ticaret

A.Ş.'den temin edilmiştir (Şekil 7.4). Karışıma eklenecek cam fiberler selülozlar yalıtım malzemesinin toplam ağırlığının % 1 ila % 4 oranında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan cam elyafın teknik özellikler aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8. Cam elyafın teknik özellikler

Teknik Özellikler	
Çekme Dayanımı	3400 MPA
Elastisite Modülü	77 GPA
Uygulama Sıcaklık	+/-650 °C
Özgül Ağırlık	2.60 gr/cc
Elyaf Çapı	13 Mikron
Ergime Sıcaklığı	C



Şekil 7.4. Cam fiber

7.1.4.3. Bazalt fiber (elyaf)

Bazalt yer kabuğunun üçte birini oluşturan, lav kökenli bir kaya oluşumdur. Bu yüzden ham madde kolayca bulunabilir ve pahalı değildir. Bununla birlikte üretilecek elyafın iyi özelliklere sahip olabilmesi için kullanılacak bazalt kaynağının niteliği önemlidir. Lavın kimyevi bileşimi, soğuma hızı, zaman içinde hava ile olan etkileşimi gibi değişkenler iyi bir bazalt elyafı elde edebilmek için oldukça önemlidir. Bazalt elyafları, bazalt taşlarının 1300-1700 °C'de eritilmesi ile elde edilir. Eritmek için gereken enerji cam elyaflardan yüksek olup lifleri elde edebilmek için platin alaşımli pahalı çekme ağızları kullanmak gereklidir. Bu sebeplerle bazalt elyafı fiyatları dünya

genelinde cam elyaftan daha pahalıdır. Bununla birlikte bazalt elyaf, uygulamasına göre belirli uzunluklarda kesilmiş ve beraber kullanılacağı malzeme ile uyum sağlaması için kimyasal işleme tabi tutulmuş yüksek mekanik ve ısı özelliklerine sahip katkı maddesidir. Mikrodonatı oluşturması için beton katkısı olarak, yüksek sıcaklık izolasyon uygulamalarında, balatalarda ve termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde genel olarak kullanılmaktadır. Kısaca avantajları şunlardır:

- Yüksek Aşınma, kırılma ve kopma dayanımı
- Yüksek kimyasal direnç
- Yüksek ısıl iletkenlik
- Burkulma dayanımını ve yorulma direncini artırır (Anonim, 2017).

Yalıtım malzemelerinde yangına karşı direnci doğrudan arttıran bazalt elyaflar yalıtım malzemesi üretiminde 15 µm çapında ve 12 mm uzunluklarında olanları kullanılmıştır. Yalıtım malzemesinde kullanılan fiberler Dost Kimya Sanayi Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir (Şekil 7.5). Karışıma eklenecek bazalt fiberler yalıtım malzemesinin toplam ağırlığının % 0.4 ila % 0.9 oranında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bazalt elyaftan teknik özellikler aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.9).



Şekil 7.5. Bazalt fiber

Çizelge 7.9. Bazalt elyafın teknik özellikler

Teknik Özellikler	
Çekme Dayanımı	4840 MPA
Elastisite Modülü	89 GPA
Uygulama Sıcaklık	+982°C
Özgül Ağırlık	2.60-2.80gr/cc
Elyaf Çapı	9-23 Mikron
Ergime Sıcaklığı	C

7.1.4.4. Karbon fiber (elyaf)

Karbon fiber maddesi orlon, katran ve naylonun başka kimyasallarla birlikte belirli oranlarda birleşiminden meydana gelir. Yapısındaki katran ve orlon miktarına göre iki gruba ayrılır. Dünya üretiminde PAN (Poli-Akro-Nitril) temelli karbon fiber üretimi %94 oranındayken %6 kadarı katran temellidir. PAN temelli üretim ise kendi içinde oksidasyon, karbonizasyon, yüzey iyileştirmesi ve kaplama gibi 4 temel aşamadan geçerek üretilir.

Kırpılmış karbon fiberler yüksek mekanik muhavemetleri, elektrik iletkenlikleri, ısıl mukavemetleri ile termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde ve elektrik iletkenliği sağlanmasında; antistatik özellik istenen endüstriyel zeminlerde; yüksek aşınma dayanımı gereken fren balataları gibi ürünlerde sahip olduğu üstün özellikleri ile katkı maddesi olarak kullanılır. Kısaca avantajları şunlardır:

- Aşınma, kırılma ve kopma dayanımını artırır
- Kalıcılığı ve sağlamlığı artırır
- Isıl ve elektrik iletkenliğini artırır
- Burkulma dayanımını ve yorulma direncini artırır (Anonim, 2017).

Karbon fiberler yüksek mukavemetlerinin yanında yüksek ısı iletkenliğine de sahip olmaları nedeniyle çalışmada üretilen yalıtım malzemelerinde miktarları sınırlandırılmıştır. Yalıtım malzemesi üretiminde 7.2 µm çapında ve 8-12 mm uzunluklarında olanları kullanılmıştır. Yalıtım malzemesinde kullanılan fiberler Dost Kimya Sanayi Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir (Şekil 7.6). Karışıma eklenecek karbon fiberler yalıtım malzemesinin toplam ağırlığının % 0.2 ila % 1.2 oranında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan karbon teknik özellikler Çizelge 7.10'da belirtilmiştir.



Şekil 7.6. Karbon fiber

Çizelge 7.10. Karbon elyafın teknik özellikler

Teknik Özellikler	
Çekme Dayanımı	3800 MPA
Elastisite Modülü	228 GPA
Elektrik İletkenliği	0.0015 ohm-cm
Özgül Ağırlık	1.81gr/cc
Elyaf Çapı	7.2 Mikron
Karbon Yüzdesi	%95
Elyaf Uzunluğu	3 mm -6mm-12mm

7.1.5. Sertleştiriciler

Kaplamalar, boyalar, yapıştırıcılar ve mineral esaslı izolasyon maddelerinde inorganik bazlı bağlayıcı ajanlar olarak alkali silikat solüsyonlarının ve çözeltilerinin kullanılması uzun süredir bilinmekte olup ve uygulamalarda büyük ölçüde etkin olarak görev almaktadırlar. Bununla birlikte daha öncede bahsedildiği gibi alkali silikat solüsyonları tek başına, yeterli su ve iklim direnci, sıcaklık kararlılığı, sertlik ve esneklik gibi birçok teknik özelliği tam olarak karşılamadığı için, bu özelliklerin geliştirilmesi için alkaliye uygun sayısız eklemeler yapılmış ve metal silikat çözeltileri biçiminde geliştirilmiştir. Özellikle, bazik olarak tepkimeye giren ürünler olan üre, asitler, asitle reaksiyona giren bileşikler sertleştiriciler olarak önerilmiştir. Benzer şekilde, esnekliği arttırmak için poliakrilatlar veya fenol ve reçineler ilâve edilmiştir. Bunun yanında bu belirli sayıdaki aktivatör yada katalizörlerin belirli oranlarda

uygulanması gerektiği ve hatta bazı asit grupların silika bağlarına zarar verdiği tespit edilmiş olup, sertleştiricilerin seçimi yapılırken çok yoğun literatür çalışması yapılarak uygun olanların kullanılmasına karar verilmiştir (Anonim, 2017)

7.1.5.1. Sodyum klorür

Yemek tuzu, kimyada sodyum klorür ismiyle bilinen beyaz kristal yapıları bir bileşiktir. İnsan dahil tüm canlıların besin kaynaklarından olan tuz, ticari bakımdan da önemli bir maddedir. Dünyanın her yerinde rastlanabilen sofraya tuzu tarih boyunca önemli bir ihtiyaç ve ticaret maddesi olmuştur. Besin maddesi olması dışında tuz; dericilikte, hayvan besiciliğinde, su yumuşatma sistemlerinde ve kimya sanayisinde yaygın olarak kullanılır. Çalışmada kullanılan sodyum klorürün özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.11).

Çizelge 7.11. Sodyum klorürün özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Kimyasal Formülü	NaCl
Molar Kütle	58.44g/mol
Kaynama Noktası	1461°C(1013hPa)
Yoğunluk	2.17 g/cm ³ (20 °C)
Ergime Noktası	801°C
Ph Değeri	4.5(100g/l H ₂ O20 °C) 7.0
Buhar Basıncı	1.3 hPa (865 °C)
Çözünürlük	358g/l (20 °C)

7.1.5.2. Kalsiyum klorür

Kalsiyum klorür maddesi, oda sıcaklığında katı halde bulunan iyonik yapıdaki tuzlardan biri olmaktadır. Direk olarak kireç taşından üretileceği gibi, Solvay yöntemi sonucunda yüksek oranlarda yan ürün olarak da elde edilir. Nem tutma özelliği bulunmaktadır. Düşük donma noktasında ve yüksek kullanım alanını yaygındır. Su içerisinde ve alkolde çözünür. Çözelti içerisinde kalsiyum iyonu kaynağı olarak işlev görür. Kalsiyum Klorür Kullanım Alanları:

- Nem çekici olduğu için, inşaatlarda toz tutucu olarak.
- Plastik sektöründe katkı malzemesi olarak kullanımı sağlanır
- Yangın tozları içeriğinde katkı malzemesi olarak kullanılır

- Özellikle soğuk havada betonu çabuk kurutarak, betona dayanıklılık ve güç sağlar.
- İçme suyundaki yüksek flor oranını düşürmek için kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan kalsiyum klorürün özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.12).

Çizelge 7.12. Kalsiyum klorürün özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
CAS Numrası	10043-52-4
Kimyasal Formülü	CaCl ₂
Molar Kütle	110.98 g/mol
Kaynama Noktası	>1600°C
Yoğunluk	2.15 g/cm ³ (20°C)
Ergime Noktası	772°C
Ph Değeri	8-10(100g/l,H ₂ O 20°C)
Çözünürlük	740 g/l (20°C)

7.1.5.3. Asetik Asit

Sanayide biyolojik ve sentetik yollar ile imal edilir. Tuz ve esterine asetat denir. Suda tamamen çözünür. Zayıf bir asittir. Asetik asitin glasiel asetik asit türü % 99,5 saf asetik asit içermektedir. Asetik asidin bu % 99,5'lik glasiel formu 17 °C'de katılaştır ve kristalimsi buz taneciklerine benzer bir yapı oluşturur. Kullanım alanları:

- Sirke imalatında kullanılır. Ayrıca turşu yapımında mikroorganizmaların oluşmasını engelleyerek sebzelerin bozulmasını engeller.
- Sanayide çoğu kimyasalın üretiminde hammadde olarak kullanılır. Özellikle vinil asetat üretiminde kullanılır, bundan elde edilen polivinil asetat tahta tutkalı olarak kullanılır.

Çözücü olarak sanayide kullanılır. Örneğin, PET plastiklerin üretiminde kullanılan tereftalik asitin üretiminde çözücü olarak kullanılır. Çalışmada kullanılan asetik asidin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.13).

Çizelge 7.13. Asetik asitin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Formülü	CH ₃ COOH
Molekül Ağırlığı	60.05 g/mol
Yoğunluk	1.0495 g/cm ³
Kokusu	Keskin Sirke Kokusu
Görünümü	Şeffaf Sıvı

7.1.5.4. Fosforik asit

Kristal yapıda, renksiz katı bir kimyasaldır. Fosfor, hidrojen ve oksijen atomlarından oluşan fosforik asit, sıra kıvamında olup sulu çözeltisi şuruba benzemektedir. Bu kimyasalın tuzları fosfat olarak tanımlanır. Fosforik asit farklı sektörlere hitap eden, çok sayıda kullanımı alanı bulunan bir kimyasaldır. En fazla fosfatlı gübre üretiminde, böcek ilacı üretiminde, tarım alanında, metallerin temizlenmesinde, polisaj sektöründe ve asitliği düzenleme için gıda alanında kullanılır. Asitli ortamda mikroorganizmalar ve fungi büyümediğinden, fosforik asit koruyucu amacıyla da kullanılır. Fosforik asit kullanımı alanları:

- Metal işleme, tarım, gıda, deterjan, deri, rafine yağ, galvano ve yapı kimyasallarında
- Temizlik maddesi üretiminde özellikle deterjan imalatında
- Tekstil alanında yardımcı kimyasal olarak kullanılır
- Yapı kimyasalları sektöründe, elektro polisaj banyolarında kullanılır
- Rafine yağ sektöründe fosforik asit kullanılır

Çalışmada kullanılan fosforik asidin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.14).

Çizelge 7.14. Fosforik asitin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Formül	H ₃ PO ₄
Yoğunluk	1.88 g/cm ³
Molar Kütle	98g/mol
IUPAC Numarası	Trihidroksidophosphorus
Kaynama Noktası	158 °C
İçinde çözündüğü madde	Su

7.1.5.5. Formamid

Amitler amonyağın hidrojeni yerine bir asit kökünün geçmesiyle oluşan birleşiklerin sınıf adıdır. Karboksilli asitlerin amonyum tuzlarının kuru kuruya ısıtılması ile, nitrillerin kısmi hidrolizi ile, asit klorür veya asit anhidritlere amonyak veya amonyum karbonatın etkisiyle veya esterlerin amonyak ile ısıtılmasıyla amitler elde edilir. Formamit hariç bütün amitler erime noktaları düşük olan kristalize katılardır. Amitler, kimyasal olarak kararlı zayıf asittirler. Karınca asidi olarak da bilinen formamit oda sıcaklığında yağimsı bir sıvı olup suda kolayca çözünür, kısmi bozunma ile yaklaşık 210 derecede kaynar. Çalışmada kullanılan formamidin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.15).

Çizelge 7.15. Formamidin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Formül	CN ₃ NO
Kimyasal Formülü	HCONH ₂
Molar Kütle	45.04 g/mol
Kaynama Noktası	210°C (1013 hpa)
Yoğunluk	1.13 g/cm ³ (20 °C)
Patlama Limiti	% 2.7-19.0 (V)
Alevlenme Noktası	175°C
Tutuşma Sıcaklığı	500°C
Ergime Sıcaklığı	2.9°C
pH Değeri	8-10(200 g/l, H ₂ O, 20°C)
Buhar Basıncı	0.08hpa (20°C)
Çözünürlük	20°C çözünür

7.1.5.6. Alüminyum sülfat

Yer altı kaynağı olarak Alunitten elde edilen alüminyum sülfat konusunda alunitler (KAl₃(SO₄)₂(OH)₆) kaynayan % 88 lik (ağırlıkça) H₂SO₄ kazanlarında işleme tutularak ve alüminyum, potasyum sülfatı ayrımı gerçekleştirilmektedir. Alüminyum sülfat demir sülfat ile birlikte en çok kullanılan iki koagülanttan biridir. Yüksek verimli bir arıtma kimyasalıdır. Kuru halde korozif özelliği yoktur. Çözelti halindeyken korozif özellik gösterir. Tekstil, gübre, gıda, tarım, ilaç gibi yaygın olarak sanayide kullanılmaktadır. Yangın söndürücü ekipmanlarında köpük yapıcı ve yardımcı materyal olarak kullanılmaktadır. Alev-almaz kumaş üretimi, katalizör, pH kontrol edici ve sudan etkilenmeyen ve hızlı kuruyan beton elde etmede, beton su yalıtımı ajan ve hızlandırıcı

olarak kullanılır. Ayrıca tank izolasyonlarında kullanımı vardır. Çalışmada kullanılan alüminyum sülfatın özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.16).

Çizelge 7.16. Alüminyum sülfatın özellikleri (Anonim, 2017).

Spesifikasyonlar	
Formül	$Al_2(SO_4)_3$
Tanımı	Beyaz ve gri kurşun rengi parçacıklar
Al_2O_3	%17
H_2O	%27
PH(%5 Sölysyonda)	%3
SO_3	40
FE	%0.002
Suda Çözünmeyenler	%1

7.1.5.7. Alüminyum hidroksit

Alüminyum hidroksit, Bayer prosesi ile sodyum alüminat çözeltisinden üretilir ve filtrelendir. Aşındırıcı güce sahip değildir. Alüminyumtrihidrat, dünyada en büyük hacimli alev yavaşlatıcısıdır. 200 °C'ye ısıtılmayla $Al(OH)_3$, % 66 Alumina ve % 34 suya bozunur. Bu geri dönüşümlü proses alüminyum hidroksiti bir yangın geciktirici, yavaşlatıcı yapar. Genel olarak cam üretiminde bir hammadde, katalizör üretiminde hammadde; alevlenme geciktirici; kauçuk ürünler ve halı arkaları gibi plastik benzeri ürünlerde duman bastırıcı olarak kullanılmaktadır. Kağıt, solvent, su dayanıklı boyalar, UV kaplamalar, mürekkepler ve yapıştırıcılarda yayıcı ve yapılandırıcı ajan, bir cila ve temizleme ajanı, kalıp yıkama ve ayırma ajanı, onyx ve katı yüzeyler gibi kalıp polimer ürünlerinin bir doldurucusu olarak kullanılır. Ayrıca absorban, emülsifiye edici, iyon değiştirici, mordan (boyada pekiştirici), asit giderici ve filtre edici ortam olarak da kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan alüminyum hidroksitin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.17).

Çizelge 7.17. Alüminyum hidroksitin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Formül	$Al(OH)_3$
Tanımı	Kokusuz beyaz toz
CAS No	21645-51-2
Kimyasal Ağırlığı	Hidratealumina;Alüminyumtrihidrat
Mol Ağırlığı	78g/mol
Suda Çözünürlük	Çözünmez

7.1.5.8. Kolemanit

Kimyasal formülü $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ olan kolemanit, bor mineralleri arasında en yaygın bulunanıdır. Monoklinik sistemde kristallenir. Suda yavaş, HCl'de hızlı çözünür. Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Diğer adı ile kalsiyum borat olarak bilinen kolemanit daha çok cam elyaf (tekstil tipi cam elyaf) endüstrisinde kullanılmaktadır. Camın üretiminde ergime derecesini düşürücü ve ısıl şoklara karşı direncini ve ısıl genleşme katsayısını arttırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Çalışmada $45 \mu\text{m}$ 'den küçük kolemanit kullanılmış olup ETİ Maden İşletmeleri'nden temin edilmiştir. Kolemanitin kimyasal içeriği Çizelge 7.18'da verilmiştir (Anonim, 2017)

Çizelge 7.18. Kolemanitin kimyasal içeriği

İçerik	Kolemanit
B_2O_3	% 40.00 \pm 0.50
CaO	% 27.00 \pm 1
SiO_2	% 4.00 - 6.50
SiO_4	% 0.60 max.
As	35 ppm max.
Fe_2O_3	% 0.08 max.
Al_2O_3	% 0.40 max.
MgO	% 3.00 max.
SrO	% 1.50 max.
Na_2O	% 0.35 max.
Kızdırma Kaybı	% 24.60 max.
Nem	% 1.00 max.
Dökme Yoğunluğu	1.00 max. ton/m ³

7.1.5.9. Borik asit

Borik asit, aynı zamanda borasis asit, ortoborik asit ya da acidyum boryum; genellikle antiseptik, böcek ilacı ve koku gidericilerde kullanılan beyaz kristal renkli, suda çözünen bir inorganik asittir. Hammaddesi olan boraks'ın en geniş kaynakları Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiye'de borik asit, kolemanitten üretilmektedir. Üretimi Etibank yapmaktadır. Üretim prosesi temelde, kolemanitin sülfürik asit ile reaksiyonu sokulmasından ibarettir. Çalışmada kullanılan borik asitin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.19).

Çizelge 7.19. Borik asitin özellikleri (Anonim, 2017).

Spesifikasyonlar	
Formülü	H ₃ BO ₃
Tanım	Beyaz kristaller
Kimyasal Adı	Hidrojen Borat, Borarik Asit ,Orto Borik Asit
Mol Ağırlığı	61.83 g/mol
SO ₄	325 ppm
Erime Noktası	170.9 °C
Yoğunluk	1435 g/cm ³
B ₂ O ₃	%56.32
Safılık	%100.04
Kaynama Noktası	213.5 °C
Dökme Yoğunluğu	780-815 kg/m ³

7.1.5.10. Sodyum tetraborat

Kimyasal formülü Na₂B₄O₇.10H₂O'dur. Borun bir türevi olarak Türkiye'de geniş bir rezervi bulunan borun oksidinin tuzudur Su, oksijen, sodyum ve bordan meydana gelen doğal bir mineraldir. Antiseptik, antifungal, antibiyotik özellikleriyle güçlü bir doğal dezenfektandır. Sodyum borat, tuzlu göl sularının buharlaştırılıp kristallendirilmesinden elde edilir. Cam sanayisinde dayanıklı ve kırılmaz olan borsilikat camının imalatında kullanılır. Tarım, kimya, temizlik gibi birçok sektörün yanı sıra boraks; boyalarda katkı maddesi, porselen minelenmesinde yardımcı, kola ve tutkallarda tepkimelerde yan ürün olarak kullanılır (Anonim, 2017).

7.1.5.11. Hidrojen peroksit

Oldukça geniş bir kullanım alanı olan bu kimyasal madde soluk mavi renkte oldukça güçsüz bir asittir. Bu kimyasal sulandırıldığında renk özelliğini kayıp eder. Özellikle temizlik ve kağıt sanayi de oldukça fazla kullanılır. Bu kimyasal madde özellikle ev hanımlarının kullandığı deterjanlar içinde bulunmaktadır. Sulandırılmış ve yaralar için kullanılan hidrojen peroksitin halk arasındaki adı oksijenli sudur. Genel olarak kağıt sanayisinde kağıtları beyazlatmak için ve arıtma sanayisinde dezenfektan olarak kullanılır. Çalışmada kullanılan hidrojen peroksitin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.20).

Çizelge 7.20. Hidrojen peroksitin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Formül	H ₂ O ₂
Kaynama Noktası	110 °C (1013hPA)
Yoğunluk	1.13 g/cm ³ (20°C)
Ergime Noktası	-24°C
pH Değeri	2-4 (H ₂ O, 20°C)
Buhar Basıncı	20 hPA (20°C)
Çözünürlük	(20°C) çözünür.

7.1.5.12. Çinko oksit

Boya sanayinden lastik üretimine, seramik üretiminden cam sanayine, pillerden akü üretimine dek pek çok alanda kullanılan çinko oksit gibi bileşenleri, çinkoyu modern dünyanın en çok ihtiyaç duyduğu hammaddeler biri haline getirmiştir. Beyaz renk pigmenti olarak birçok farklı tipteki boyanın üretimine katıldığı gibi, ayrıca kıvam arttırıcıdır. Ultraviyole ışınlar karşısında direnci arttırdığı için boyaların kurumasını geciktirici olarak da kullanılır. Sertlik kazandırdığı boya, bu sayede küflenmeye karşı da daha dayanıklı hale gelir. Seramik maddelerin dayanımını arttıran ve ayrıca daha parlak olmalarına yardımcı olan çinko ayrıca cam sanayi için de olmazsa olmazdır çünkü camın optik özelliklerinin gelişmesini sağlar. Tüm bunların dışında ağır metal sanayisi için de kritik bir öneme sahip olan çinko oksit, metallerin kaplanması ve bu sayede korozyondan korunmasına yardımcı olmaktadır. Elektrikli ev aletlerinin yüzeyinde dahi kaplama malzemesi olarak bulunur çünkü elektriksel direnci artırma özelliği vardır. Tekstil sanayinde dolgu malzemesi ve elastikiyet için de kullanılır. Çalışmada kullanılan çinko oksitin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.21).

Çizelge 7.21. Çinko oksitin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Kimyasal Formülü	ZnO
Yoğunluk	5.606 g/cm ³ (20°C)
Molar Kütle	81.408g/mol
Koku	Kokusuz
Kaynama Noktası	1975°C (ayrışma)
Sudaki Çözünürlük	Çözünmez

7.1.5.13. Magnezyum oksit

Maneyzitten kalsinasyon ve sinterleme yöntemleri ile üretilmektedir. Bu beyaz, kristalize yapıdaki kimyasal yapıdaki kimyasalın en önemli özelliği refrakter (ateşe dayanıklı) olarak kullanımınıdır. Isıya karşı dayanımıyla farklı sektörlerde geniş bir kullanım alanı kazanmaktadır. Magnezyum klorür ile etkileştirilerek cam elyaf güçlendirilmesi sayesinde dekorasyon ürünlerinde kullanımını mevcuttur. Ateşe dayanıklı oluşu ile ateş tuğlası ve fırınların imalinde kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan magnezyum oksitin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.22).

Çizelge 7.22. Magnezyum oksitin özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Kimyasal Formülü	MgO
Molar Kütle	40.3g/mol
Yoğunluk	3.58 g/cm ³ (20°C)
Ergime Noktası	2800°C
Kaynama Noktası	3600°C (ayırışma)
Çözünürlük	(20°C) Pratikte Çözünmez
Ph Değeri	10.3 (H ₂ O 20°C)

7.1.5.14. Magnezyum karbonat

Diğer adıyla manyezit olarak bilinen magnezyumun filizlerinden biri olup dolomitten elde edilmektedir. Magnezyum karbonatın kullanım alanları:

- Ateşe dayanıklılığı nedeniyle tuğla yapımında,
- Isı izolasyonunda,
- Kozmetik ve benzeri alanlarda,
- Kauçuk yapımında,
- Mürekkep yapılırken,
- Camda katkı maddesi olarak,
- Kimya sanayinde,
- Seramik ve boya sanayinde kullanılır.

Çalışmada kullanılan magnezyum karbonatın özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 7.23).

Çizelge 7.23. Magnezyum karbonatın özellikleri (Anonim, 2017).

Spesifikasyonlar	
Formül	MgCO ₃
Tanımı	Suda çözünmeyen, beyaz, hafif toz
CaO	>%0.45
Demir	>%0.03
HCl çözünmeyen	>%0.01
Klor	>%0.15
Mangan	>%0.004
MgO	>%41-45
Refraktif İndeks	1.52
Sülfat	>%0.15
Yogunluk	3g/l

7.1.5.15. CO₂ gazı

Karbondioksit gazı, en yaygın bulunan, bir karbon ve iki oksijen molekülünün birleşmesinden meydana gelen, kokusuz ve renksiz, atmosfer basıncında oldukça kolay sıvı hale gelen eşkimsi tada sahip bir gaz olan karbondioksit gazı, birçok özelliğinden dolayı endüstri ve bir çok alanda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Havadan ağır olan karbondioksit gazı, atmosferik basınçta katı hale geçer, kimyasal olarak asidikdir, yanmaz ve suda çözünebilir. Simgesi CO₂ olan bu gazın molekül ağırlığı 44.009 g/mol, atmosferdeki oranı % 0,03 den az, kaynama noktası -78 °C ve hacimsel genleşme oranı 629 dur. Karbondioksit gazı yağ sanayisinden gıda sanayisine ve tıp alanına kadar farklı alanda ve farklı amaçlarla kullanılabilen bir gazdır. Gaz altı kaynaklarında gaz asidi olarak maden sodası, meşrubat, bira ve şarap gibi gazlı içecek üretiminde sıvılarda olan çözünürlüğü sebebiyle asit düzenleyici olarak kullanılmaktadır. Kimya sektöründe, ürünün kalitesini ve emniyetini sağlamak için azot ile beraber karbondioksit gazı kullanılmaktadır. İnert gaz olmasından dolayı karbondioksit yangın söndürme cihazlarında da kullanılır (Anonim, 2017).

7.1.6. Yüzeysel aktifleştirmeler (köpürtme ajanı):

7.1.6.1. Sodyum karbonat (yıkamış soda)

Genel olarak çalışmada yüzeysel aktifleştirmesi (köpük ajanı) ve aynı zamanda yapıştırıcı olarak kullanılan sodyum karbonat bilimsel olarak trona halk dilinde soda

olarak bilinmektedir. Bazik bir tuzdur. Çok geniş kullanım alanı vardır. Cam üretiminde kullanılan en önemli kimyasaldır. Kumla soda birleştirilerek çok yüksek ısıya yükseltir ve aniden soğutulur. Bu şekilde cam üretilir. Tekstil sektöründe reaktif boya kullanıldığında sodyum karbonat boya ve lif arasındaki bağı oluşturmak için kullanılır. Tuğla yapımında ıslatma ajanı olarak görev yapar, bu şekilde kil ekstrude edilirken daha az suya ihtiyaç olur. Diş yapıştırıcılarında köpük ajanı olarak kullanılır. Çalışmada kullanılan sodyum karbonatın özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

Çizelge 7.24. Sodyum karbonatın özellikleri (Anonim, 2017).

Fizikokimyasal Bilgi	
Kimyasal Formülü	Na ₂ CO ₃
Molar Kütle	105.99g/mol
Yoğunluk	02.53 g/cm ³ (20°C)
Ergime Noktası	854°C
Ph Değeri	11.5 (50g/l H ₂ O 20°C)
Kaynama Noktası	1600°C (ayırışma)
Çözünürlük	220g/l (20°C)

7.1.6.2. Sodyum bikarbonat

Kimyasal formülü NaHCO₃ olan ve sodyum tuzlarından birisi olan sodyum bikarbonat antiasit özelliği olup suda çözünür. Genel olarak çalışmada yüzey aktifleştirici (köpük ajanı) ve aynı zamanda yapıştırıcı olarak sodyum karbonat ile kullanılmaktadır. Sodyum bikarbonat, amonyak ve karbondioksitle sodyum klorür muamelesiyle kalsiyum karbonattan sodyum karbonat üretmek için olan solvay prosesinde oluşan bir ara maddedir. Sodyum bikarbonatın en yaygın kullanımı kabartma tozlarındadır. Kabartma tozuna yaklaşık % 50 miktarında bulunur. Sodyum bikarbonat, 50 °C'nin üzerine ısıtıldığında CO₂ salması fonksiyonuyla endüstride önemli bir rol oynarken, 100 °C'de sodyum karbonata dönüşür. Yangın söndürücüler, ilaç, deri, maden cevheri, metalurji, temizlik preparatlarında, plastik ve kauçukta köpük şişirme, baca gazı muamelesi, yağ delme gibi endüstriyel ve kimyasal proseslerde kullanılır. (Anonim, 2017).

7.1.7. Diğer katkılar

Opaklaştırıcı ve sıvı tutucu silikonların anlatıldığı bu kısımda yalıtım malzemesinde belirli oranlarda katılarak malzemenin fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır.

7.1.7.1. Magnezyum stearat

Özel hidrofobik özellikli doğal bir magnezyum sabunudur. Yangın mücadelede ve waxta ve katı yağlar endüstrisinde hidrofobik bir ajan olarak rol oynar. Ayrıca jelleşme ajanı, stabilizör, yağlayıcı, sıkıştırma/yapışma karşıtı ajan (anti-sticking), kumlaştırıcı ajan, polimer için emülsifiye edici ve plastikleştirici olarak kağıt, ilaç, kauçuk, kozmetik ve gıda endüstrisinde yaygın kullanımı vardır. Kaplama endüstrisinde boyalar, vernikler, cilalarda düzleştirici, kıvam artırıcı ve süspansiyon edici ajan olarak kullanılır. Kauçuklarda magnezyum stearat bir yumuşatıcı, vulkanizasyon hızlandırıcı, kalıp ayırıcı olarak rol alır. Kürlenmemiş kauçukta yapışkanlığı azaltır. Plastik endüstrisinde dış yağlama ajanı olarak kullanımı vardır. Çalışmada kullanılan magnezyum stearatın özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

Çizelge 7.25. Magnezyum stearatın özellikleri (Anonim, 2017).

Spesifikasyonlar	
Formül	$Mg(C_{17}H_{35}CO_2)_2$
Tanım	Kaygan beyaz toz
Kimyasal Adı	Oktadekanoik asit magnezyum tuzu: Dibazik magnezyum stearat
Mol Ağırlığı	591.25 g/mol
Ağır Metaller	10 ppm
Erime Noktası	130-145°C
Klorürler	>250 ppm
Kurşun	3 CA ppm
Nem	% 2.7
Suda Çözünürlük	Çözünmez
Sülfatlar	% 0.5
Toplam Bakteri	1000B/g
Yağ Asidi	202-206 mgKOH/g
Yağ Asidi ve Tirasyonu	57-60°C
Yoğunluk	160 CA g/l

7.1.7.2. Krom (III) oksit (yeşil)

Kimyasal formülü Cr_2O_3 olan, suda ve asitlerde çözünmeyen, hegzagonal kristaller oluşturan renkli cam ve seramik eşya yapımında pigment olarak ve katalizör olarak kullanılan ve krom yeşili olarak bilinen koyu yeşil renkli bir toz maddedir. Kağıt paralar için baskı mürekkebi yapımında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Boya sektöründe bu kimyasal serme boya renklendirici olarak kullanılmaktadır. Genel olarak renkleştirici olarak dekoratif amaçlarla malzemelerde kullanılan krom (III) oksit, saydamlaştırıcı bir malzeme olup yalıtım malzemesinde radyasyondan kaynaklı ısı transferini engellemek için kullanılmaktadır (Anonim, 2017).

7.1.7.3. Aktif karbon

Aktif karbon, sahip olduğu özellikler (yüksek yüzey alanı ve gözenek hacmi) nedeniyle safsızlıkların ve kirliliklerin uzaklaştırılması için pek çok uygulama alanında adsorplayıcı olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel işlemler sonrasında atık olarak dışarı verilen karbon içerikli maddelerin, aktif karbon üretiminde kullanılması sonucunda hem atıklar değerlendirilmekte hem de çevre kirlenmesinin önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada atık değeri yüksek üzüm, domates ve harnup (keçiboynuzu) posalarından üretilen aktif karbon kullanılmıştır (Saygılı, 2051).

7.1.7.4. Sodyum metil silikonat

Kimyasal formülü CH_3NaO_3Si sodyum metil silikonat, çeşitli doğal taş ve duvar yüzeylerine su iticilik kazandırmak için geliştirilmiş yanıcı olmayan, suda seyreltilebilir bir sodyum metil silikonat çözeltilisidir (Şekil 7.2.). Silikonat, havadaki karbondioksit ile reaksiyona girerek çözünmeyen bir itici yüzey oluşturur ve 24 saat içinde su emilimini azaltır.

Silikonatın başlıca faydaları şunlardır:

- Malzemelere çok iyi su itici özelliğini kazandırır;
- 25 kata kadar su emme özelliğinin düşürür;
- "tuz kusmayı" önler;
- Malzemeyi dona, korozyona, güneşe ve karşı korur, yüzeyin kirlenmesini önler;
- Malzemenin dış görünümünü değiştirmez, gaz ve hava sızdırma özelliğini değiştirmez;

- Yüzeylerin ısı yalıtım özelliğini artırır;
- Bina ve yapılarının ömrünü uzatır;
- Malzemenin dayanımını artırır;
- Malzemenin üzerinde yosun ve liken çıkmasını önler;

Çalışmada kullanılan sodyum metil silikonat Korona Group Kimya İthalat İhracat Ltd. Şti.'den temin edilmiş olup özellikleri Çizelge 7.26'da belirtilmiştir:



Şekil 7.7. Silikon sıvısının malzemede su engelleyici özelliği

Çizelge 7.26. Sodyum metil silikonatın özellikleri (Anonim, 2017).

Özellikler	Sodyum metil silikonat
Görünüm ve rengi	Renksizden uçuk kahverengiye kaçan sıvı.
Yoğunluk (20±0.5°C), gr/cm ³	1.17-1.3
NaOH'agöre alkalinite, %	13-17
Katıların kütle oranı, %	25-35
Su itici özelliği	Testten geçiyor

7.1.7.5. Akışkanlaştırıcı (Dispersant)

Agrega ve dolgunun birbiri içerisinde kaymasını sağlayan, yüksek bir bulamaç tutarlılığının (katı madde yüzdesi) işlenmesini mümkün kılan ve mattan uzaklaştırılacak suyun miktarını düşürüp ve üretim oranını arttıran kimyasallardır. Karışımlarda akışkanlaştırıcı (dispersant) olarak Polikarboksilat eter bazlı hiper akışkanlaştırıcı toplam karışım ağırlığının % 0.1 'i olarak silikat bağlayıcı ile karıştırılıp kullanılmıştır.

Yukarıdaki kimyasal ve mineral katkı maddeleri belirli oranlarda agrega esaslı yalıtım malzemesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte malzeme üretiminde kullanılan bu maddelerin kompozit yapıdaki kullanım amaçları Çizelge 7.27'de topluca verilmiştir.

Çizelge 7.27. Katkı olarak kullanılan malzemelerin görevleri ve kullanım amaçları

Katkı maddeleri	Yalıtım malzemesindeki görevi	Kompozit yapıya sağladığı faydalar
Sodyum, potasyum ve lityum silikat	Yapıştırıcı	-Agrega malzemelerini bağlayarak bir arada tutar -Yanmaz inorganik yapıştırıcıdır - Yağlama sağlayıcılığı (plastikleştirici)
Kil- kaolin	Yapıştırıcı	- Yangın direncini artırır - Şekillendirilmiş kompozitlerin nem ve bozulma-büzülme direncini artırır
Sodyum karboksimetil selüloz ve polivinil alkol	Yapıştırıcı	-Suda çözünen bağlayıcılar - Viskozite arttırıcı ajan - Akustik performansın artırılmasını sağlar
Sodyum karbonat ve bikarbonat	Yüzey aktifleştirici	- Jel-zamanı ve son karışımın kalıp ömrünü etkileyerek reaksiyon ürününün stabilizesini olumlu bir şekilde artırır
Sodyum hidroksit	Yapıştırıcı	-Yüksek sıcaklıklarda güçlü bağlayıcılık sağlar - Reaksiyonun oda sıcaklığının altında gerçekleşmesini sağlar
Portland çimentosu	Yapıştırıcı ve sertleştirici	- Daha hızlı sertleştirme sağlar - Dayanımı artırır - Fazla nemin buharlaştırılma ihtiyacını azaltır
Trisodyum fosfat	Yapıştırıcı	- Dayanımı artırır
Genleştirilmiş perlit	Agrega	-Isı ve ses yalıtımı sağlar
Mika	Mineral	-Köpük stabilizesini artırır
Pomza	Agrega	-Isı ve ses yalıtımı sağlar -Soğuma süresini kısaltır
Atık lastik	Agrega	-Isı ve ses yalıtımı sağlar -Kompozit malzemenin sünekliği ve enerji soğurma kapasitesini artırır
Feldispat	Mineral	- Yüksek sıcaklıktaki yüklemelerde mekanik özellikleri artırır.
Kuvars	Mineral	-Malzeme stabilizesini artırır
Silis dumanı	Mineral	-Dayanımı artırır
Fiberler	Fiber	-Dayanımı artırır -Mekanik özellikleri geliştirir
Sodyum klorür	Kürleyici	-Yüksek sıcaklıklarda erimeyi önler
Çinko oksit	Kürleyici	-Dayanımı ve yüksek sıcaklıklarda su direncini artırır (su itici)
Magnezyum oksit	Kürleyici	-Işımadan kaynaklı ısının belirgin bir şekilde yansıtılmasını sağlar
Asetik asit	Kürleyici	-Viskozite arttırıcı ajan
Borik asit	Kürleyici	-Güçlendirici ajan -Kimyasalların toplam parlama noktasını azaltarak çekirdek kompozitin yanmazlık derecesini artırır
Kalsiyum klorür	Kürleyici	-Suya dirençli ve viskozite arttırıcı ajan
Hidrojen peroksit	Kürleyici	-Son derece uzun jel kıvamına sahip

		-Silikat bileşimlerinin kürlenmesi için hızlandırıcı ajandır.
Fosforik asit	Kürleyici	-Katalizör
Sodyum tetraborat	Kürleyici	- Paslanma yavaşlatıcı (sodyum silikat ile kombinasyon halinde) - Ani sıcaklık artışlarında ısıl şoklardan kaynaklı bozunma ve dökünmeyi azaltır ve korur
Kolemanit	Kürleyici	-Sodyum silikatin silis içeriğinin stabilizesini artırır
Alüminyum sülfat	Kürleyici	-Ph ayarlayıcısı - Koyulaştırıcı ajandır.
Magnezyum karbonat	Kürleyici	- Azaltılmış yüzey gerilimi sağlar - Endotermik etki sağlar - Su itici özelliği sağlar - Yüksek oranda dayanımı artırır - Alev geciktirici etki yapar - Viskoziteyi artırır.
Alüminyum hidroksit	Kürleyici	-Yangın önleyici ajan
Plastikleştirici	Akışkanlaştırıcı	-Ekstra su ilavesi olmadan karışımın akışkanlığını artırır.
CO ₂	Kürleyici	-Sertleştirici ajan
Magnezyum stearat	Su itici ve dağıtıcı	-Su itici ajan -Fiberlerin kolay dağılımını sağlar -Kürlenmemiş yapıştırıcının dayanımını azaltır
Aktif karbon	Katkı	-BET alan artırıcı
Kromyum (III) oksit	Opaklaştırıcı	-Işımadan kaynaklı ısıyı engeller
Silikon	Su itici	-Yerleştirme ve su itici ajan

7.2. Yalıtım Malzemesinin Karışım Oranlarının Belirlenmesi ve Hazırlanışı

Bu bölümde mantolama malzemeleri için yalıtım özelliği yüksek hafif numunelerin üretimi için karışım oranları ve numunelerin hazırlanma yöntemi anlatılacaktır. Numunelerin karışım oranlarının hesaplanması için öncelikli olarak karışıma girecek agregaların en uygun gradasyon eğrileri oluşturulmuştur. Ardından dolgu malzemesi, sertleştirici gibi diğer malzemelerin yüzde oranları yoğun literatür araştırmasından sonra karar verilmiş ve numunelerin hazırlanışı detaylı olarak anlatılmıştır.

7.2.1 Agregada gradasyonu, gevşek yoğunluğu ve karışımda kullanım miktarları

Kompozit malzemeler, içeriğini oluşturduğu malzemelerin dayanım, yoğunluk, hidrofilik (suyu seven) veya hidrofobik (sudan kaçan) gibi fiziksel özelliklerinden doğrudan etkilenirler. Agregada esaslı kompozit yalıtım malzemelerinde öncelikli olarak gereken özellik yalıtım malzemesinin hafif olmasıdır. Çünkü yalıtım malzemelerinde belirli aralıklarda olması gereken yoğunluk özelliğinin yüksek olması ısı iletkenliğinin

de yüksek olmasına sebebiyet verir. Bununla birlikte genel olarak yüksek yoğunluk yüksek dayanım sağlaması nedeniyle agrega esaslı yalıtım malzemelerinin ortam koşullarına çeşitlilik sağlayacak şekilde üretilmesine karar verilmiştir. Tanım olarak gradasyon, sınıflandırma, inceltme modülü, agrega inceliği, iriliği ve homojenliği için bir indeks belirlemek için kullanılan bir özelliktir. Üretilen beton kalitesi, agregalarının özelliklerinden yüksek derecede etkilendiği gibi agrega esaslı yalıtım malzemelerinin homojen ve yüksek dayanımlı olmaları için agrega gradasyonunun yapılması her ne kadar betondaki kadar olmasa da önemlidir.

Agrega esaslı yalıtım malzemesi üretiminde hafif agrega olarak İnper Perlit A.Ş firmasından temin edilen karma ve ince perlit olmak üzere iki farklı agrega malzemesi kullanılmıştır. Karma perlit malzemesi farklı birim ağırlık ve boyutlardaki altı adet yığının belirli oranlarda karışımları ile oluşturulmuştur. Agregaları homojen olarak sınıflandırmak ve sürekli gradasyonlu agrega kombinasyonu elde etmek için 0.45 dereceden Fuller parabolü grafiğinden yararlanılmıştır.

$$P_i = \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0.45} \quad (7.1)$$

burada;

P_i: i nolu elekten geçen kümülatif yüzde, %

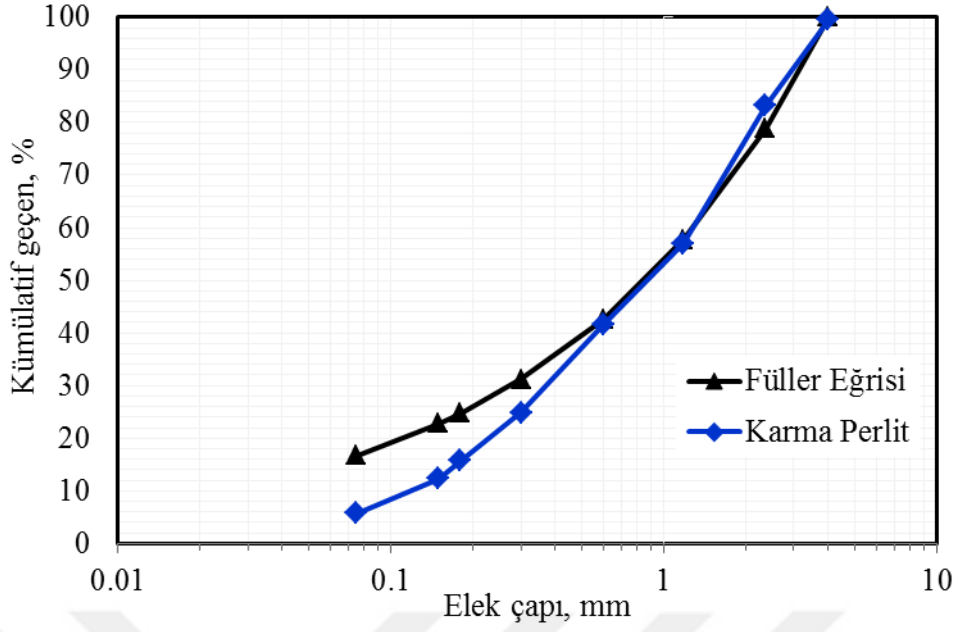
d_i: i nolu elekten geçen elek çapı

D: maksimum agrega tane çapını ifade eder.

Çalışmada farklı büyüklük ve özgül ağırlıktaki karma ve ince perlit agregaları kullanılmış olup agrega gradasyonu için iki farklı Fuller parabol grafiği hazırlanmıştır.

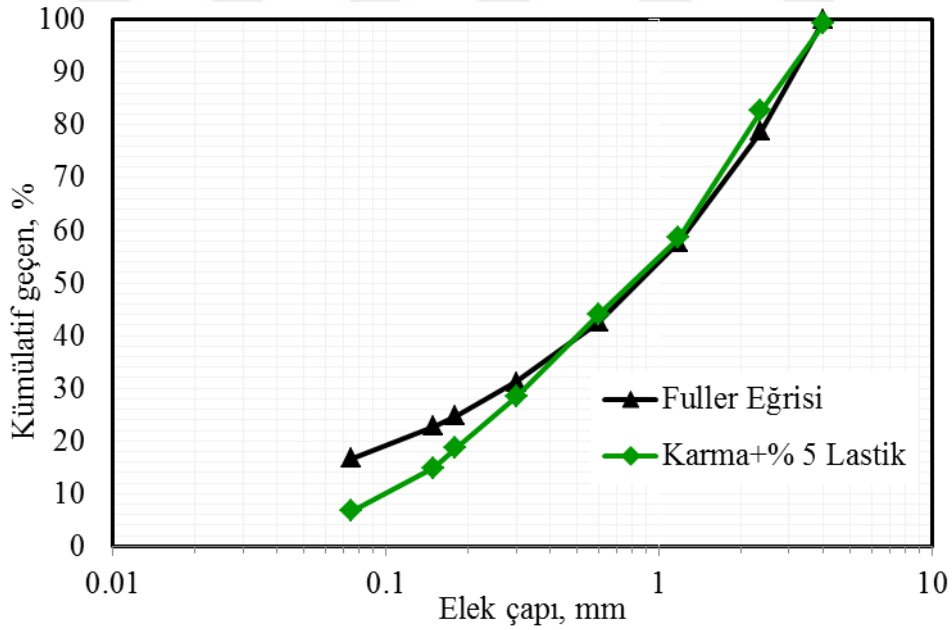
7.2.1.1. Karma agrega gradasyonu

Karma perlit agrega gradasyonu için Fuller parabol eğrisi kullanılmış olup; 4 (No 5), 2.36 (No 8), 1.18 (No 16), 0.6 (No 30), 0.3 (No 50), 0.18 (No 80), 0.15 (No 100) ve 0.075 (200) mm'lik elekler kullanılmış ve bu elek çaplarına göre agrega malzemeleri sınıflandırılmıştır. Karma agregada kullanılmak üzere 6 farklı yığının karışımı kombine edilmiş olup Şekil 7.8'de gösterilmiştir.

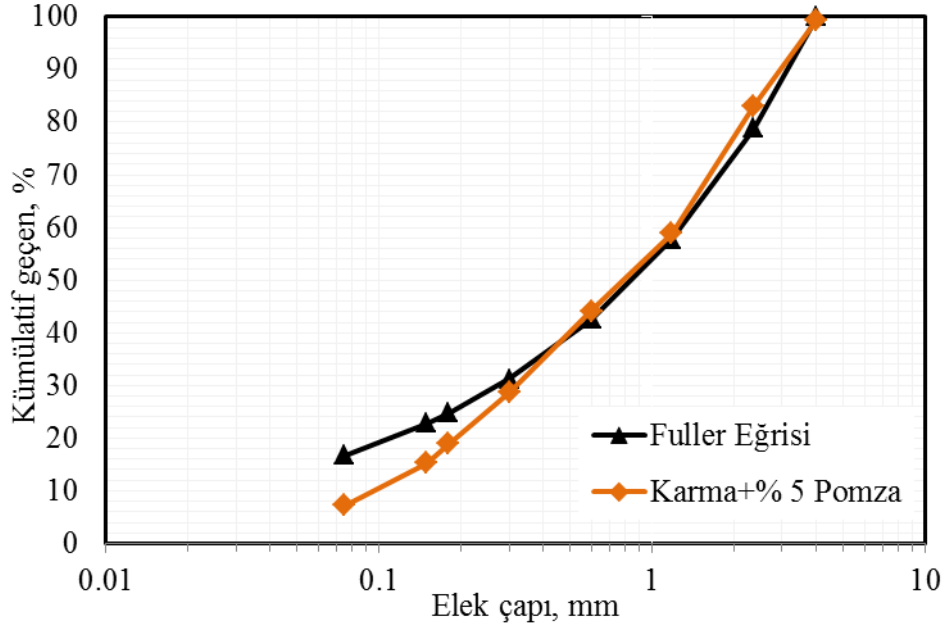


Şekil 7.8. Karma perlit agregasının gradasyon eğrisi

Karma perlit agregasında % 5 atık lastik ve % 5 pomza agregası kullanımında Fuller eğrileri sırasıyla Şekil 7.9 ve 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Karma perlit agregasının %5 atık lastik agregası ile gradasyon eğrisi

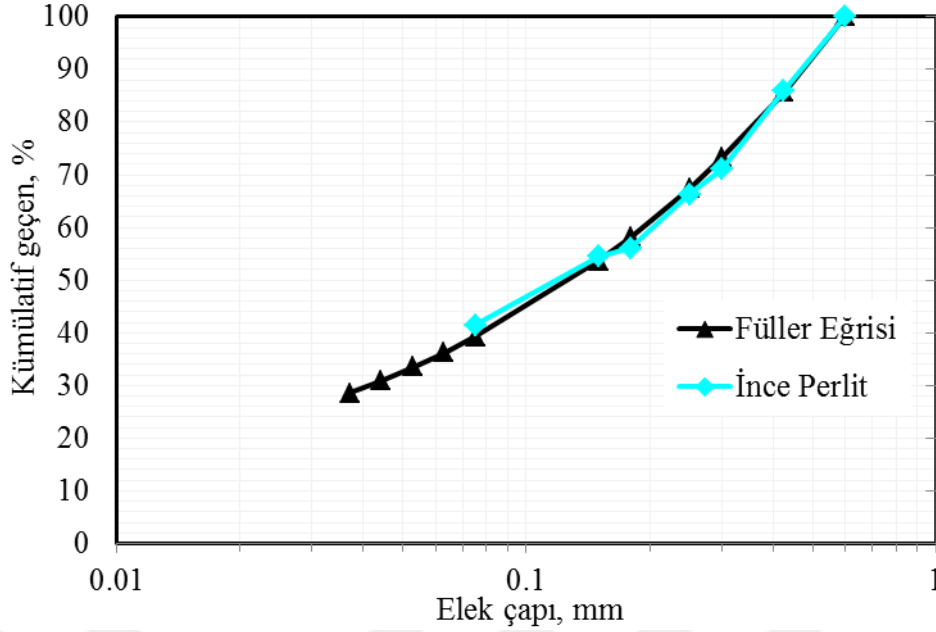


Şekil 7.10. Karma perlit agregasının %5 pomza agregası ile gradasyon eğrisi

Agregaların matris içinde homojen olarak dağılabilmesi yukarıda verilen oranlarda agrega yığınları seçilerek agrega karışımı Fuller Parabolüne en yakın duruma getirilmiştir. Ağırlık oranları belirlendikten sonra bileşim hazırlanmış ve oluşan karışımın gevşek birim ağırlığı (gevşek yoğunluğu) TS 1097-3 (1998) standardına göre 115.85 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.

7.2.1.2. İnce agrega gradasyonu

Yapılan literatür çalışmalarında perlit ve vermikülit gibi hafif agregalardan üretilen numunelerde gevşek birim ağırlığı $16-64 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmış olup bunun üzerinde gevşek yoğunluğa sahip yalıtım malzemelerin daha ağır olacağı bildirilmiştir. Ayrıca diğer bir çalışmada perlitin parçacık boyutu ne kadar büyük ise, özellikle $400 \mu\text{m}$ 'den fazla olduğu zaman perlit içerisine hapsolan kristal suyun mutlak miktarı o kadar büyük olduğu ve böylece kristal su buharlaştırılarak perlit genişlettiği bildirilmiştir. Malzeme kalıba yerleştirildiğinde sıkıştırma sırasında basınç arttığından perlit yüzeyleri parçalanır ve matris açık hücreler oluşur. Buna ek olarak, $65 \mu\text{m}$ 'den daha küçük ebatlı parçacıkların genellikle genişletilmemiş parçacıklardan oluşması sebebiyle yalıtıma katkısının olmadığı bildirilmiştir.



Şekil 7.11. İnce perlit agregasının gradasyon eğrisi

Yukarıdaki amaçlar doğrultusunda ikinci bir karışım için agrega gradasyonunun gerekliliği ortaya çıkmıştır. Karışım oluşturulurken 500 μm ile 63 μm arası agrega parçacıkları Fuller Parabolüne en yakın duruma getirilmiştir (Şekil 7.11.). İnce perlit agrega gradasyonunda 0.6 (No 30), 0.425 (No 40), 0.3 (No 50), 0.250 (No 60), 0.18 (No 80), 0.15 (No 100), 0.075 (200) ve 0.063 (230) mm elek aralıklı ve mesh nolu elekler kullanılmış ve bu elek çaplarına göre agrega malzemeleri sınıflandırılmıştır. 63 μm altındaki perlitler genel olarak genişlememiş olduğundan ve yalıtım özelliği göstermediğinden 63 μm 'den geçen agrega %0.1 'in altında kalacak şekilde karışım hazırlanmıştır. Daha sonra oluşturulan karışımın gevşek birim ağırlığı (gevşek yoğunluğu) TS 1097-3 (1998) standardına göre 64.04 kg/m^3 olarak hesaplanmış olup literatür çalışmalarına göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bununla birlikte oluşturulan karışımların hedeflediğimiz ısı yalıtım özelliğine ulaşabilmesi için 150 μm (No 100) elek çapından geçen çok ince perlit agregaları bazı numunelerde kullanılmıştır. Bu agregaların birim ağırlığı (gevşek yoğunluğu) TS 1097-3 (1998) standardına göre 55.16 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

7.2.2. Numunelerin üretilmesi

Perlit esaslı yalıtım malzemelerinin üstün yalıtım özelliklerinin yanı sıra yüksek mekanik özelliklere sahip olabilmesi için birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler sırasıyla şunlardır: genişleştirilmiş perlitin gevşek yoğunluğu ve karışımda

kullanılacak yüzdesi, kullanılacak silikat bağlayıcının cinsi ve yapıştırıcı/agrega oranı, karışımda kullanılacak su miktarı, kullanılacak fiber/agrega oranı, kullanılacak diğer bağlayıcılar, mineraller ve uygun sertleştirici seçimi ve kullanım oranı, presleme yaparken kullanılacak basınç veya sıkıştırma oranı, kurutma ve kürlenme süresi ve sıcaklıklarıdır. Bu sıraladığımız parametreleri dikkate alarak perlit esaslı yalıtım malzemesi üretimi için karışımın hazırlanma, şekillendirilme, kurutma ve kürlenme aşamalarından sırasıyla bu bölümde belirtilmiştir.

7.2.3. Karışım hazırlanma

Yalıtım malzemelerinin karışımı, katılaşma ve sertleşme hallerinden önceden belirlenmiş özelliklere sahip perlit esaslı yalıtım malzemelerinin üretimi için bileşenlerin ve oranların doğru seçilmesi olarak tanımlanmaktadır. Karışım hesabı ve üretimin yapılması çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşama karışımda kullanılacak agrega dolgu, bağlayıcı, sertleştirici ve diğer katkı malzemelerine karar verilmesinden oluşur. Daha sonra yalıtım malzemesinden istenilen düşük birim ağırlık, ısı ve ses iletkenliği ile yüksek işlenebilirlik, dayanım ve gözeneklilik gibi özelliklerinin kazandırılması amacıyla karışım için en uygun yapıştırıcı/agrega oranı varsa en uygun perlit/fiber oranına karar verilir. Ardından karışım hesabı; 1 m³ karışım için kuru karışım ve ıslak karışım olarak iki kısımda yapılır. 1 m³ için her bir numunenin kuru karışım ağırlığı (kg) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$V_k = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\delta_i} 100 \quad (7.2)$$

$$G_k = \left(\frac{S}{V_k} \right) \sum_{i=1}^n P_i 100 \quad (7.3)$$

V_k : tüm malzemelerin kapladığı hacim toplamı, m³

G_k : üretilecek numunenin kuru karışım ağırlığı, kg

P_i : kullanılacak malzemelerin yüzde oranı, %

δ_i : Malzemelerin birim hacimdeki ağırlığı veya yoğunluğu, kg/m³

S = sıkıştırma oranı olup karışımın kapladığı gevşek hacim ile şekillendirme sonrası istenen hacim oranıdır.

Perlit esaslı yalıtım malzemesinde su miktarı çok önemli bir parametredir. Çünkü silika bağları su ile birlikte oluşmaktadır. Bununla birlikte yüksek su miktarı malzemede segregasyon (ayrışma) yaparak agregaların dağılmasına aynı zamanda şekillendirme esnasında presleme yaparken fazla su sebebiyle katmanların ayrışmasına sebep olur. Az miktarda su ile üretilen numunelerin yüzeyi pürüzlü olmakta ve en küçük bir kuvvet etkisiyle yüzey ufalanmaktadır. Bununla birlikte su miktarının bağlayıcı ile birleşip oluşturduğu viskozitesi düşük solüsyonların, perlit agregaları tarafından emildiği ve bunun dayanıma katkısı olmadığı gibi yalıtım malzemesini ağırlaştırdığı tespit edilmiştir. Bu koşulları dikkate alarak çalışmada su miktarı farklı bir yöntem ile tespit edilmiş olup gerekli su miktarı perlit agregalarının doygun kuru yüzey halindeki emdiği su miktarı temel alınarak bir hesaplama gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda 1 m³ için numunenin su miktarı (kg) ve toplam katılaşmamış numune ağırlığı için aşağıdaki formüller elde edilmiştir.

$$G_T = G_k + G_s = G_k + M_{gp} w_{dky} \eta_s + G_{ys} w_{ys} \quad (7.4)$$

burada :

G_s : karışımın toplam su ağırlığı, kg

M_{gp} : karışımında kullanılan genleştirilmiş perlitinin kuru ağırlığı, kg

w_{dky} : genleştirilmiş perlitin doygun kuru yüzey halindeki su emme oranı, %

w_{ys} : yapıştırıcının su içeriği, %

η_s : numune su emme sabiti (0.5 ila 1 alınır)

G_T : karışımın toplam ağırlığı, kg olarak alınmaktadır.

Daha sonra miktarları belirlenen malzemeler şu sıralama ile laboratuvarında hazırlanmıştır:

- Kuru haldeki tüm agrega ve dolgu malzemeleri büyük bir kaptaki bir araya getirilir
- Eğer karışımında fiber varsa fiberlerin ayrışması sağlanır (Magnezyum stearat ve elekler kullanılarak) (Şekil 7.12.) ve kuru karışıma azar azar eklenerek homojen bir karıştırma yapılır



Şekil 7.12. Fiberlerin eleklerle ayrıştırılması; soldaki fiberlerin ilk bütün hali, sağdaki eleklerle ayrışmış hali



Şekil 7.13. Silikat bağlayıcıların su ile karıştırılması

- Manyetik karıştırıcıda bağlayıcılar ile toplam suyun üçte biri karıştırılır (Şekil 7.13.).
- Ardından diğer bir manyetik karıştırıcıda sertleştirici malzeme kalan su ile birlikte karıştırılır.
- Önce bağlayıcı-su solüsyonu karışımı kuru malzemeler ile yavaşça 3-5 dakika arası narin bir şekilde karıştırılır. Daha sonra homojen bir şekilde karışmış sertleştirici ve su çözeltisi eklenir 2-3 dakika arası homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırma işlemi gerçekleştirilir.

Yukarıdaki karışım Hobart ya da farklı mikserler kullanılarak yapılabilir ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta karışım yaparken perlit parçacıklarının kırılmamasıdır. Aksi takdirde yapılan karışım yalıtım özelliğini yitirir. Diğer taraftan eğer karışıma çinko oksit (ZnO), silikon, akışkanlaştırıcı (dispersant) gibi malzemeler katılacaksa bunların bağlayıcı ile karıştırılması tavsiye edilir.



Şekil 7.14. Karışımların kalıplara doldurulması

7.2.4. Şekillendirme

Karışım tamamlandıktan sonra başlangıç malzemeleri ıslak taneli parçacıklar şeklinde gözükecektir. Kalıplardan numunelerin kolay çıkması için birbirine monteli kalıplar kullanılmış ve karışımın bu kalıplara yapışmaması için kaplanmıştır. Daha sonra numuneler önceden hazırlanmış ve yağlanmış 10×10×10 cm ve 30×8×2.5 cm'lik kalıplara darası alınmış hassas bir terazi üzerinde dökülmüştür (Şekil 7.14). Kalıpların düzgün bir şekilde dolmasını sağlamak için karışımlar ikişer tabaka halinde dökülüp, sarsma tablasında 3-5 saniye arası vibrasyona tabi tutulmuştur. Her seriye ait 8'er numune hazırlanarak 27 farklı karışım oluşturulmuş olup toplamda 216 adet yalıtım numunesi üretilmiştir.



Şekil 7.15. Karışımların kalıplarda şekillendirilmesi

Daha sonra belirlenen kalıplar 1 ila 2 hacimsel sıkıştırma oranında (0.14 MPa – 0.36 MPa basınç aralığında) presleme yapılarak istenilen şekle kavuşturulur (Şekil 7.15). Üretilen numunelerde sıkıştırma oranı veya presleme basıncının etkisi çok büyüktür. 0,69 MPa presleme basıncı (2.5 sıkıştırma oranı) üzerinde daha ağır (yoğun) numuneler elde edildiğinden malzemenin yalıtım özelliği kötüleşmektedir. Burada önemli olan yalıtım numunelerinde uygun dayanımda en yüksek yalıtım özelliği sağlamaktır. Presleme işlemi gerçekleştirildikten sonra kalıp içerisindeki numuneler 45 saniye ila 1.5 dakika arası CO₂ gazına maruz bırakılmıştır (7.16). Eğer malzeme içerisinde köpürtücü ajanı kullanılmış ise kalıplar delikli bir kapakla kapatılır (Şekil 7.17) ve numune kurlanmadan önce şişen miktarlar malzemenin kesilerek düzeltilir.



Şekil 7.16. CO₂ gazı ile sertleştirme

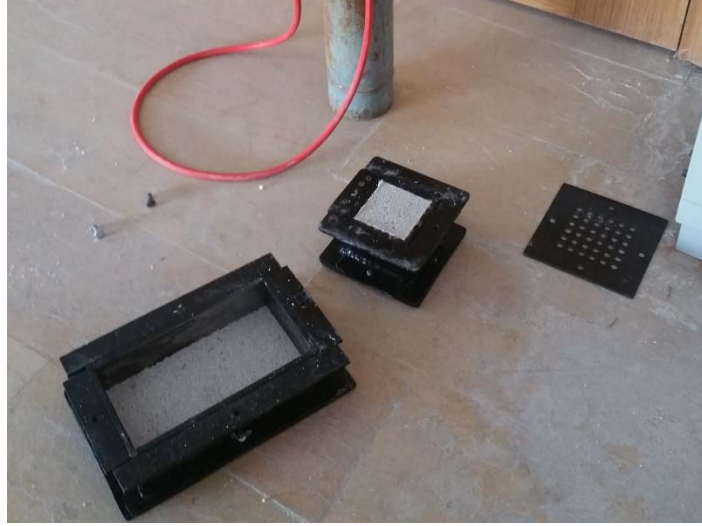


Şekil 7.17. Kalıpların delikli kapakla kapatılması

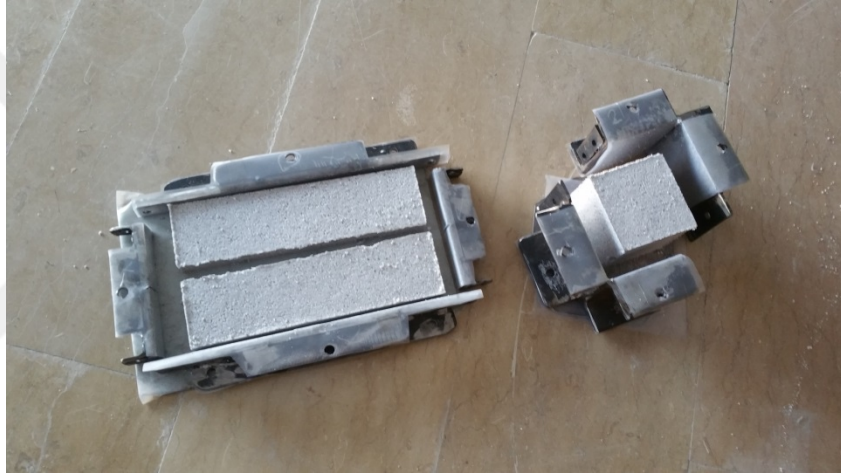
7.2.5. Kurutma

Numuneler kalıplara döküldükten sonra $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'deki oda sıcaklığında 12-24 saat arası dinlenmeye bırakılmıştır (Şekil 7.18). Daha sonra numuneler kalıpla birlikte 2-3 saat arası 50°C üzerindeki etüve yerleştirilmiş ve ardından kalıplardan çıkarılmıştır (Şekil 7.11.).

Kalıplardan çıkarılan numuneler malzeme içerisindeki su seviyesi % 10'un altına düşene kadar (genel olarak 24 saat kurutma yapılmış olup bazı malzemelerde bu süre farklıdır) tercihen 76.7°C (74 ila 105°C) arasında % 40 ila % 60 bağıl nem arasında kurutma işlemi yapılır (Şekil 7.20).



Şekil 7.18. Numunelerin kalıpta bekletilmesi



Şekil 7.19. Numunelerin kalıptan çıkarılması



Şekil 7.20. Numunelerin etüvde kurutulması ve kürlenmesi

Burada önemli olan 1 atm basınçta 99 °C altında kurutma yapmaktır. Bunun sebebi ise 99 °C sıcaklık üzerinde su kaynama fazına geçeceğinden, kaynayan su numune iskeletine zarar verip dayanımı düşürecektir.

7.2.6. Kürleme

Perlit esaslı yalıtım malzemelerinin üstün yalıtım özelliklerinin yanı sıra yüksek mekanik özelliklere sahip olabilmesi için en başta saydığımız parametrelerden en önemli kısımlardan birisi numunenin kürlenme safhasıdır. Kürlenme silikat yapıştırıcılar kullanılarak hazırlanan numunelerin yüksek dayanım ve yüksek stabilizeye ulaşabilmesi için çok etkin bir işlemdir. Genelde yüksek kürlenme sıcaklığı daha yoğun ve dayanımlı malzemelerin meydana gelmesine, düşük kürlenme sıcaklığı ise daha hafif ve yalıtımlı malzemelerin oluşmasına imkan sağlamaktadır. Bununla birlikte perlit esaslı yalıtım malzeme üretiminde kürlenme sıcaklığı, karışımlarda kullanılan mineral katkıların ve sertleştiricilerin cinsi ve özelliklerine göre değişmekte ve bazı kısıtlayıcı durumlar ortaya çıkmaktadır. Bunlar literatür ışığında aşağıda açıklanmıştır:

- “Birincil çözülmeyen katkılar” kaynama noktası altında sıcaklıklarda (99 °C), çoğunlukla silikatın alkali kısmıyla reaksiyona girebilenlerdir. Bu maddelere örnekler olarak borik asit, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve çinko, şap, ferrosilikon ve kalsiyum, magnezyum ve baryum klorürler verilebilir. Kullanılacak olan miktar, çözülmeyen maddenin cinsine ve kullanılan silika yapıştırıcının ağırlık oranı ve miktarına göre değişir. Karışımda alkali metal silikatların higroskopik doğasından kaynaklanan şişmeyi önlemek için bu katkılardan yeterli bir miktarda olması gerekmektedir. Öte yandan, yüksek miktarda birincil çözülmeyen katkıların kullanılması, silikatın genişleme kapasitesini azaltacaktır. “İkincil çözülmeyen katkılar” esas olarak alkali metal silikat çözeltisi ile oda şartlarında çözülmeyen ve bu oluşturulan bileşime 121 °C'den daha düşük sıcaklıklarda tepkisiz kalan maddelerdir. Bunlara örnek olarak magnezyum fosfat, tribazik; Portland çimentosu; kalsiyum silikat; demir ve çinko oksitler; baryum ve magnezyum karbonatlar ve uçucu kül verilebilir. Kullanılan miktar, genişletilmiş agreganın suda-çözünmez hale getirilmesi için yeterli olan miktardır ve silikat ile tam reaksiyon için teorik olarak gereken miktardan daha düşük olduğu takdirde bu etki elde edilir. Çözülmeyen maddelerin genel olarak silikatından büyük olması oluşan numune yoğunluğunu arttırma eğilimi gösterdiğinden bu malzemelerin asgari

miktarlarının kullanımı genellikle arzu edilmektedir (Gooding ve Temple, 1973).

- Bazı inorganik tozların kristalizasyonda su içermekte ve yüksek sıcaklıklarda su buharı oluşturmak üzere serbest bırakmaktadır. Bunlara örnek olarak: alüminyum hidroksit, kalsiyum hidroksit, kil, şap, hidratlı jips, sodyum sülfat hidrat ve disodyum fosfat hidrat verilebilir. Bazı inorganik tozlar ise yüksek sıcaklıkta parçalanarak ısıyı abzorbe etmektedirler. Bunlara örnek olarak: kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat, çinko karbonat, kadmiyum karbonat, sodyum nitrat, kurşun nitrat, alüminyum sülfat, amonyum fosfat, amonyum karbonat ve amonyum sülfat verilebilir (Matsuda ve ark., 1976).
- Bazı kimyasal ajanlar sadece yüksek sıcaklıklarda silikat ile reaksiyona girerler. 204 ila 260 ° C'de asidik bileşikler halinde ayrılan kaolinitik killer ve mineraller, bu tür ajanlara örnektir. Kil ve çinko oksit kimyasal ajanlar olarak yüksek sıcaklıklarda kullanılması özellikle tavsiye edilmektedir. Çünkü 704 ° C üzerindeki sıcaklıklarda sertleştirildikten sonra suyun atılmasına (itilmesine) olanak veren film tabakaları üretirler (Anonim, 2014).
- Perlit ve silikat esaslı karışımlar 15 ° C ila 120 ° C arasındaki bir sıcaklıkta tutularak köpürtülebilir ve sertleştirilebilirler. Köpürme ve kürlenme için uygun sıcaklık, oluşturulan karışımın bileşimine, boyutuna ve şekline vb. bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte karışımda yangın önleyici ajanlar (borik asit, sodyum tetraborate vb.) kullanıldığında; sıcaklık, yangına dayanıklılığı artırıcı maddenin kurutulmayacağı veya ısı ile ayrıştırılmayacağı seviyede seçilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda bu ajanlar ayrıştığından yangın önleyici özelliklerini kaybetmektedirler (Matsuda ve ark., 1976).
- Bazı köpürtücü ajanlar (sodyum karbonat, bikarbonat) yalnızca belli sıcaklıklar üstünde ayrışmakta ve silikatlar ile reaksiyona girmektedirler.

Yukarıda belirtilen kısıtlayıcı durumlar göz önüne alınarak oluşturulan farklı karışımlar sonucunda üretilen bazı numuneler Şekil 7.21'de gösterilmiştir.



Şekil 7.21. Üretilen numunelerin genel görünümü

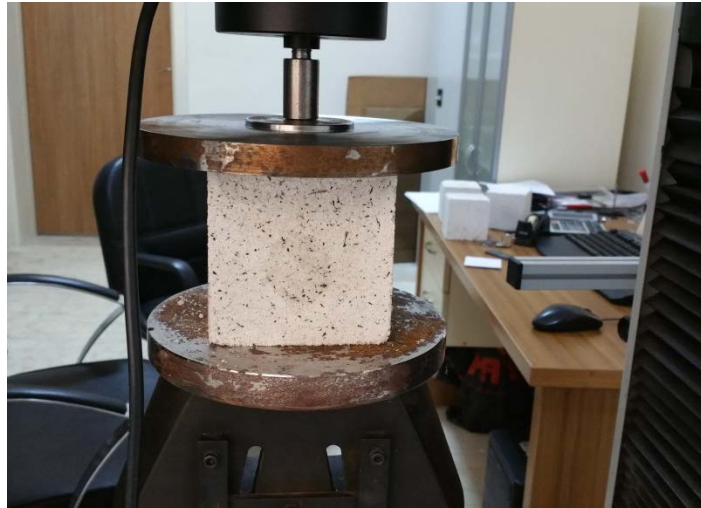


7.3. Yalıtım Malzemelerine Uygulanan Testler:

Bu kısım mekanik, ısıl ve malzeme karakterizasyon testleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Mekanik testler; tek eksenli basınç dayanım tayini, üç nokta eğme dayanım (MOR) tayini, yığımsal yoğunluk tayini, , boyut küçülme miktarı tayini (rötre), su emme kapasitesi tayini, yanmazlık-tutuşmazlık testi ve ultrasonik ses hızı testlerini kapsamaktadır. Isıl testler ise; ısıl iletkenlik, özgül ısı ve ısıl yayılım tayini testlerini içermektedir. Yalıtım malzemelerinin karakterizasyonu ise porozite ve özgül yüzey (bet surface) tayini, XRD ve SEM testlerinden oluşmaktadır.

7.3.1. Tek eksenli küp basınç dayanım testi:

Dayanım testi yapı malzemelerinin taşıyabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanır. Daha öncede belirtildiği gibi, diğer birçok özelliğin göstergesi olabilmesi nedeniyle ve özellikle basınç dayanımı deneyinin pratik olması bakımından dayanım, yapı sektöründe gerek kalite kontrol, gerekse kullanılacak malzemenin tanımlanması açısından en çok kullanılan özelliktir. Her seriye ait 10×10×10 cm boyutlarındaki 3'er adet küp numune tek eksenli basınç dayanım testine tabi tutulmuşlardır. Küp basınç dayanımı deneylerinde 250 kN kapasiteli Shimadzu marka universal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 7.22.).



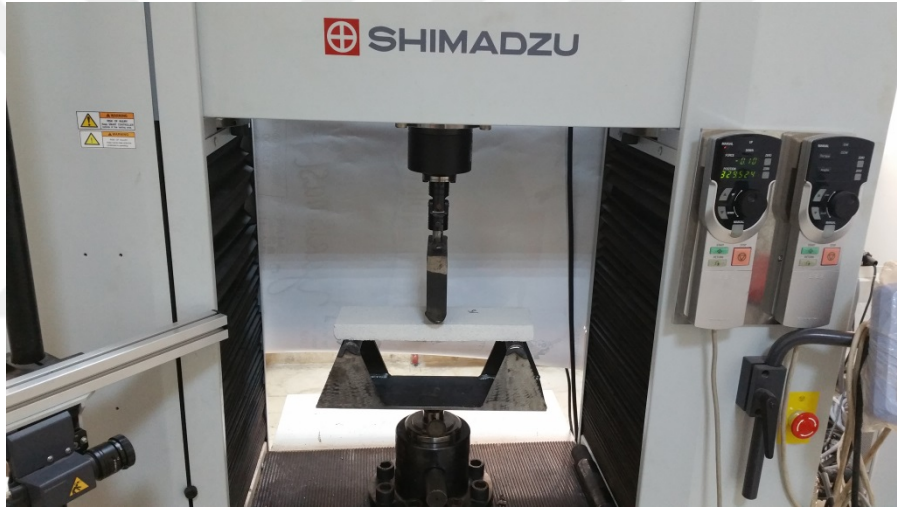
Şekil 7.22. Küp basınç dayanımı deneyi

ASTM C165 (2012) standardına göre yapılan testte yükleme hızı olarak 1.27 mm/dk seçilmiştir. Cihaz ekranından numunenin boyutları girilip, yükleme hızı

ayarlandıktan sonra test başlatılmış ve numunelerin kırıldığı anda ulaşılan en büyük yük ve uzama miktarı bilgisayardan kN ve MPa olarak okunmuştur. Burada dikkat edilecek durum uzama (deformasyon) miktarının % 5'i (100 mm'de 5 mm) geçmemesi gerekmektedir. Test sonucunda elde edilen her seriye ait tüm değerlerin ortalaması alınarak deney tamamlanmıştır.

7.3.2. Üç nokta eğme dayanım testi (kırılma modülü testi):

Her seriye ait 30×8×2.5 cm boyutlarındaki 3'er adet numune üç nokta eğme (MOR) dayanım testine tabi tutulmuştur. Numunelerin üç nokta eğme dayanımı testleri yine aynı test presi kullanılarak (Şekil 7.23), ASTM C 203 (1999) standardına göre yapılmıştır.



Şekil 7.23. Üç nokta eğme dayanım deneyi

Bilgisayara girilecek yükleme hızı ASTM C 203 (1999) standardında belirtilen numunelerin maruz kalacağı yükleme hızı denkleminde hesaplanmıştır:

$$H = ZL^2/6d \quad (7.5)$$

burada;

H = yükleme hızı, mm/dakika

L = destek aralığı, mm

d = kiriş derinliği, mm

Z = dış fiberin gerilme oranı, mm/mm. Z, 0.01'e eşit olacaktır.

Yukarıdaki hesaplama göre yükleme hızı belirtilen numune boyutlarına göre 4.71 mm/dk olarak hesaplanmıştır. Cihaz ekranından numunenin boyutları girilip, yükleme hızı ayarlandıktan sonra test başlatılmış ve numunelerin ayrıldığı anda ulaşılan en büyük yük değerleri (N) ve uzama büyüklükleri (mm) bilgisayardan okunmuştur. Daha sonra elde edilen yüklere göre aşağıdaki formül kullanılarak eğme dayanımı hesaplanmıştır:

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \quad (7.6)$$

burada:

σ_f = dış fiberlerdeki gerilme, MPa

P = yük, N

L = test edilen destek aralığı, mm

b = test edilen kiriş genişliği, mm

d = test edilen kiriş derinliği, mm

Son olarak her seriye ait tüm değerlerin ortalaması alınarak ve test sonuçlanmıştır.

7.3.3. Kuru yığınsal yoğunluk testi

ASTM C303 (2016)'de belirtilen standartlara göre hazırlanan her seriye ait 10×10×10 cm boyutlarındaki 3'er adet küp numune içerisindeki nem miktarı %1'in altına düştüğünde 0,01 gram hassasiyetle tartılır. Daha sonra numunelerin boyutları kumpasla birkaç kez 0.1 mm hassasiyetle ölçülerek ortalama değerler bulunur ve bu değerlerden numune hacmi (V) hesaplanır. En sonunda üç numunenin ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplama yapılır:

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \quad (7.7)$$

7.3.4. Su emme kapasitesi testi

Üretilen numunelerin gözeneklerine giren su, malzemenin mekanik ve ısı özelliklerini direkt olarak etkilediğinden dolayı, her numunenin su emme testi çok önemlidir. Kuru yığınsal yoğunlukları test edilen numuneler bir su havuzunun içerisinde

su yüzeyinden en az 5cm daha aşağıda kalacak şekilde 48 saat bekletilir. Numuneler normalde su yüzeyinde kalacaklarından kür havuzu içerisinde şekilde gösterildiği gibi iki delikli metal arasına konulmuştur (Şekil 7.2.).



Şekil 7.24. Numunelerin kür havuzu içerisine yerleştirilmesi

2 gün sonra kür havuzundan çıkarılan numuneler nemli bez ile silinerek bekletilmeksizin havadaki kütlesi 0.01 gr hassasiyetli tartıyla tartılır (M_{dh}) ve üç numunenin ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplama yapılır:

$$m = (M_{dh} - M_k) / M_k \quad (7.8)$$

burada “m” yüzde (%) su emme miktarıdır.

7.3.5. Boyut küçülme miktarı ölçümü testi (Rötre testi)

Yalıtım levhalarında boyutun sabit kalması önemli bir konudur. Malzemedeki boyut değişimi, farklı sıcaklıklarda ısıl genleşme ile oluşabileceği gibi, zamana bağlı olarak malzemenin kendi yapısından veya dış etkenlerden bağımsız olarak da kaynaklanabilir. Üretimi takiben aynı çevre şartlarında levhaların boyutlarındaki zamana bağlı değişim rötre olarak adlandırılır. Rötre üretimin ilk aşamasında hızlıdır. Zamanla yavaşlar ve durur. Toplam rötre üretim şekline ve yoğunluğa bağlı olarak değişebilir.

Her bir seriden seçilen 3'er numunenin rötreleri ASTM C 356 (2017) ve ASTM C610 (2017) standartlarına göre tespit edilmiştir. Rötire testi için 1000 °C'lik etüv fırını kullanılmıştır (Şekil 7.25.).



Şekil 7.25. Rötire testi için kullanılan fırın

Rötire testi öncesinde numunelerin ilk boyutları kumpasla birkaç kez 0.1 mm hassasiyetle ölçülerek ortalama değerler bulunmuştur. Daha sonra numuneler 24 saat boyunca 650 °C sıcaklıkta bekletilmiş ve 1. gün sonunda etüvden çıkarılan numunelerin son boyutları kumpasla birkaç kez 0.1 mm hassasiyetle ölçülüp kaydedilerek aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır:

$$R = \left[\frac{(L_1 - L_2)}{L_1} \right] \times 100 \quad (7.9)$$

burada:

R = Rötire değişimi, %

L_1 = Isıya maruz kalmadan önceki numune boyutları, mm

L_2 = Isıya maruz kaldıktan sonraki numune boyutları, mm

7.3.6. Ultrasonik ses geçiş hızı testi

Her seriye ait 10×10×10 cm boyutlarındaki 3'er adet küp numune 0,01 gram hassasiyetli tartıda ağırlıkları tespit edilerek tüm numunelerin ortalamasına en yakın olan numune ses hızı ölçümleri için seçilir. Seçilen numune etüvde 105±3 C'de sıcaklıkta 24 saat ara ile yapılan ardışık tartımlarda elde edilen ağırlık farkı %1 veya daha az oluncaya kadar kurutulur. ASTM C597 (2009) 'da belirtildiği şekilde ultrasonik ses hızları hesaplanır. Ses ölçüm deneyleri yapılmadan önce ses hızı bilinen bir numune ile cihazın kalibrasyonu yapılır ve ardından Şekil 7.26'daki gibi 3 farklı noktadan 5'er kez tekrarlanarak ultrasonik ses geçiş hızları ölçülür ve ortalamaları alınır. Ultrasonik ses geçiş hızı testlerinin tayininde Matets 24048 cihazı kullanılmış olup ultrasonik geçiş genliği olarak 1000 V ayarlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte sonuçların daha hassas olabilmesi için her ölçümden önce kalibrasyon malzemesi ile cihaz kalibre edilmiştir.



Şekil 7.26. Ultrasonik ses hızı tespiti

7.3.7. Isıl iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı testi

Ses hızı ölçümleri için seçilen numunelerdeki işlemler aynı şekilde bu deneyde de tekrarlanmıştır. Seçilen 10×10×10 cm boyutundaki etüv kurusu numune TS EN 12667 (2003)'ye göre ısı özellik testleri yapılmıştır. Beton deneyindeki gibi ISOMET 2104 cihazı, yalıtım numunesinin ısı iletkenliğini, özgül ısı kapasitesini ve ısı yayılımını

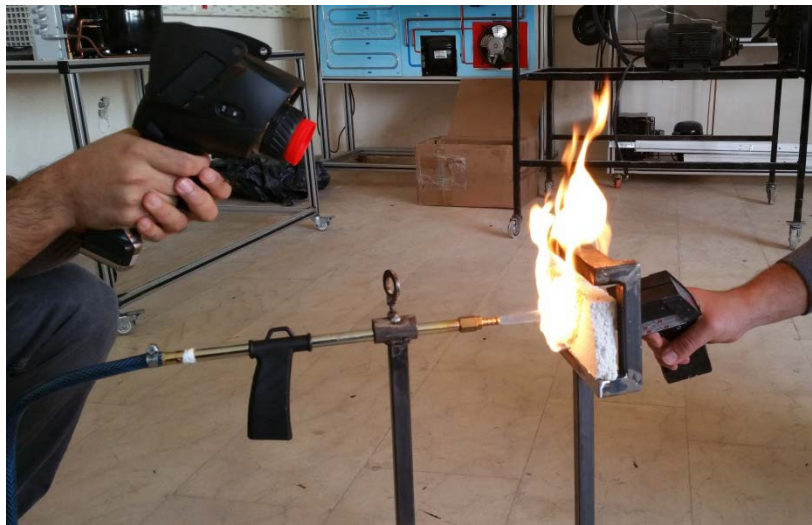
ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 7.27.). ISOMET 2104 cihazı hem sıvıların hem de katıların ısı özelliğini ölçen bir cihazdır. Katı numunelerin ısı özelliğini ölçmek için üç farklı probu olup 0.04 – 0.1 W/mK arası ölçüm yapan prob seçilmiştir. Ölçüm için her bir numunenin beş farklı noktadan ısı özellikleri tespit edilerek ortalamaları alınıp test sonuçlandırılmıştır.



Şekil 7.27. Isıl özelliklerin tespit edilmesi

7.3.8. Yanmazlık ve tutuşmazlık testi

Bu test yapı malzeme ve elemanlarının yangına karşı direncini ölçmekte, ısı bozunma ve yanma karakteristiklerini tespit etmektedir. Yakma tipi tek kaynaklı olan bütan gazlı test düzeneği hazırlanmıştır Test düzeneği yakıcı pürmüz, yakma plakası ve temassız ısıölçerden oluşmuştur. (Şekil 7.28).



Şekil 7.28. Yanmazlık testi

ASTM E84 (2017) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen yanmazlık testine başlamadan önce numunelerin hem boyut hem de ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra yakıcı pürmüz numuneden 5 cm mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır. Test süresi her bir numune için 5 dakika olacak şekilde kronometre kullanılarak ayarlanmıştır. Yanmazlık testi sırasında, yüzeyde yaklaşık olarak 980 °C'ye ulaşılmış olup sonrasında numunelerin ağırlık ölçümleri yapılmış ve yüzde kütle kayıp tespit edilmiştir. Test sırasında numune üzerinde anlık sıcaklık ölçümü için Testo 8211-2 markalı termal kamera ve numunenin arka yüzeyindeki sıcaklığın anlık olarak kontrol edilmesi için bir lazer termometresi kullanılmıştır. Test tamamlandıktan sonra numunelerin yüzey aşınması gözlemlenmiş ve ağırlık değişimleri yüzdesel olarak hesaplanmıştır.

7.3.9. Malzeme karakterizasyon testleri

Üretilen yalıtım malzemelerinin yüzey morfolojik değişimlerinin incelenmesi için SEM görüntülerinin alımında taramalı elektron mikroskobu (JEOL JSM 7001F) cihazı; gözenek karakterizasyonu için yüzey alanı ve gözenek analiz (Micromeritics-TriStar II Plus 3030) cihazı; kristal yapı analizi için X-ışını difraktometre (Bruker D8 Advance) cihazı kullanıldı (Şekil 7.29, Şekil 7.30 ve Şekil 7.31).



Şekil 7.29. Taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL JSM 7001F) cihazı



Şekil 7.30. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım (BET, Micromeritics-TriStar II Plus 3030) cihazı



Şekil 7.31. X-ışını difraktometre (Bruker D8 Advance) cihazı

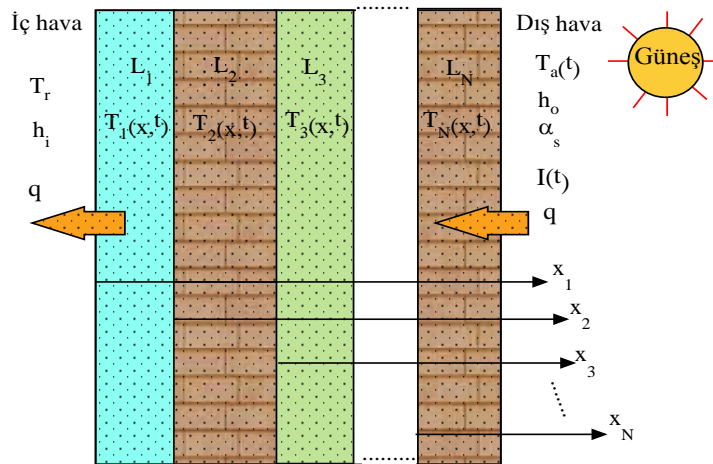
8. ISI TRANSFER PROBLEMİNİN FORMÜLASYONU

Karmaşık sonlu Fourier dönüşümü (CFFT) analitik bir teknik olup problemin periyodik bir çözümle sonuçlanan bir şekle dönüşmesini sağlar. Bu teknik periyodik bir çözüm arzulanan çeşitli problemler için kullanılabilir. Analitik bir yöntem olan CFFT, diğer analitik ve sayısal yöntemlere alternatif olarak önerilmiştir.

Teorik model, çok katmanlı duvar ve düz düz tavanlar için geçici ısı transferi probleminin çözümü, duvar yüzeylerine gelen güneş ışınımının hesaplanması ve bu yapılardan geçen ısı şiddetinin toplamından oluşur. Hesaplamalarda, yatay yüzey üzerindeki sıcaklıkların ve güneş ışınımının meteorolojik olarak ölçülen değerleri kullanılır. Yumrutaş ve diğerleri tarafından geliştirilen teorik modelin her bileşeni için gerekli işlemler bu bölümde özetlenmiştir (Yumrutaş ve ark., 2005; 2007).

8.1. Geçici Isı Transferi Probleminin Çözümü

Bir bina duvarından veya tavandan odaya geçen ısı transferi, ortam sıcaklığı ve gün boyunca duvarın dış yüzeyine düşen güneş ışınımı ile değişir. Sıcaklık ve güneş ışınımına bağlı olarak duvarın sıcaklık dağılımını hesaplamak önemlidir. Bu sıcaklık dağılımını elde etmek için de geçici ısı transfer problemini çözmek gerekmektedir. Şekil 8.1'de sonlu sayıda tabakadan oluşan çok katmanlı bir duvar veya düz düz tavanın şematik görünüşünü vermektedir.



Şekil 8.1. Çok katmanlı bina duvarlarının şematik gösterimi.

Problemde ısı geçişinin tek yönlü ve zamanla değiştiği esas alınarak, aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- Her bir katmanın homojen ve ısıl özelliklerinin sabit olduğu varsayılmıştır.
- Katmanlar arasında temas direnci ihmal edilmiştir.
- Her bir katmanda herhangi bir ısı üretimi yoktur.
- Isı taşınım katsayıları sabit alınmıştır.

Bu varsayımlar altında, binanın dış duvarlarından gelen ısı kazancı duvar iç yüzey sıcaklığının elde edilmesiyle bulunabilir. Bunun için dış duvarlar için geçici rejimde ısı transfer probleminin çözülmesi gerekmektedir. Geçici rejimde periyodik ısı transferi problemi kısmi diferansiyel denklem, sınır ve periyodik şartlarla ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T_n}{\partial x_n^2} = \frac{1}{\alpha_n} \frac{\partial T_n}{\partial t} \quad 1 \leq n \leq N \quad (8.1)$$

$$h_i (T_i - T_1) = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_1} \quad x_1 = 0 \text{ 'da} \quad (8.2)$$

$$-\lambda_{n-1} \frac{\partial T_{n-1}}{\partial x_{n-1}} (x_{n-1} = L_{n-1}) = -\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial x_n} (x_n = 0) \quad 2 \leq n \leq N \quad (8.3)$$

$$T(x_{n-1} = L_{n-1}) = T(x_n = 0) \quad 2 \leq n \leq N \text{ için} \quad (8.4)$$

$$-\lambda_N \frac{\partial T_N}{\partial x_N} = h_o [T_N - T_o(t)] - \alpha_s I_T(t) \quad x_N = L_N \text{ 'de} \quad (8.5)$$

Eş. 8.1' deki α_n duvar katmanlarının ısıl yayılım katsayısı olup, alt simge olan n katmanlar anlamına gelmektedir. λ_n n 'inci tabakanın ısıl iletkenliği, Eş. 8.2 ve 8.5'deki h_i ve h_o iç ve dış yüzeyler ile ortamlar arasında birleşik ısı transfer katsayılarını göstermektedir. Denk. (5)'teki, I_T ve α_s ise güneş ışıınımı akısı ve dış duvar yüzeyinin güneş ışıınımı yutma katsayısıdır. Bu denklemleri içeren problemin formülasyonu boyutsuz değişkenlerle ve $T_n(x_n, t) = T_n(x_n, t+m)$ periyodik şartını sağlayarak boyutsuz forma dönüştürülmüştür.

$$z_n = \frac{x_n}{L_n}, \quad b_i = \frac{h_i L_1}{\lambda_1}, \quad b_o = \frac{h_o L_n}{\lambda_n}, \quad \tau_n = \frac{\alpha_n t}{L_n^2}$$

$$S_{n-1,n} = \frac{\lambda_{n-1}L_n}{\lambda_n L_{n-1}}, \quad I_T(\tau) = \frac{\alpha_s L_n}{\lambda_n} I_T(t), \quad \tau_{np} = \frac{\alpha_n p}{L_n^2} \quad (8.6)$$

$$t = h - 12, \quad p = 24 \text{ saat}, \quad \frac{\tau_n}{\tau_{np}} = \frac{t}{p} = \frac{h-12}{24} = \tau$$

Ortaya çıkan boyutsuz formülasyon:

$$\frac{\partial^2 T_n}{\partial z_n^2} = \frac{\partial T_n}{\partial \tau_n} \quad 1 \leq n \leq N \quad (8.7)$$

Boyutsuz sınır koşulları:

$$(T_i - T_1) b_i = -\frac{\partial T_1}{\partial z_1} \quad z_1=0 \text{ 'da} \quad (8.8)$$

$$S_{n-1,n} \frac{\partial T_{(n-1)}}{\partial z_{n-1}} (z_{n-1} = 1) = \frac{\partial T_n}{\partial z_n} (z_n = 0) \quad 2 \leq n \leq N \quad (8.9)$$

$$T_{n-1}(z_{n-1} = 1) = T_n(z_n = 0) \quad 2 \leq n \leq N \quad (8.10)$$

$$-\frac{\partial T_n}{\partial z_n} = b_o [T_n - T_o(\tau_n)] - I_T(\tau_n) \quad z_n=1 \text{ 'de} \quad (8.11)$$

Daha sonra problemin boyutsuz formülasyona kompleks sonlu Fourier dönüşümü (Complex Finite Fourier Transform, CFFT) uygulanmıştır. CFFT dönüşümü Eş. 8.12 ile verilmiştir. Problemin çözümü aşağıdaki denklemlerle verilmiştir:

$$T_n(z_n, \tau_n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} T_{nj}(z_n) e^{i\omega_{nj}\tau_n} \quad (8.12)$$

veya

$$T_n(z_n, \tau_n) = T_{n0}(z_n) + \sum_{j=1}^{\infty} \left[T_{nj}(z_n) e^{i\omega_{nj}\tau_n} + T_{-nj}(z_n) e^{-i\omega_{nj}\tau_n} \right] \quad (8.13)$$

burada

$$\omega_j = 2\pi j, \text{ ve } \omega_{nj} = \frac{\omega_j}{\tau_{np}} = \frac{2\pi j}{\tau_{np}} \quad (8.14)$$

$$T_{nj}(z_n) = \frac{1}{\tau_{np}} \int_{-\tau_{np}/2}^{\tau_{np}/2} T_n(z_n, \tau_n) e^{-i\omega_{nj}\tau_n} d\tau_n \quad (8.15)$$

Genel çözüm ise şöyledir:

$$T_{n0}(z_n) = A_n z_n + B_n \quad j=0 \text{ için} \quad (8.16)$$

$$T_{nj}(z_n) = C_{nj} \sinh(\gamma_{nj} z_n) + D_{nj} \cosh(\gamma_{nj} z_n) \quad j \neq 0 \text{ için} \quad (8.17)$$

burada

$$\gamma_{nj} = \sqrt{i\omega_{nj}} = (1+i)\sqrt{\omega_{nj}/2} \quad (8.18)$$

Bir alanın ısı kazancı, iç duvar veya düz bir tavanın iç yüzeyindeki sıcaklık dağılımından hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_c = h_i [T_n(0, \tau) - T_i] \quad (8.19)$$

$$T_n(0, \tau_n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} T_{nj}(z_n) e^{i\omega_{nj}\tau_n} \quad z_n=0 \text{ da} \quad (8.20)$$

burada $T_n(0, \tau_n)$ duvar veya düz tavanın iç yüzey sıcaklığıdır. Duvar veya tavanın dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımı da elde edilebilir:

$$T_n(1, \tau_n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} T_{nj}(1) e^{i\omega_{nj}\tau_n} \quad z_n=1 \text{ de} \quad (8.21)$$

8.2. Güneş Işınım Şiddeti

Duvar yüzeylerine gelen güneş ışınımı ısı kazancı için çok etkili bir parametredir. Güneş ışınımı bir duvarın ısı kazancını hesaplarırken esas olduğu için, bu değeri bulmak için uygun denklem kullanılmalıdır. İletim ısı transfer probleminin tanımında verilen Eş. 8.5 ve Eş. 8.11'deki denklemlerinin sınır koşulları, zamana bağımlı güneş ışınım ısı akısı ve taşınım ısı transferine bağlıdır. Yani, duvarlardaki veya düz tavanlardaki ısı akısı güneş ışınımının bir fonksiyonudur. Soğutma yükünün hesaplanmasında güneş ışınımı esas bir faktör olması nedeniyle, bir duvar yüzeyi için güneş ısı kazancını hesaplamak için gerekli denklemler verilmelidir. Bu nedenle duvar yüzeylerindeki saatlik toplam güneş ışınımı denklemleri, saatlik olarak ölçülen ve yatay yüzeye gelen güneş ışınım değerlerinden hesaplar. Bunun nedeni, yerel meteorolojik istasyonlarının sadece yatay yüzeydeki güneş ışınımını ölçmesidir. Bu çalışmada, Batman için 2016 yılları arasında ölçülen güneş ışınım verilerinin saatlik ortalama değerleri, duvar yüzeyindeki saatlik güneş ışınım şiddetini hesaplamak için kullanılmıştır. Hesaplama yöntemi Duffie ve Beckman (1991) tarafından detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu kısımda eğik ve yatay yüzeylere gelen güneş ışınım şiddetini hesaplamak için gerekli tanımlar ve denklemler özetlenmiştir.

8.2.1. Terim Tanımları

8.2.1.1. Güneş Sabiti

Güneş sabiti G_{sc} , Dünya'nın yörüngesi üzerinde, birim alan ve zamana göre ulaşan Güneş ışınım miktarıdır. Bu çalışmada G_{sc} değeri 1367 W/m^2 ($4.921 \text{ MW/m}^2\text{sa.}$) olarak alınmıştır.

8.2.1.2. Yeryüzüne gelen ışınım

G_{on} , yılın n'inci gününde normal düzlem üzerine düşen yerüstü ışınımıdır.

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (8.22)$$

8.2.1.3. Güneş saati

Güneş saati, güneşin gökyüzündeki açısal hareketi, yani güneş zamanı ve standart zaman arasındaki farktır;

$$\text{Güneş zamanı-Standart zaman} = 4(L_{st}-L_{loc}) + E \quad (8.23)$$

burada L_{st} yerel saat dilimi için standart meridyen ve L_{loc} yerel boylamıdır. E zamanı (dakika olarak) Eş. (8.23) 'den belirlenir.

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868\cos B - 0.032077\sin B - 0.014615\cos 2B - 0.04089\sin 2B) \quad (8.24)$$

burada B ,

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (8.25)$$

8.2.1.4. Doğrudan (beam) ışınımın yönü

Herhangi bir zamanda, Dünya'ya göre belirli bir yönelim düzlemi (yeryüzünde sabit veya hareket eden bir düzlem olup olmamasına bakılmaksızın) ile güneşten düşen ışınım arasındaki geometrik ilişkiler, yani güneşin bu düzleme göre pozisyonu birkaç açıyla açıklanabilir. Açılar şu şekildedir:

- -Enlem açısı (φ): Yeryüzündeki herhangi bir noktayı dünya merkezine birleştiren doğrunun, dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. 90° ile 90° arasında değişir, burada kuzey pozitiftir.
- -Deklinasyon açısı (δ): Güneş ışınlarının ekvator düzlemine göre en dik olduğu açısal pozisyonudur. -23.45° den 23.45° ye değişir, kuzey pozitiftir. Deklinasyon açısı aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (8.26)$$

burada n, yılın herhangi bir günüdür.

- Eğim açısı (β): Düzlem yüzeyi ile yatay arasındaki açıdır. 0 ile 90 ° arasında değişir.
- Yüzey azimut açısı (γ): Yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. -180 ° ila 180 ° arasında değişir. Güney sıfırdır, doğu negatiftir ve batı pozitiftir.
- Saat açısı (ω): Dünyanın kendi eksenini üzerinde dönüşü nedeniyle doğudan batıya doğru güneşin saatte 15 açısal olarak yer değiştirmesidir. Öğleden sonra pozitif, sabah negatiftir.
- Güneş geliş açısı (θ): Yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır. Yüzey ulaşan güneş ışınlarına dik ise, geliş açısı sıfır ($\theta = 0$), paralel ise 90° 'dir ($\theta=90^\circ$). Geliş açısı, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılır. Bu açı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir;

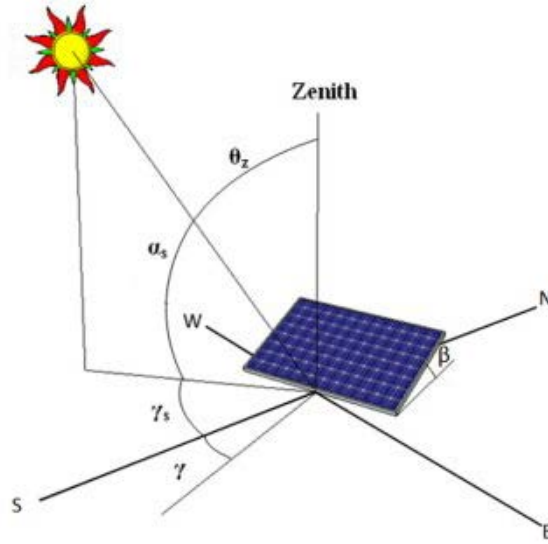
$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (8.27)$$

eğer $\beta=0$ olursa Eş. (8.27) şu hale dönüşür:

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (8.28)$$

Güneşin gökyüzündeki konumunu tanımlayan ek açılar ise şunlardır:

- Zenit açısı (θ_z): Dikey ile güneş çizgisi arasındaki açıdır.
- Güneş yüksekliği açısı (α_s): Yatay ile güneş çizgisi arasındaki açıdır.
- Güneş azimut açısı (γ_s): Güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır Güneyden doğuya doğru negatif, batıya doğru pozitif olarak kabul edilir. Güneşin çeşitli açılardan bir düzleme göre konumu şekil 8.2'de gösterilmektedir.



Şekil 8.2. Güneşin herhangi bir düzleme göre açısal pozisyonları

8.2.2. Eğik ve yatay yüzeydeki güneş ışınımının hesaplanması

Saatlik ortalama açıklık indeksi k_T , yatay bir yüzey üzerine gelen saatlik ışınımın, saatlik atmosfer dışı güneş ışınımına oranıdır:

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (8.29)$$

ω_1 ve ω_2 (burada ω_2 daha büyüktür) güneş açıları arasındaki zaman diliminde, atmosfer dışından yatay düzlemin birim alanına gelen saatlik güneş ışınım enerjisi miktarı:

$$I_o = 12 \cdot \frac{3600}{\pi} G_{SC} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(360 \cdot \frac{n}{365}\right) \right] \cdot \left(\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot [\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1)] \right. \\ \left. + 2 \cdot \pi \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{360} \right) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \right) \quad (8.30)$$

Yeryüzüne ulaşan toplam güneş ışınımı, doğrudan ve yaygın olarak iki bölümden oluşur. Yaygın ışınım, atmosferdeki bulutlar ve tozlar tarafından saçılmaya uğratılmış ışınımıdır. Doğrudan ışınım ise bu tür etkilere uğramamış ışınlardan oluşur. (Öztürk, 2012)

Yatay düzlemdeki saatlik yaygın ışınımın yatay düzlemdeki toplam saatlik ışınımına oranı, açıklık indeksinin farklı aralığını belirtmektedir. Bu ilişki yaygın şekilde kullanılmakta olup aşağıdaki ifadelerle gösterilmektedir.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249k_T & \text{for } k_T < 0 \\ 1.557 - 1.84k_T & \text{for } 0.35 < k_T < 0.75 \\ 0.177 & \text{for } k_T > 0.75 \end{cases} \quad (8.31)$$

Doğrudan ışınım,

$$I_b = I - I_d \quad (8.32)$$

Eğik bir yüzeye gelen toplam ışınım ise üç bileşenden oluşur: Doğrudan ışınım, yaygın ışınım ve yerden yansıyan ışınım. Toplam ışınım bu üç bileşenin toplanmasıyla hesaplanır:

$$I_T(t) = I_b(t)R_b + I_d(t)\left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + I(t)\rho_g\left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) \quad (8.33)$$

Bu formüldeki ρ_g yeryüzü yansımaya katsayısı olup genel olarak 0.2 alınır. R_b herhangi bir zaman diliminde eğik yüzeye gelen yaygın ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımına oranıdır.

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G_{b,n} \cos\theta}{G_{b,n} \cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (8.34)$$

burada $\cos\theta$ ve $\cos\theta_z$ hem Eş. (8.27) hem de Eş. (8.28)'de (Duffie ve Beckman, 1991) türetilen denklemlerden tayin edilir.

8.3. İklim Verileri

Bir binanın ısıtma ve soğutma sistemleri ve ısı performansları, tasarım ve dış mekan koşullarıyla yakından ilişkilidir. İklim verileri, binaların ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin ve aynı zamanda enerji tüketiminin hesaplanmasında önemli unsurlardan biridir. Yapılarda oluşan ısı kazanç değerleri yaz sezonunda klimalı binalardaki soğutma yükünü hesaplamak için standart bir referans olarak kullanılır. Bu nedenle, tasarım koşullarını ve iklimsel verileri sunmak gereklidir. Çalışmada yapılarda oluşan ısı kazanç ile yüzey sıcaklık dağılımlarının hesaplanmasında daha gerçekçi bir yaklaşım sergilemek için gerçek iklim şartları kullanılmıştır. İklim verileri olarak Batman ili için 2016 yılı yaz sezonunun en sıcak günlerinden biri olan 26 Temmuz seçilmiştir.

Batman ili için ışınım ve sıcaklık ölçümlerinin elde edilmesinde Batman Üniversitesi'nde kurulmuş olan meteoroloji ölçüm sistemi kullanılmıştır (Şekil 8.3).

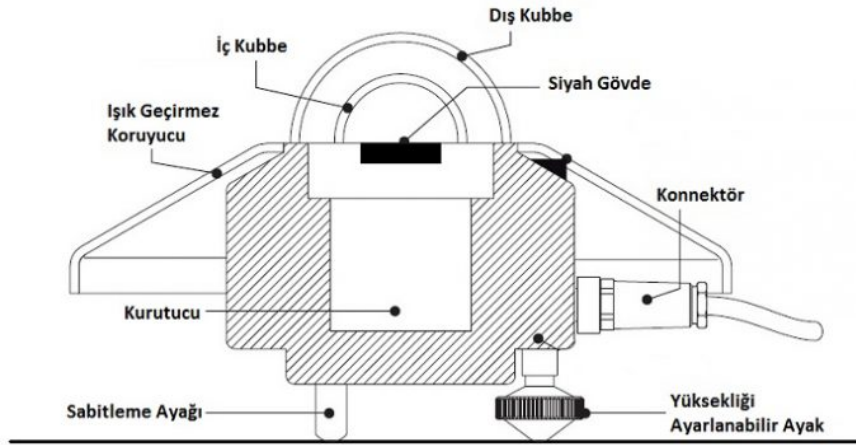


Şekil 8.3. Batman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi çatısında kurulu meteoroloji sistemi (39.79 enlem; 41.06 boylam)

Piranometre global veya dağılım ışınımını ölçen alettir. 2 katlı camdan oluşan yarım kürenin altına yerleştirilmiş ve bakır-konstantan ısı çiftleri içeren siyah metalden

oluşur. Soğuk eklemler ise radyasyon almayacak biçimde yerleştirilmiştir. Piranometre, siyah yüzeyin gelen ışığı emerek oluşan elektrik hareket gücü sayesinde soğuk eklemden daha yüksek bir sıcaklığa ulaşması sonucu ölçüm almaktadır. 10 mV ila 20 mV arasında oluşan bu elektrik hareket gücünün belli bir zaman aralığında integrali alınır ve buradan global ışınımın ölçüm değeri elde edilir (Anonim, 20146).

Çalışmada gelen anlık ışınım şiddetini Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından önerilen Kipp&Zonen firmasının üretmiş olduğu CM11 piranometresinden faydalanılmıştır. Piranometre, güneş hücresi destekli akü yardımıyla bir dataloggera bağlanmış olup veriler buradan bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 8.4'te çalışmada kullanılan piranometrenin yapısı ve Çizelge 8.1'de bu piranometreye ait olan teknik veriler belirtilmiştir.



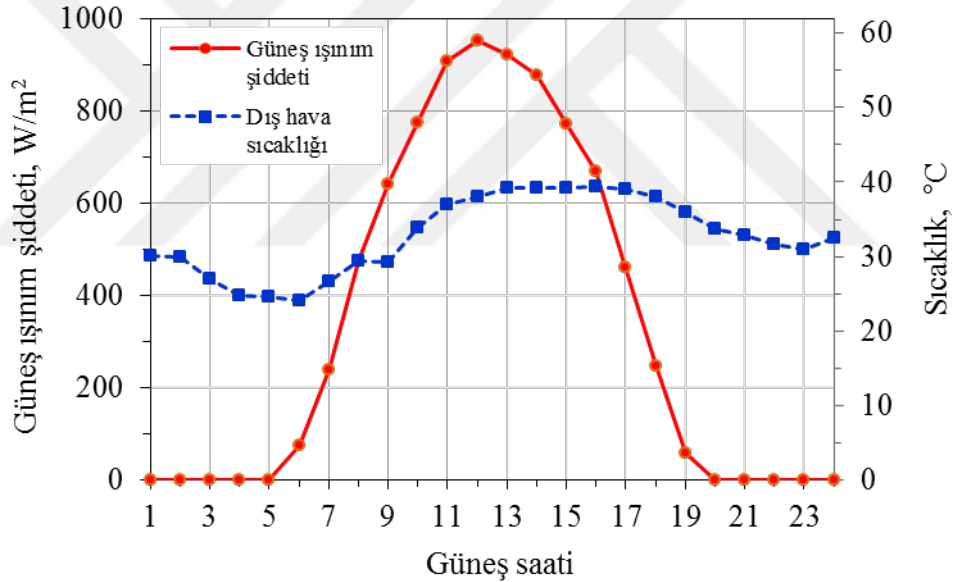
Şekil 8.4. Kipp&Zonen CM11 piranometre yapısı (Anonim, 2016).

Çizelge 8.1. Kipp&Zonen CM11 piranometresinin teknik özellikleri

Spektrum aralığı	305-2800 nm (%50 nokta)
Duyarlılık	4-6 nV/W/m ²
Empedans	700-1500 Q
Tepki zamanı (%95)	15 saniye
Yüzdesel sapma	<% ±0.6 (< 1000W/m ²)
Sıcaklığa duyarlılık	<% ± 1 (-10 dan 40 °C)
Doğrudan hata	< ± 10 W/m ² (1000 W/m ² ışınımında)
Çalışma sıcaklığı	-40 °C den 80 °C

Ağırlık	850 gram
Kablo uzunluğu	10 m
Boyutlar	150.0 mm x 91.5 mm

Anlık sıcaklık değerleri HMP60 Vaisala INTERCAP sıcaklık ve nem sensörü yardımıyla ölçülmüş olup sensörün sıcaklığı tam olarak doğru ölçebilmesi için sıcaklık kalkanı kullanılmıştır. Aynı zamanda bir anemometre ile rüzgar ölçümleri de elde edilmiştir. Kurulumu yapılmış olana meteoroloji ölçüm sisteminden 26 Temmuz günü için elde edilen saatlik yatay yüzeye gelen ışınlam şiddeti ile sıcaklık değerleri Şekil 8.5'te gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Batman ili için 26 Temmuz günü saatlik yatay yüzeye gelen ışınlam şiddeti ile sıcaklık değerleri

Bununla birlikte ısı kazancı hesaplanmasında gerekli olan iç tasarım hava sıcaklığı, iç ve dış yüzeylerdeki ısı transfer katsayıları sırasıyla 24 °C, 8.3 ve 17 W/m² °C olarak alınmıştır. Bununla birlikte bir binanın soğutma enerji tüketimini, binaya gelen güneş ışınlam şiddeti belirlediği için bina yapılarının dış yüzeylerinin güneş ışığını tutmada önemli bir etkisi vardır. Güneş soğurma katsayısı, α_s olarak bilinen bu parametre güneş enerjisinden kaynaklı ısı kazancını sınırlandırarak önemli ölçüde azaltılabilir. Güneş soğurma katsayısı genel olarak yapı malzemesinin yüzey özelliklerine (pürüzlülük vb. gibi)

ve rengine bağlıdır. Literatürdeki pek çok çalışmada, binanın dış yüzey renginin bina ısı performansını üzerinde önemli etkisinin olduğunu ortaya koymuştur (Cheng ve Givoni, 2005; Bansal ve ark., 1992). Bu çalışmada Şekil 8.6’de verilen dört farklı yüzey rengi için ısı kazancı hesaplamaları yapılmıştır. Diğer taraftan çalışmada kullanılan yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.6. Kullanılan dış duvar renkleri (Cheng ve Givoni, 2005).

Çizelge 8.2. Çalışmada kullanılan yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri (Yumrutaş ve ark., 2007)

Malzeme	λ (W/m K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg K)	α (m ² /s)
Briket	0.920	1600	840	6.84×10 ⁻⁷
Tuğla	0.690	1580	840	5.20×10 ⁻⁷
Bims	0.230	770	835	3.57×10 ⁻⁷
Gazbeton	0.150	400	1047	3.58×10 ⁻⁷
EPS	0.038	18	1500	14.0×10 ⁻⁷
XPS	0.034	22	1280	12.1×10 ⁻⁷
Cam yünü	0.04	25	670	23.9 ×10 ⁻⁷
Taş yünü	0.04	50	840	9.52 ×10 ⁻⁷
Sıva	0.700	2778	840	2.99×10 ⁻⁷

9. BİLGİSAYAR PROGRAMI

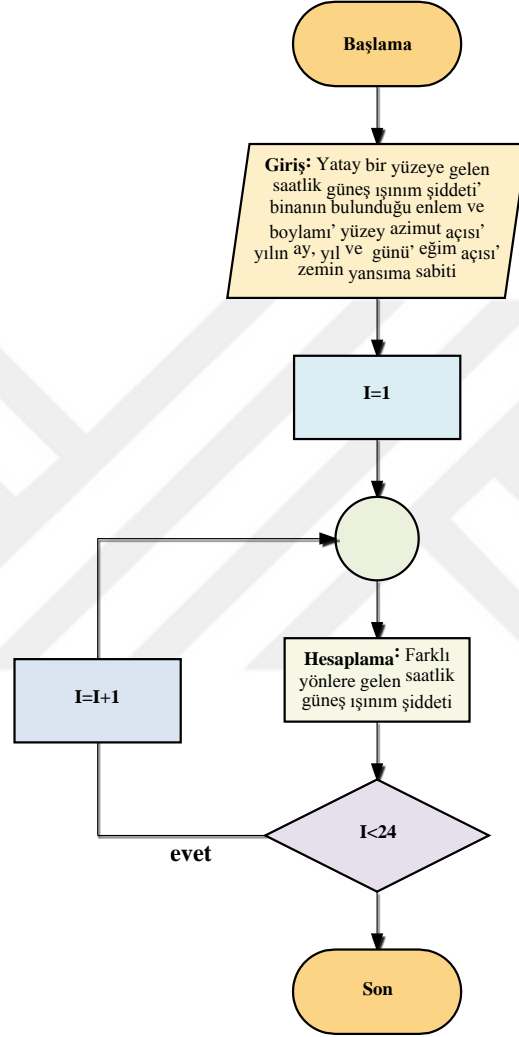
Matlab temel olarak sayısal hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik, bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa ve interaktif ortama sahip bir yazılımdır. Matlab programının tipik kullanım alanları: Matematik ve hesaplama işlemleri, algoritma geliştirme ve modelleme, simülasyon (benzetim) ve ön tipleme, veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim, bilimsel ve mühendislik grafikleri ve uygulama geliştirme şeklinde özetlenebilir (Anonim, 2017).

Bu bölümde çok katmanlı yapılarıdaki geçici rejim ısı transfer probleminin çözümünü elde etmek amacıyla kullanıcı dostu MATLAB tabanlı bir paket programı geliştirilmiştir. Programın tüm girdi parametreleri ve geliştirilen algoritma detayları bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

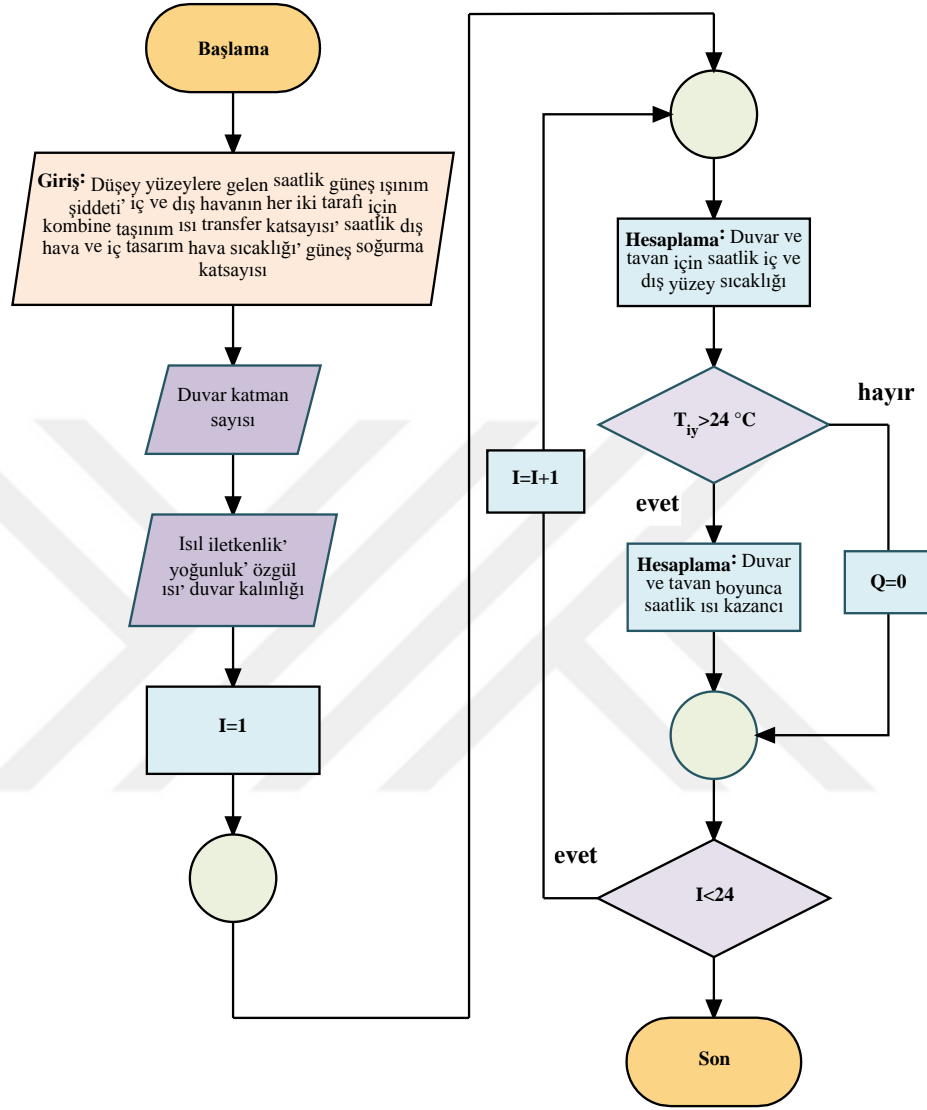
9.1. Programın Hazırlanması ve Giriş Parametreleri

Öncelikle bir duvar ve tavan yüzeyine gelen saatlik güneş ışınım şiddetini hesaplamak için çeşitli formüller ve yöntemler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Hesaplamaları kolaylaştırmak ve zaman kazanmak için MATLAB tabanlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program uygulanacak analitik modele dayalı sayısal hesaplamaları yapmak için kullanılmıştır. Model, günlük periyodik çalışma için uygulanmış olup genellikle ısı kazancı hesaplamalarında kullanılmaktadır. Bir binanın duvarı ve tavanı için yapılan hesaplamalarda analitik modelin kullanımını göstermek için çözüm; yatay ve eğik yüzeylerde saatlik güneş ışınım şiddetinin, duvarların veya düz tavanlara bağlı bir alanın ısı kazancı hesaplanmasında ve günlük periyodik çalışma için bu yapıların sıcaklık değişimlerini bulmak için kullanılmıştır. Program, hesaplama yapılacak yerin konumunu (koordinatlarını), yatay yüzeye gelen saatlik güneş ışınım şiddetini, duvarın veya tavan malzemelerinin termofiziksel özelliklerini, iç ve dış havanın her iki tarafı için birleşik taşınım ısı transfer katsayısını, saatlik dış hava sıcaklığını ve iç tasarım hava sıcaklığını girdi olarak kullanır.

Farklı yönlerde düşey yüzeyler için saatlik güneş ışınım değerlerinin hesaplanması Şekil 9.1'de gösterilmektedir. Benzer şekilde, duvar ve tavanın saatlik iç ve dış yüzey sıcaklığı için geliştirilen algoritmalar Şekil 9.2'de gösterilmektedir



Şekil 9.1. Yatay ve düşey yüzeylerde güneş ışınım şiddetinin hesaplanması için geliştirilen algoritma ("I" bir günde ki saat)

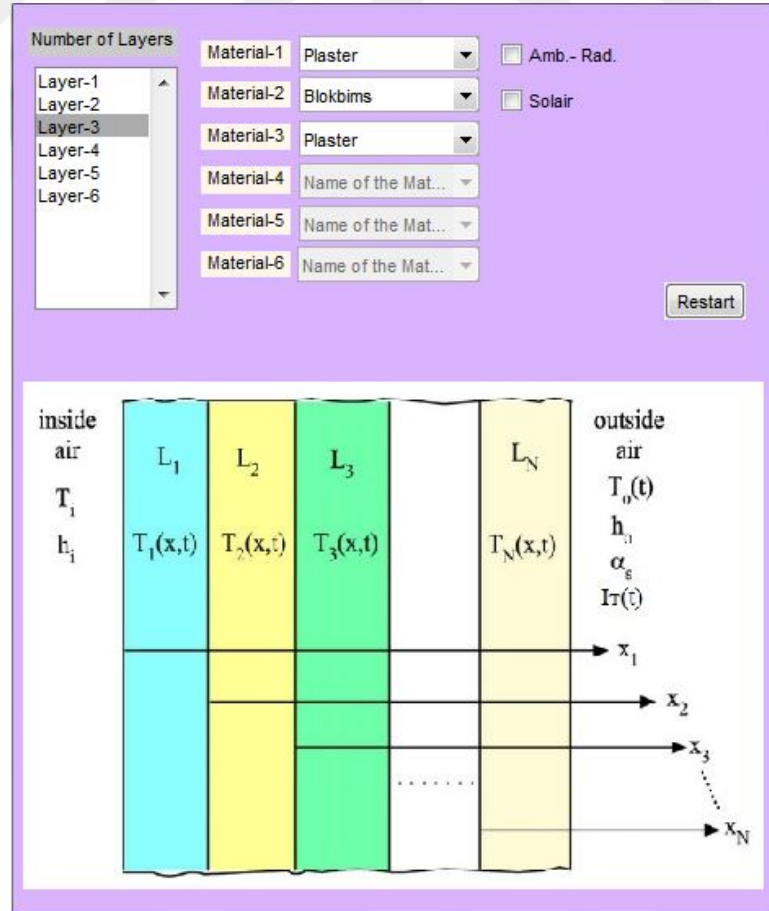


Şekil 9.2. Duvar ve tavanların saatlik iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile duvar ve tavandan gelen ısı kazançlarının hesaplanması için geliştirilen algoritma (“ T_{iy} ” duvar ve tavan saatlik iç yüzey sıcaklığı, “Q” duvar ve tavandan gelen saatlik ısı kazancı)

Matlab ortamında hazırlanan programı kullanırken zaman kazanmak ve kullanıcı dostu hale getirmek için GUI (grafik kullanıcı arabirimi) arayüzü tasarlanmıştır. Böylece herhangi bir kullanıcı programın ayrıntısını bilmeden programı çalıştırabilmekte ve herhangi bir binanın saatlik ısı kazancı değerlerine sahip olabilmektedir. Daha önce verilen üç algoritma temel alınarak, üç GUI arayüzü tasarlanmıştır. Her arayüz, çeşitli girdileri ele alan diğer arayüzler ile ilişkilendirilmiştir.

9.2. GUI hazırlanması

Geliştirilen üç ana GUI arayüzü vardır. Birincisi "genel giriş modülü" olarak tasarlanmıştır ve Şekil 9.3'te bu arayüz gösterilmektedir. Birinci modül; bir liste kutusu, 'kalınlık, yön', 'hesapla' ve 'çizim' olmak üzere dört basınç düğmesi, altı açılır menüler ve bir adet uipanel içermektedir. Liste kutusu, bir binada istenen sayıda duvar veya tavan katmanını seçilmesini sağlar. Bir bina için kullanıcı tarafından en fazla altı duvar veya tavan katmanı seçilebilir. Duvar veya tavan katmanlarının seçiminden sonra etkinleştirilen açılır menüler, her bir katmanda seçilen yapı malzemelerinin ısı özelliklerini elde etmek amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. 'Kalınlık' düğmesinin seçilmesinden sonra, kullanıcıya Şekil 9.4'te gösterildiği gibi seçilen her bir katmanın kalınlığını tanımlanmasını sağlayan yeni bir GUI arayüzü menüsü görüntülenir.



Şekil 9.3. GUI arabiriminin genel giriş modülü

Şekil 9.4. GUI arabiriminin kalınlık seçim modülü

Kullanıcı 'yön' düğmesini seçerse, ekranda Şekil 9.5'teki gibi yeni bir GUI arayüzü menüsü görünür. Bu modül, duvarın veya tavanın yönünü ve eğim özelliklerini tanımlamak için gerekli girdileri ve seçimleri kabul edecek şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 9.5. GUI arabiriminin seçim modülü; duvar yönü ve tavan açısı

Uipanel, kontroller için bir konteyner olarak işlevsellik sağlar. Üç radyo düğmesi, 'güneş ışınımı', 'iç duvar' ve 'dış duvar' düğmelerini içermektedir. Bu modül kullanıcıya hangi hesaplamanın gerçekleştirileceğinin seçimini sağlar. 'Hesaplama' düğmesinin seçilmesinden sonra, farklı yönlerdeki duvar ve tavanların, iç ve dış yüzey sıcaklığı için yatay ve eğimli yüzeylerdeki saatlik olay güneş ışınım akıları hesaplanacaktır. Son olarak, 'plot' düğmesi seçildiğinde, daha önce yapılan hesaplamaların grafiksel olarak 2-D çizimini oluşturmak için olanak sağlamaktadır.

10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, ülkemizin yalıtım ve yapı malzemelerindeki dışa bağımlılığını azaltacak, binaların enerji verimliliğini artıracak duvar, beton, yalıtım (mantolama) numuneleri ile teknolojilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçların gerçekleştirilmesi için dört aşamadan oluşan bir çalışma yapılmıştır. Bu bölümde hedeflenen dört aşama aşağıdaki gibi sırasıyla dört kısımda açıklanarak detaylı olarak irdelenmiştir.

1- Ülkemizin yer altı kaynaklarını kullanarak yüksek mukavemet, ısı ve ses yalıtımına sahip olan yeni yalıtım, duvar ve taşıyıcı beton tipleri elde etmek için farklı katkı maddeleri ve bunların farklı oranlarda karıştırılması ile ısı iletkenlik katsayısı duvar için $\lambda \leq 0.2$ W/mK, dış cephe mantolama için üretilen yalıtım malzemeleri için ısı iletim katsayısı $\lambda \leq 0.05$ W/mK'nin altında ve taşıyıcı beton için $\lambda \leq 1$ W/mK olan numunelerin üretilmesi,

2- Üretim yöntemleri uygulamalı bir şekilde yapılarak, üretilen yalıtım, duvar ve beton numunelerinin üretim şekilleri, içerikleri, oranları ve özellikleri ile termofiziksel ve mekanik özelliklerin birbiriyle olan değişimini veren grafik ve denklemlerin elde edilerek literatüre kazandırılması,

3- Üretilen mantolama malzemelerinin termofiziksel özellikleri dışında rötre, yanmazlık, özgül yüzey ve malzeme karakterizasyonu gibi diğer önemli özelliklerin tespiti ve açıklanması

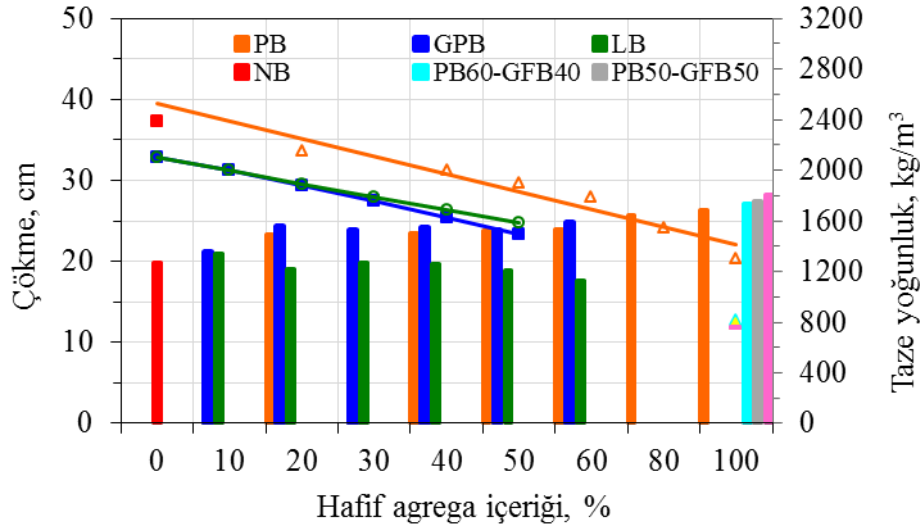
4- .Binaların ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplamak ve aynı zamanda termofiziksel özelliklerin bina yapılarının ısı kazancına ve ısı performanslarına olan etkisini incelemek amacıyla, Kompleks Sonlu Fourier dönüşümü (Complex Finite Fourier Transform, CFFT) tekniğinin uygulanması için MATLAB tabanlı ve arayüzlü bir paket program hazırlanması ve bu program kullanılarak halihazırda üretilen numuneler ile piyasada yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin aynı iklimik şartlarda ısı kayıp ve kazançlarının karşılaştırılmasıdır.

10.1. Hafif Beton Numunelerinin Özellikleri

Bu kısımda taze ve sertleşmiş betona uygulanan testlerin sonuçları verilerek grafiklerle detaylı olarak anlatılmıştır.

10.1.1.Taze beton özellikleri:

Üretilen tüm betonların çökme ve taze yoğunluk değerleri Şekil 9.1'de gösterilmiştir. . Tüm betonlarda hafif agrega kullanımına bağlı olarak taze yoğunluk değerlerinde azalış eğilimi olduğu ve çökme değerlerinde artış eğilimi olduğu görülmektedir. Taze beton karışımlarında tüm hafif agregaların belirli oranlarda kullanılmasıyla maksimum ve minimum çökme için 28.2 – 71.7 cm ve taze yoğunluk için 2381.91 – 755.90 kg/m³ arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. En düşük taze yoğunluk 755.90 ve en yüksek çökme değeri 28.2 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca %60 perlit ve %40 pomza kullanımında, en yüksek çökme değeri olan 28.2 cm tespit edilmiştir. Bununla birlikte Şekil 8 detaylı olarak incelendiğinde karışımdaki silis dumanı ve atık lastiğin çökmeyi düşürme eğiliminde olduğu bununla birlikte karışıma ilave edilen hava sürükleyici ve hiper akışkanlaştırıcı sayesinde yaş betonların hepsinde yüksek çökme değerleri buna paralel olarak yüksek işlenebilirlik ve kıvama ulaşıldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, PB ve GPB betonlarında çökme değerleri karışımda pomza ve genişletilmiş perlit agrega yüzdesinin artması ile artma eğilimi gösterdiği, buna karşın taze yoğunluk değerlerinin ise azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni, daha hafif pomza ve genişletilmiş perlit agregasının karışımdaki miktarının artmasıyla beton içerisindeki boşluk ve gözeneklilik artmış, bunun sonucunda taze yoğunluk azalmış ve böylelikle harç boşluklarda daha rahat hareket ettiğinden aynı kuvvet ile daha yüksek işlenebilirlik ve çökme değerlerine ulaşılmıştır. Lastik agregalı betonlarda lastik ikamesi arttıkça çökme değeri azaldığından, bu taze betonlarda işlenebilirliğin istenen seviyede kalabilmesi için yüksek miktarlarda hiper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Bununla birlikte bazı oranlarda çökme değerlerinin sabit kalması hiper akışkanlaştırıcı ikame oranının azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Günümüzde hazır beton firmaları genel olarak betonlar için 12 cm üzeri çökme değerlerini betonun pompalanmasının rahat olabilmesi için tercih etmektedir. Çalışmamızda üretilen tüm betonların çökme değerleri belirtilen değerlerin üzerindedir ve işlenebilirliği çok yüksektir.



Şekil 10.1. Hafif agrega içeriğinin taze betonda çökme ve yoğunluğa olan etkisi

10.1.2. Sertleşmiş beton özellikleri

Üretilen numunelerin sertleşmiş beton özelliklerinden basınç dayanım, yarmada çekme dayanım, yığınsal yoğunluk, su emme kapasitesi, gözeneklilik (porozite) ve ultrasonik ses hızı testleri mekanik özellikler olarak; ısı iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılım testleri ise ısı özellikler olarak tanımlanmış olup test sonuçları Çizelge 10.1'de gösterilmiştir. Testler yapılırken dayanım testleri hava-kuru numuneler üzerinde, ısı ve ses özellikleri su neminin deney sonuçlarını etkilememesi için etüv kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

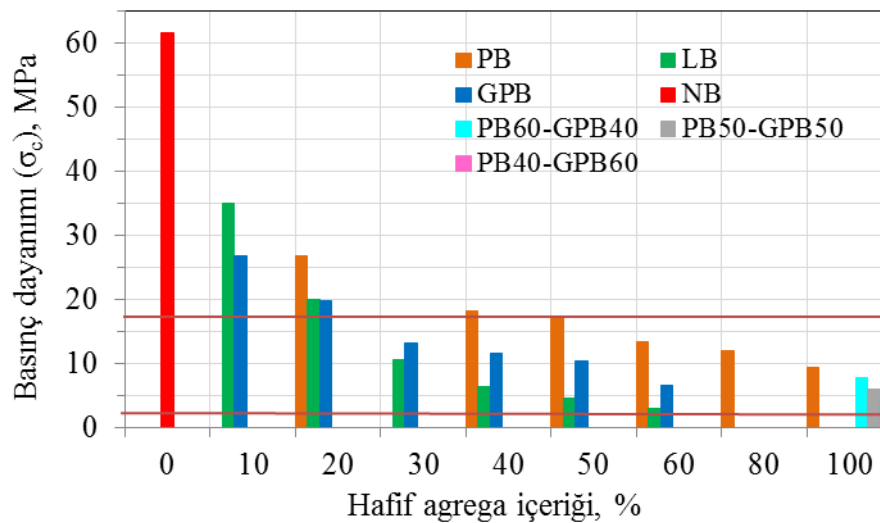
Çizelge 10.1. Sertleşmiş beton numunelerinin mekanik ve ısı özellikleri

Beton	σ_c (Mpa)	σ_t (Mpa)	ϕ (%)	m (%)	λ (W/m.K)	ρ_k (kg/m³)	ρ_{dky} (kg/m³)	c_p (J/kg.K)	α (m²/s)	U_{pv} (km/s)
NB	61.52	3.41	3.538	1.453	2.075	2434.30	2469.67	630.57	1.35×10^{-6}	4.673
GPB10	26.72	2.97	8.673	4.199	1.597	2065.56	2152.30	776.59	9.95×10^{-7}	3.968
GPB20	19.68	1.84	14.164	7.645	1.140	1872.29	2015.42	799.34	7.62×10^{-7}	3.788
GPB30	13.13	1.45	17.088	9.758	0.944	1751.14	1922.02	817.87	6.59×10^{-7}	3.571
GPB40	11.54	1.34	18.448	11.274	0.820	1636.37	1820.85	828.05	6.05×10^{-7}	3.472
GPB50	10.38	1.22	20.540	14.332	0.709	1449.40	1657.13	918.69	5.32×10^{-7}	3.390
GPB60	6.43	1.00	23.665	17.628	0.520	1342.44	1579.09	961.83	4.02×10^{-7}	3.067
PB20	26.75	2.37	11.952	5.672	1.390	2107.30	2226.82	809.88	8.14×10^{-7}	4.000
PB40	18.14	1.54	13.770	7.308	1.060	1888.18	2026.16	835.89	6.72×10^{-7}	3.788
PB50	17.37	1.42	17.689	10.115	0.911	1748.85	1925.74	881.02	5.91×10^{-7}	3.559
PB60	13.32	1.38	22.068	14.313	0.639	1529.34	1748.24	968.00	4.32×10^{-7}	3.289
PB80	11.83	1.22	26.225	19.418	0.421	1350.55	1612.80	1049.94	2.97×10^{-7}	3.058
PB100	9.35	1.04	30.064	27.030	0.358	1112.25	1412.89	1186.79	2.71×10^{-7}	2.674
LB10	35.03	3.40	4.209	1.892	1.720	2224.09	2266.18	727.94	1.06×10^{-6}	4.098

LB20	19.90	2.32	6.141	2.893	1.417	2122.88	2184.28	754.50	8.84×10^{-7}	3.571
LB30	10.39	1.11	9.850	5.087	1.070	1920.16	2017.83	766.76	7.27×10^{-7}	2.415
LB40	6.24	0.66	10.591	5.922	0.829	1805.82	1912.75	786.68	5.84×10^{-7}	2.045
LB50	4.47	0.65	11.191	6.279	0.722	1782.13	1894.03	824.86	4.91×10^{-7}	1.838
LB60	2.94	0.64	12.053	7.265	0.548	1658.99	1779.52	914.53	3.61×10^{-7}	1.626
GPB40-PB60	7.68	1.03	34.891	42.763	0.193	815.92	1164.84	1189.46	1.99×10^{-7}	2.347
GPB50-PB50	5.89	0.73	36.319	50.016	0.158	726.14	1089.33	1160.03	1.88×10^{-7}	2.271
GPB60-PB40	4.47	0.62	37.009	53.362	0.141	693.55	1063.64	1122.26	1.81×10^{-7}	2.179

10.1.2.1. Mekanik özellik test sonuçları

Şekil 10.2' de beton numunelerin 28. gün sonunda basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin basınç dayanımları 2.94 MPa ile 61.52 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Agrega bazında sonuçlara baktığımızda; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde genişletilmiş perlit agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde normal betona göre basınç dayanımında % 56.56 ile % 89.54 arasında azalma; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde atık lastik agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde basınç dayanımında % 43.06 ile % 95.22 arasında azalma; % 20'den % 100'e kadar artan değerlerde pomza agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde basınç dayanımında % 56.51 ile % 84.80 arasında azalma meydana gelmiştir. Bu azalmalar genel olarak genişletilmiş perlit ve pomza agregasının normal agregaya göre gözenekli ve zayıf yapıda olmalarından kaynaklanmaktadır. Betonun içindeki boşluk miktarı arttıkça basınç dayanımında düşüş meydana gelmektedir.

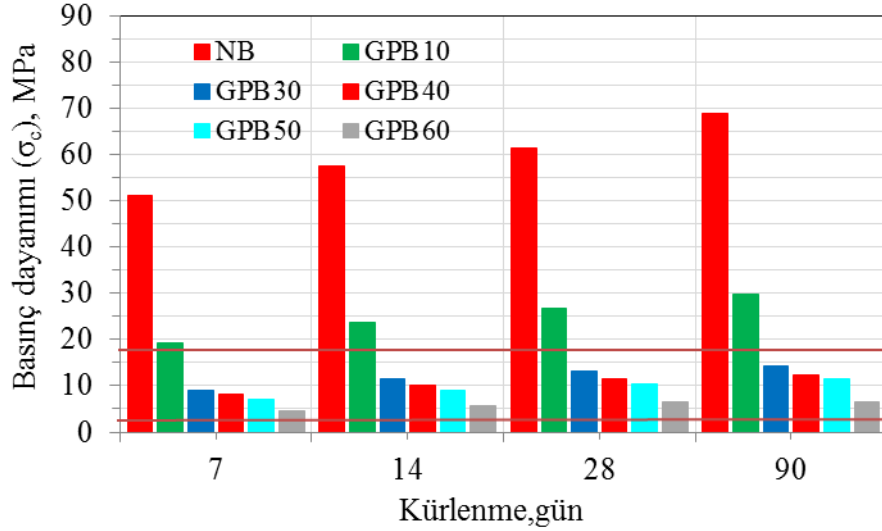


Şekil 10.2. Genleştirilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregalarının, hafif betonların basınç dayanımına etkisi.

PB60-GPB40, PB50-GPB40, PB40-GPB60 hafif betonlarının basınç dayanımlarında normal betona göre sırasıyla % 87.51, % 90.43 ve % 92.74 oranında düşüşler meydana gelmiştir. Yoğunlukları diğer betonlara göre çok daha düşük olan bu hafif betonlarda çok yüksek miktarda basınç düşüşünün meydana gelmemesi pomza ve perlit agreganın normal agregaya göre daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ve yüzey alanına sahip olmasından ileri gelmektedir. Bu sayede perlit ve pomza agregaları çimento ile daha güçlü bir matris oluşturmuştur. Diğer taraftan beton içerisinde atık lastik agregası oranı arttıkça özellikle basınç dayanımında normal betona (hatta diğer betonlara) göre büyük düşüşler gözlemlenmesinin en büyük sebebi çimento ile atık lastik agregasının birbiriyle oluşturduğu aderansın (bağ) zayıf olmasındandır. Bundan dolayı normal betonda agrega yüzeyinde görülen ilk çatlamlar atık lastik katkılı betonda agrega ile çimento arasında olmaktadır. Buna karşın yarmada çekme dayanımında atık lastik agregalı betonların sahip olduğu yüksek değerler agreganın beton içerisinde fiber etkisi yaparak numunenin ikiye ayrılmasına engel olmakta ve numuneyi birbirine tutmaktadır. Hafif agregalı betonların normal betonlara göre basınç dayanımının düşük olmasının diğer bir sebebi de hafif betonlarda kullanılan hava sürükleyici katkı maddesidir. Diğer taraftan daha önceden belirtildiği gibi hafif betonlar hem taşıyıcı ($\sigma_c > 17$ MPa) hem de duvar malzemesi (2.5 MPa) olarak kullanılabilir. Şekil 8’de gösterildiği gibi üretilen hafif betonlardan GPB10, GPB20, LB10, LB20, PB20, PB40 ve PB50 betonları taşıyıcı olarak diğer üretilen hafif betonların tümü ise duvar malzemesi olarak kullanılabilir.

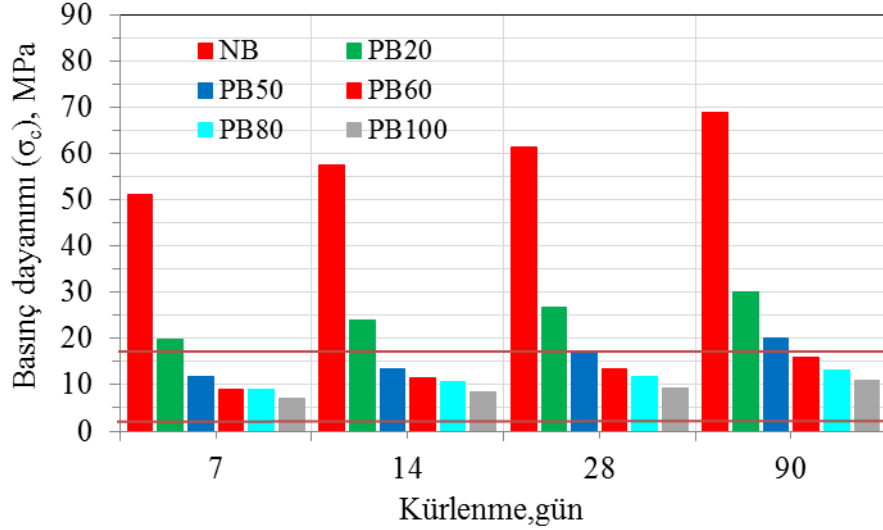
Şekil 10.3, Şekil 10.4, Şekil 10.5 ve Şekil 10.6’ da farklı beton numunelerin farklı kürlenme sürelerinde (7., 14., 28. ve 90. gün sonunda) basınç dayanım sonuçları verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin basınç dayanımları 2.77 MPa ile 68.86 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kürlenme süresi arttıkça basınç dayanımı artmış ve 90. gün sonunda en yüksek dayanım değerine ulaşılmıştır. Farklı beton karışımlarının kürlenme süresi üzerinde etkisi incelendiğinde: 90. gün sonunda 68.86 MPa basınç dayanımına sahip NB, 7. gün sonunda bu dayanımının % 74.49’unu, 14. gün sonunda bu dayanımının % 83.41’ini ve 28. gün sonunda bu dayanımının % 89.34’ünü sağlamıştır. 90 günlük basınç dayanımları sırasıyla 29.71 MPa, 21.23 MPa, 14.36 MPa, 12.31 MPa, 11.47 MPa ve 6.51 MPa olan ve genleştirilmiş perlit içeren GPB10, GPB20, GPB30, GPB40, GPB50 ve GPB60 hafif betonlarının; 7. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 64.78’ini, % 64.44’ünü, % 63.29’ünü, % 65.83’ünü, 60.62’sini ve 69.99’ünü; 14. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 79.88’ini, %

81.38'ini, % 80.18'ini, % 8 2.58'ini, % 78.54'ünü ve % 87.29'unu; 28. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 89.95'ini, %92.68'ini, % 91.44'ünü, % 93.76'sını, 90.49'unu ve % 98.82'sini sağlamıştır.



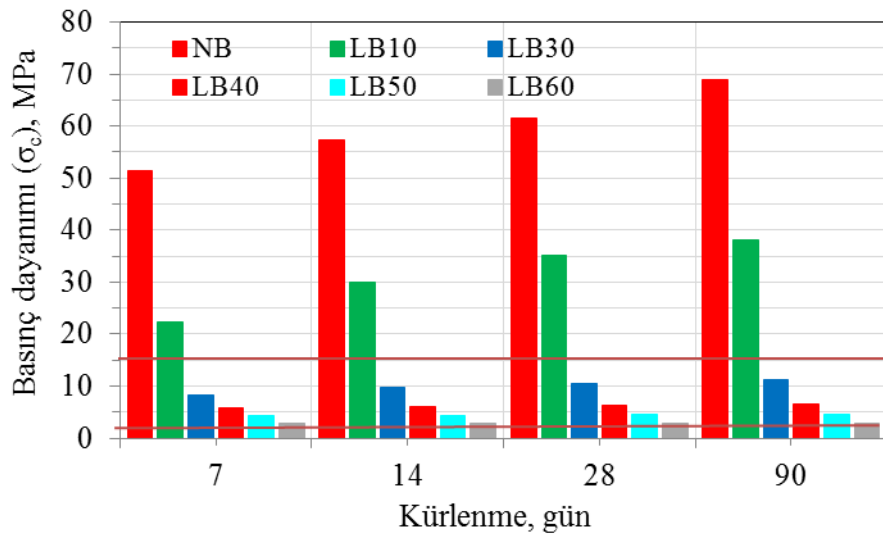
Şekil 10.3. NB ve GPB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi

90. gün sonunda basınç dayanımları sırasıyla 30.19 MPa, 21.70 MPa, 20.16 MPa, 15.91 MPa, 13.13 MPa ve 11.07 MPa olan ve pomza agregası içeren PB20, PB40, PB50, PB60, PB80 ve PB100 hafif betonlarının, 7. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 65.30'unu, % 56.38'ini, % 58.17'sini, % 56.60'ını, % 68.53'ünü ve % 63.61'ini; 14. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 79.29'unu, % 72.73'ünü, % 66.86'sını, %72.87'sini, % 81.47'sini ve %76.16'sını; 28. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 88.62'sini, % 83.62'sini, % 86.16'sını, % 83.72'sini, % 90.10'unu ve % 84.52'sini sağlamıştır.



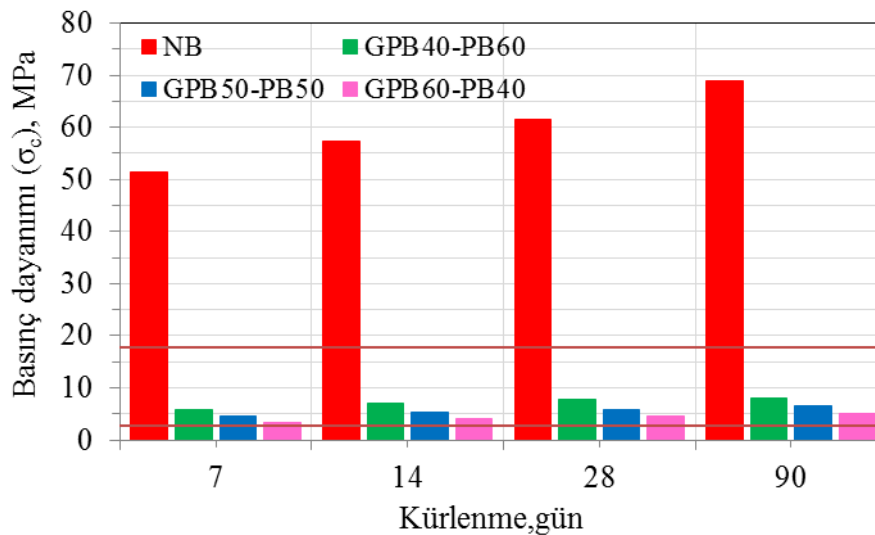
Şekil 10.4. NB ve PB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi

90 günlük basınç dayanımları sırasıyla 37.98 MPa, 21.41 MPa, 11.15 MPa, 6.51 MPa, 4.56 MPa ve 2.96 MPa olan ve atık lastik içeren LB10, LB20, LB30, LB40, LB50 ve LB60 hafif betonlarının; 7. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 58.56'sını, % 70.62'sini, % 74.99'unu, % 89.14'ünü, % 92.21'ini ve % 93.69'unu; 14. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 78.75'ini, % 84.02'sini, % 86.60'ını, % 93.17'sini, % 95.70'ini ve % 97.07'sini; 28. gün sonunda bu dayanımlarının sırasıyla % 92.22'sini, % 92.96'sını, % 94.35'ini, % 95.85'ini, % 98.03'ünü ve % 99.32'sini sağlamıştır.



Şekil 10.5. NB ve LB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi

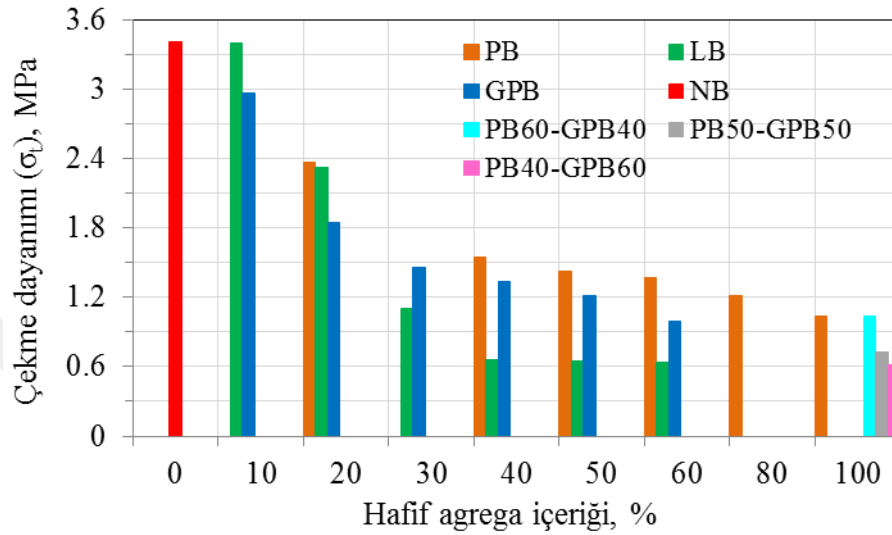
Bununla birlikte 90. gün sonunda basınç dayanımları sırasıyla 7.94 MPa, 6.44 MPa ve 5.01 MPa olan PB60-GPB40, PB50-GPB50, PB40-GPB60 betonlarının, 7. gün bu dayanımlarının sırasıyla % 74.31'ini, % 69.92'sini ve % 67.86'sını; 14. gün bu dayanımlarının sırasıyla , % 87.03'ünü, % 82.19'unu ve % 80.64'ünü; 28. gün bu dayanımlarının sırasıyla % 96.77'sini, % 91.52'sini ve % 89.16'sını sağladığı tespit edilmiştir (. Bu sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında, Portland 52.5 çimentosunun geleneksel çimentolara göre daha erken kürlenme sürelerinde yüksek dayanım sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte hafif betonlarda silis dumanı kullanımının, silis dumanı kullanılmayan normal betona göre betonun yüksek dayanıma erişmesi için gerek kürlenme süresini geciktirmiş olmasına rağmen 14. gün sonrasında silis dumanı etkisini göstererek, hafif betonların dayanımını yüksek bir şekilde arttırmıştır. Agrega bazında sonuçlara baktığımızda; genişletilmiş perlit ve pomza kullanılarak elde edilen hafif betonların yüksek dayanıma ulaşabilmeleri için normal betonlara göre daha uzun kürlenme süresine ihtiyaç duyarken özellikle %40 ve üzeri lastik agregası içeren hafif betonların 90 günlük basınç dayanımlarının yaklaşık % 90'ını 7. gün sonunda elde etmiştir.



Şekil 10.6. NB ve GPB-PB betonların basınç dayanımlarının kürlenme sürelerine etkisi

Şekil 10.7' de beton numunelerin 28. gün sonunda yarmada çekme dayanımı sonuçları verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin basınç dayanımları 0.62 MPa ila 3.41 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Agrega bazında sonuçlara baktığımızda; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde genişletilmiş perlit agregası normal agregası ile yer değiştirdiğinde normal betona göre yarmada çekme

dayanımında % 13.02 ila % 70.80 arasında azalma; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde atık lastik agregası normal agrega ile yer değiştirdiğinde yarmada çekme dayanımında % 0.14 ila % 81.29 arasında azalma; % 20'den % 100'e kadar artan değerlerde pomza agregası normal agrega ile yer değiştirdiğinde yarmada çekme dayanımında % 30.41 ila % 69.61 arasında azalma meydana gelmiştir.



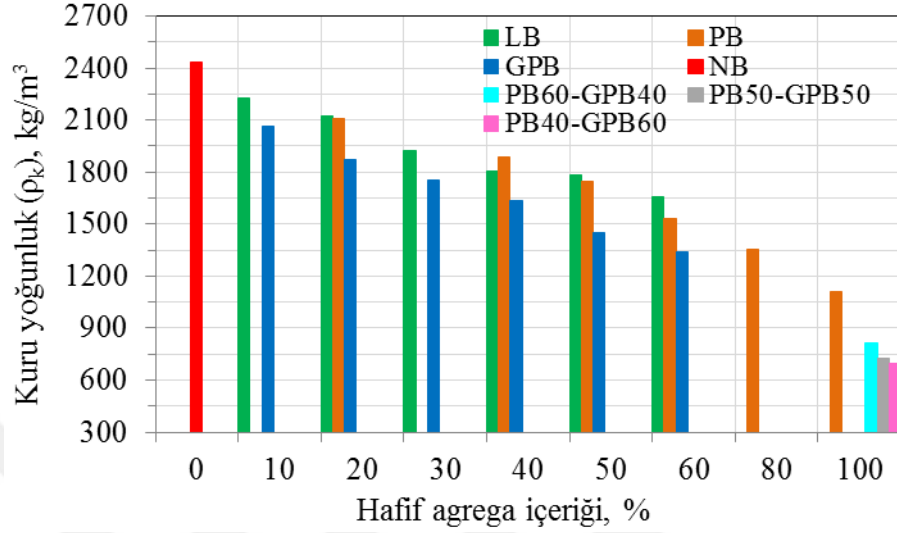
Şekil 10.7. Genleştirilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregalarının, hafif betonların basınç dayanımına etkisi.

PB60-GPB40, PB50-GPB40, PB40-GPB60 hafif betonlarının yarmada çekme dayanımlarında ise normal betona göre sırasıyla % 69.65, % 78.59 ve % 81.94 oranında düşüşler meydana gelmiştir. Bununla beraber agrega bazında basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı karşılaştırdığımızda; normal agrega ile elde edilen betonun yarmada çekme dayanımı basınç dayanımının % 5.54'üne tekabül ederken, % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde genleştirilmiş perlit agregası normal agrega ile yer değiştirdiğinde yarmada çekme dayanımı basınç dayanımının % 3.73'ü ila % 11.10'u arasında; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde pomza agregası normal agrega ile yer değiştirdiğinde yarmada çekme dayanımı basınç dayanımının % 3.88'i ila % 8.88'i arasında; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde atık lastik agregası normal agrega ile yer değiştirdiğinde yarmada çekme dayanımı basınç dayanımının % 2.39'u ila % 12.74'ü arasında; PB60-GPB40, PB50-GPB40 ve PB40-GPB60 hafif betonlarının yarmada çekme dayanımı basınç dayanımının % 2.30'u ila % 3.87'si arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, genleştirilmiş perlit ve pomza agregalı yüksek dayanımlı olan hafif betonların çekme dayanımı bakımından normal betona göre daha

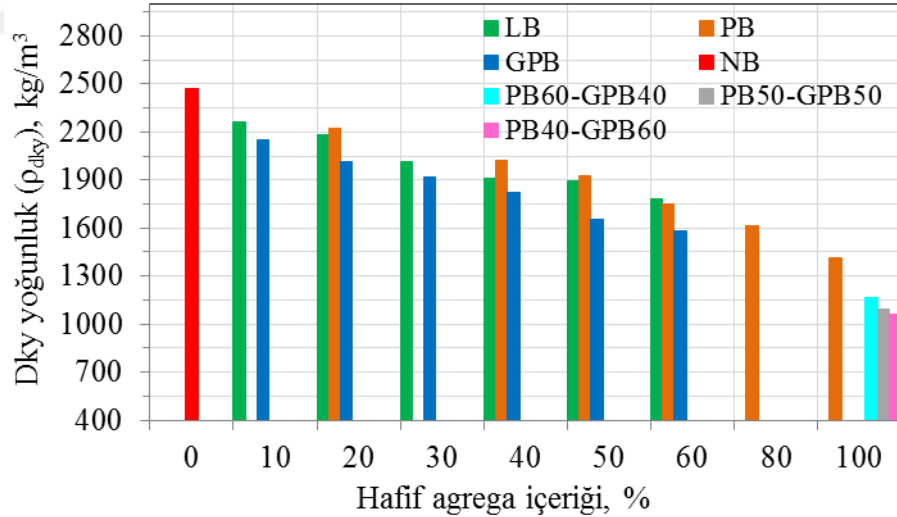
yüksek çekme dayanım değerleri vermiştir. Bu durum perlit ve pomza agregasının puzolanik aktiviteye sahip olmasından dolayı matris yoğunluğu ve dayanımının artması olarak literatürde açıklanmıştır (Ulus, 2007). Beton içerisinde lastik agregasının kullanımında, lastik beton içerisinde lif gibi bir davranış göstermiş ve betonun yarılmalarını engellemiştir. Bununla birlikte çok düşük basınç dayanımına sahip olan % 60 lastik katkılı hafif betonun yarmada çekme dayanımını sadece lastik agregasının lif yapısının karşıladığı tahmin edilmektedir. Bu sonuçlar bize hafif betonların özellikle çekme dayanımlarında normal betonlara göre yüksek performans sergilediklerini ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 10.8 ve Şekil 10.9’ da beton numunelerin 28. gün sonunda yığınsal kuru ve doymuş kuru yüzey (dky) yoğunluk değerleri verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin kuru yoğunlukları 2434.30 kg/m^3 ile 693.55 kg/m^3 arasında ve doymuş yüzey yoğunluk ise 2469.67 kg/m^3 ile 1063.64 kg/m^3 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Agregada bazında sonuçlara baktığımızda; % 10’ dan % 60’a kadar artan değerlerde genleştirilmiş perlit agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde normal betona göre kuru yoğunluklarında % 15.15 ile % 44.85 azalma, doymuş yüzey yoğunluk değerlerinde % 12.85 ile % 36.06 arasında azalma; % 10’ dan % 60’a kadar artan değerlerde atık lastik agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde kuru yoğunluklarında % 8.64 ile % 31.85 azalma, doymuş yüzey yoğunluk değerlerinde % 8.24 ile % 27.95 arasında azalma; % 20’ den % 100’e kadar artan değerlerde pomza agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde kuru yoğunluklarında % 13.43 ile % 54.31 azalma, doymuş yüzey yoğunluk değerlerinde % 9.83 ile % 42.79 arasında azalma meydana gelmiştir. PB60-GPB40, PB50-GPB40, PB40-GPB60 hafif betonlarının kuru yoğunluklarında normal betona göre sırasıyla % 66.48, % 70.17 ve % 71.51; doymuş kuru yüzey yoğunluklarında ise sırasıyla % 52.83, % 55.89 ve % 56.93 oranında düşüşler meydana gelmiştir. Kuru ve doymuş kuru yüzey yoğunluğundaki bu azalmalar genel olarak genleştirilmiş perlit, atık lastik ve pomza agregasının normal agregaya göre daha hafif ve gözenekli yapıda olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu gibi düşüşler betonun performansı açısından çok büyük öneme sahiptir. Çünkü beton içerisinde kullanılan hafif agregaya malzemeleri, betonun sünekliğini artırarak enerjiyi yutabilme kapasitesinin artırılmasını ve bina yükünün önemli oranda azalmasını sağlamaktadır. Özellikle, depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte, dolayısıyla bina sallanırken yıkılmamaktadır (Washa, 1956; Taşdemir, 1984; Doğan ve ark., 2004). Bunun yanında, normal betonun birim

ağırlığının düşürülmesiyle, betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılıp yapı hafifletilmekte, böylece taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülerek yapım maliyeti düşürülmektedir (Azizi, 2007).



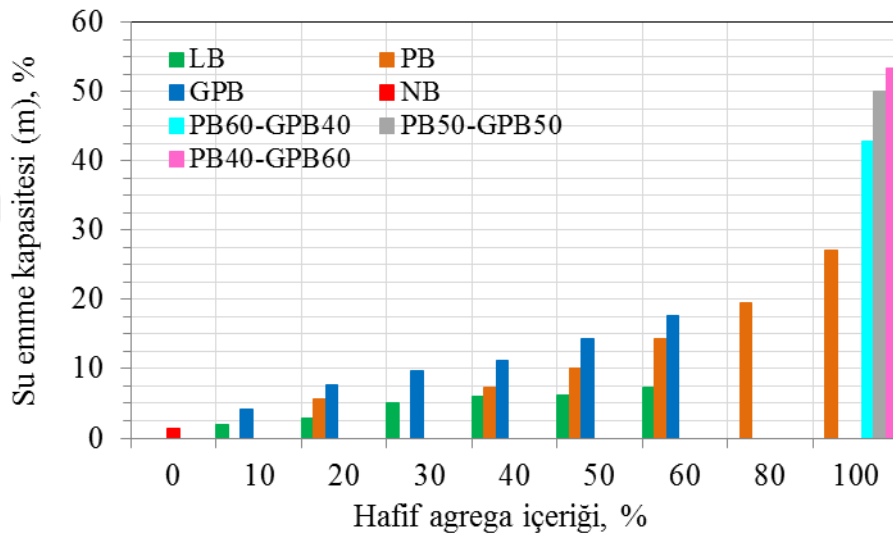
Şekil 10.8. Genleştirilmiş perlit agregası, pomza ve atık lastik agregası içeriğinin betonun kuru yoğunluğu üzerine etkisi.



Şekil 10.9. Genleştirilmiş perlit agregası, pomza ve atık lastik agregası içeriğinin betonun doymuş kuru yüzey yoğunluğu üzerine etkisi.

Şekil 10.10' da beton numunelerin su emme kapasite değerleri verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin su emme kapasiteleri % 1.453 ila % 53.362 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Hafif agregası beton içerisine eklendikçe su emme kapasite değerleri artmış ve doğal olarak betonun yoğunluk değerlerini

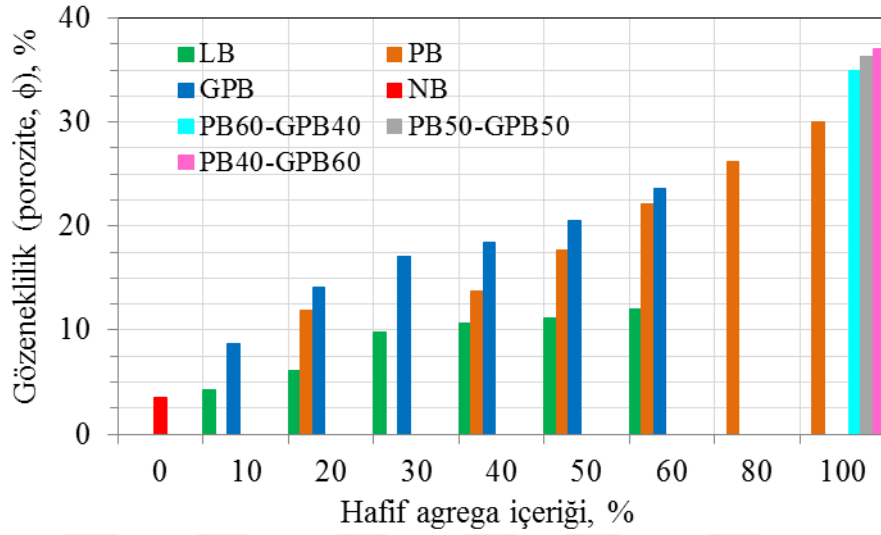
düşürmüştür. En yüksek su emme kapasitesi özellikle geliştirilmiş perlit agregası içeren hafif betonlarda meydana gelmiştir. Çünkü geliştirilmiş perlit, gözenekli ve hafif yapısıyla daha önce de belirtildiği gibi kendi ağırlığının % 230'una kadar su emme kapasitesine sahip olması büyük ölçüde kendisiyle oluşturulan betonun su emme kapasite değerlerini doğrudan etkilemiştir. Aynı şekilde normal kumun pomza agregası ile yer değiştirilmesinde su emme kapasite değerlerinin büyük ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan betonda atık lastik içeriği arttıkça beton içerisindeki boşluklar artmış ve % 60 atık lastik agregası içeren hafif betonun su emme kapasitesi % 10 içeren neredeyse dört kat daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte normal beton numunesi ile %60 geliştirilmiş perlit ve % 40 pomza agregası kullanılarak üretilen beton numunesinin su emme kapasitesinde 36.73 kat fark olduğu gözlemlenmiştir. Bu büyük fark hafif betonun normal betona göre ne kadar çok boşluk içermekte olduğunun doğrudan göstergesidir.



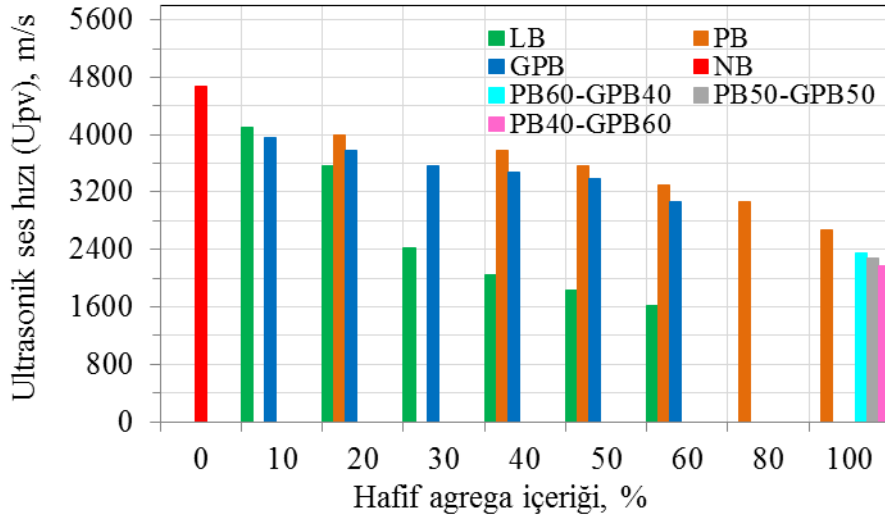
Şekil 10.10. Hafif agregası içeriğinin betonun su emme kapasitesi üzerine etkisi.

Şekil 10.11 ve 10.12'de beton numunelerin 28. gün sonunda gözeneklilik (porozite) ve ultrasonik ses geçiş hızı değerleri verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin gözeneklilikleri % 3.538 ila % 37.009 arasında ve ultrasonik ses geçiş hızı değerleri ise 4672.897 m/s ila 1626.016 m/s arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Agregası bazında sonuçlara baktığımızda; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde geliştirilmiş perlit agregası normal agregası ile yer değiştirdiğinde normal betona göre gözenekliliklerinde % 145.16 ila % 568.91 artma ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde % 15.08 ila % 34.36 arasında azalma; % 10'dan % 60'a kadar artan

değerde atık lastik agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde gözenekliliklerinde % 18.97 ila % 240.68 azalma, ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde % 12.30 ila % 65.20 arasında azalma; % 20'den % 100'e kadar artan değerde pomza agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde gözenekliliklerinde % 237.84 ila % 749.78, ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde % 14.40 ila % 42.78 arasında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 10.11. Hafif agregası içeriğinin betonun gözenekliliği üzerine etkisi.



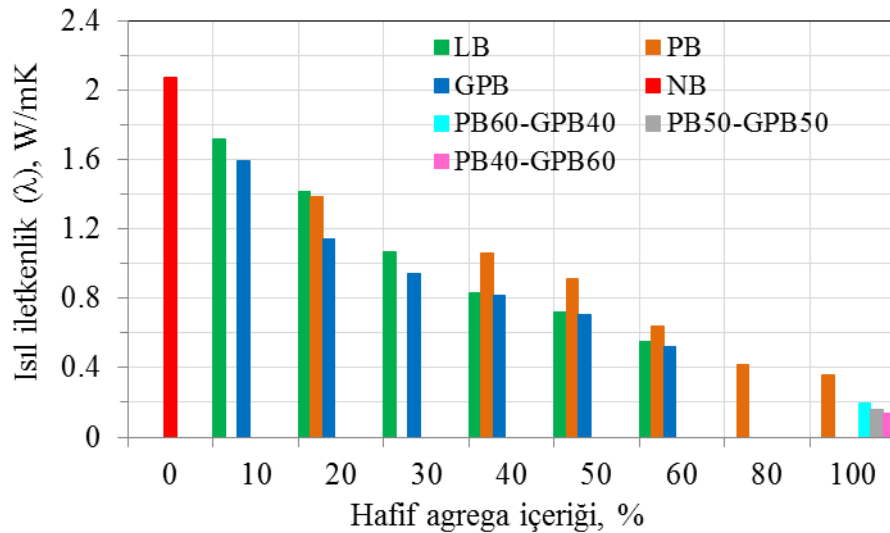
Şekil 10.12. Hafif agregası içeriğinin betonun ultrasonik ses geçiş hızı üzerine etkisi.

PB60-GPB40, PB50-GPB40, PB40-GPB60 hafif betonlarının porozite değerleri normal betona göre sırasıyla % 886.23, % 926.57 ve % 946.10 oranında artış; ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde ise sırasıyla % 49.77, % 51.40 ve % 53.38 oranında düşüşler meydana gelmiştir. Beton içerisinde normal agregaya terine hafif agregası miktarı arttıkça

boşluk artmış ve boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan ultra ses geçiş hızlarında bir azalma meydana gelmiştir. Diğer taraftan geliştirilmiş perlit ve pomza agregasına göre çok yüksek boşluk miktarına sahip olmayan atık lastik agregası içeren hafif betonların ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinin diğer hafif betonlara göre yüksek olması, lastiğin sesi doğrudan soğurduğunun (absorbe ettiğinin) göstergesidir.

10.1.2.2. Isıl özellik test sonuçları

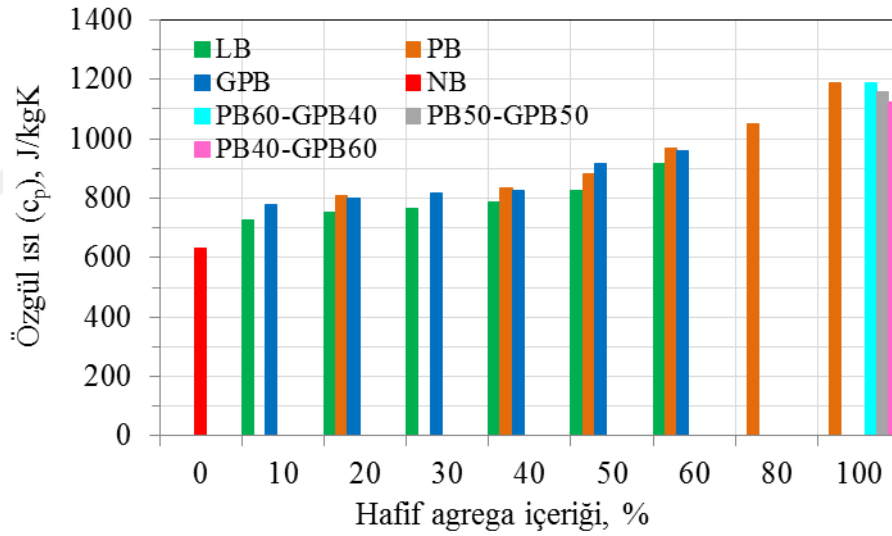
Şekil 10.13' te beton numunelerin 35. gün sonunda ısı iletkenlik ve özgül ısı değerleri verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin ısı iletkenlikleri 2.075 W/mK ila 0.141 W/mK arasında ve özgül ısı değerleri ise 630.57 J/kgK ila 1122.26 J/kgK arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Agregada bazında sonuçlara baktığımızda; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde geliştirilmiş perlit agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde normal betona göre ısı iletkenliklerinde % 23.05 ila % 74.96 azalma, özgül ısı değerlerinde % 23.16 ila % 52.53 arasında artma; % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde atık lastik agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde ısı iletkenliklerinde % 17.11 ila % 73.61 azalma, özgül ısı değerlerinde % 15.44 ila % 45.03 arasında artma; % 20'den % 100'e kadar artan değerlerde pomza agregası normal agregaya ile yer değiştirdiğinde ısı iletkenliklerinde % 33.01 ila % 82.77 azalma, özgül ısı değerlerinde % 28.44 ila % 88.21 arasında artma meydana gelmiştir.



Şekil 10.13. Hafif agregası içeriğinin betonun ısı iletkenliği üzerine etkisi.

PB60-GPB40, PB50-GPB40, PB40-GPB60 hafif betonlarının ısı iletkenlik değerleri normal betona göre sırasıyla % 90.70, % 92.39 ve % 93.23 oranında düşüş;

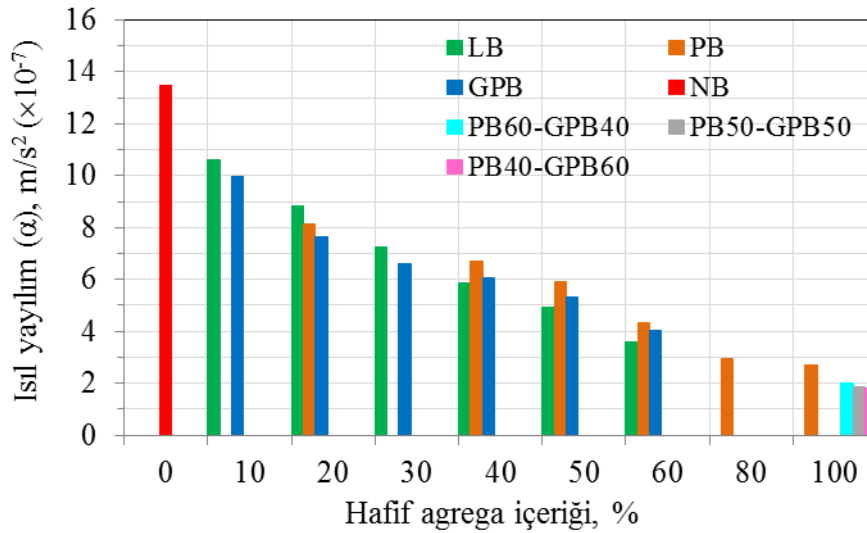
özgül ısı değerlerinde ise sırasıyla % 88.63, % 83.96 ve % 77.97 oranında artışlar meydana gelmiştir. Beton içerisinde normal agregaya yerine hafif agregaya miktarı arttıkça boşluk artmış ve boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan durgun hava miktarı arttığından betonun ısı iletkenlik değerleri azalmıştır. Bununla birlikte lastik agregaya ile üretilen betonlarda atık lastik miktarının artması aynı şekilde ısı iletkenliği azaltmıştır. Bunun ilk sebebi atık lastik agregasının ısı iletkenlik değerinin normal agregadan daha düşük olması diğer sebebi ise beton içerisinde atık lastik miktarının artmasıyla betonun boşluk miktarının artmasıdır. Bununla birlikte beton içerisinde normal agregaya yerine hafif agregaya miktarı arttıkça boşluk artmış ve boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile betonun özgül ısı miktarı artmıştır. Agregaların özgül ısısı yalnızca beton içerisindeki boşluğa değil aynı zamanda agregaya türüne de bağlıdır. Pomza agregası içeriğinin artmasıyla oluşturulan numunelerin özgül ısı değerleri diğer hafif agregalı betonlara göre daha fazla arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 10.14).



Şekil 10.14. Hafif agregaya içeriğinin betonun özgül ısısı üzerine etkisi.

Isıl yayılım hızı (α), bir malzemenin ısı iletkenliğinin yoğunluk ve özgül ısısının çarpımına, yani kısaca yoğunluğun ısı kapasiteye oranıdır. Bununla birlikte, genel anlamda hafif beton malzemeleri karşılaştırıldığında ısı yayılım ile ısı iletkenlik değerleri neredeyse doğrudan orantılı olduğu görülür. Bu çıkarımın Şekil 10.15'te görüldüğü gibi doğru olduğu kanısına varılmıştır ki ısı yayılımının ve ısı iletkenlik değerleri birbirine yakın oranda değişmiştir. Genleştirilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregaya oranının beton içerisinde artmasıyla gözeneklilik artmış bu ise ısı yayılımı azaltmıştır. Hacimce % 10'dan % 60'a kadar artan değerlerde genleştirilmiş perlit

agregası, pomza agregası ve atık lastik agregası normal agrega yerine ikame edildiğinde ısı yayılım değerlerinde sırasıyla % 26.37 ila % 70.24, % 21.41 ila % 73.30 ve % 39.75 ila % 79.96 arasında azalma meydana gelmiştir. PB60-GPB40, PB50-GPB40, PB40-GPB60 hafif betonlarının ısı yayılım değerlerinde ise normal betona göre sırasıyla % 85.29, % 86.12 ve % 88.65 oranında düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 10.15. Hafif agregası içeriğinin betonun ısı yayılımı üzerine etkisi.

10.2. Agregası Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri

Bu kısımda üretilen agregası esaslı yalıtım malzemelerinin mekanik, ısı ve mikro yapı özellikleri; malzemelere uygulanan testler ile tespit edilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerinden basınç dayanım, üç nokta eğme dayanımı, yığınsal yoğunluk, su emme oranı, şekilce bozulma-büzülme (rötre), ultrasonik ses hızı testleri mekanik özellikler olarak; ısı iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılım testleri ise ısı özellikler olarak; rötre, ateşe karşı dirençlilik; XRD, SEM, FDR, porozite ve özgül (BET) yüzey karakterizasyon testleri olarak tanımlanmış olup bazı test sonuçları Çizelge 10.2'de gösterilmiştir. Testler yapılırken dayanım testleri hava-kuru numuneler üzerinde, ısı ve ses özellikleri su neminin deney sonuçlarını etkilememesi için etüv kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 10.2. Üretilen yalıtım malzemelerinin termofiziksel ve mekanik özellikleri

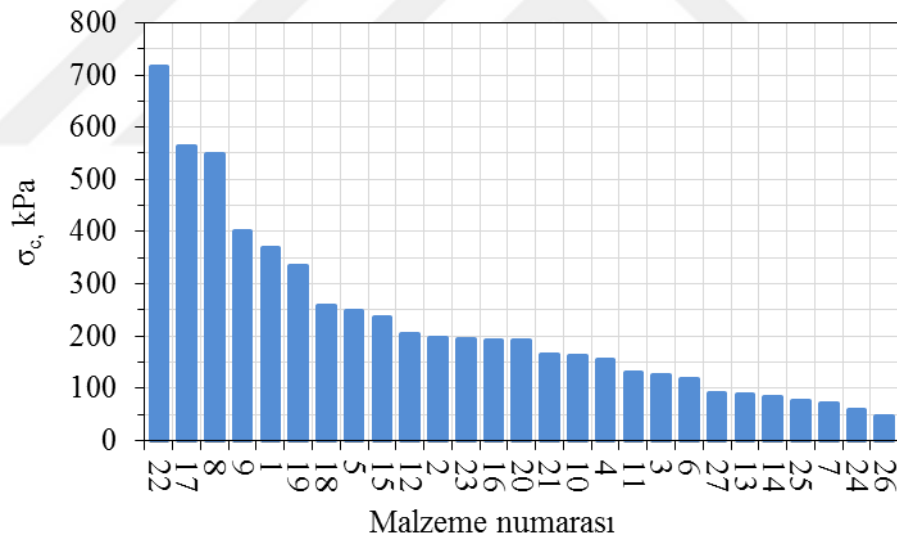
Malzeme	σ_c (kPa)	σ_m (kPa)	m (%)	ρ_k (kg/m ³)	λ (W/m.K)	c_p (J/kg.K)	α (m ² /s)	Upv (m/s)
YM1	369.862	489.895	140.43	291.83	0.0767	1269.57	2.07×10^{-7}	963.04
YM2	197.184	215.512	307.36	159.65	0.0531	1576.36	2.11×10^{-7}	734.63
YM3	124.760	158.051	83.30	185.90	0.0523	1400.39	2.01×10^{-7}	698.15
YM4	155.787	250.242	239.11	211.43	0.0615	1581.30	1.84×10^{-7}	746.38
YM5	247.434	671.453	60.09	283.68	0.0741	1397.70	1.87×10^{-7}	936.33
YM6	118.346	196.382	255.94	198.47	0.0590	1583.78	1.88×10^{-7}	687.72
YM7	72.194	56.402	237.40	181.06	0.0549	1725.03	1.76×10^{-7}	453.93
YM8	549.831	616.252	152.93	304.32	0.0780	1493.49	1.72×10^{-7}	1074.56
YM9	401.453	208.806	161.56	277.20	0.0707	1388.89	1.84×10^{-7}	894.45
YM10	162.422	224.097	223.04	222.33	0.0612	1412.32	1.95×10^{-7}	666.99
YM11	130.215	143.086	37.45	228.81	0.0608	1665.14	1.60×10^{-7}	747.73
YM12	203.566	276.431	57.35	303.10	0.0762	1850.87	1.36×10^{-7}	717.36
YM13	88.844	53.790	263.79	201.41	0.0570	1737.75	1.63×10^{-7}	565.17
YM14	83.774	97.806	259.95	214.83	0.0584	1186.99	2.29×10^{-7}	632.14
YM15	236.067	249.960	233.27	214.57	0.0623	1792.73	1.62×10^{-7}	895.80
YM16	191.884	168.993	232.20	210.40	0.0584	1577.95	1.76×10^{-7}	811.69
YM17	562.975	438.506	135.77	332.45	0.0877	1441.82	1.83×10^{-7}	1180.64
YM18	258.053	245.371	274.95	190.80	0.0573	1530.40	1.96×10^{-7}	848.18
YM19	334.414	260.478	137.84	312.18	0.0740	1379.88	1.72×10^{-7}	900.10
YM20	190.858	209.723	252.69	229.86	0.0670	1660.77	1.76×10^{-7}	912.36
YM21	166.095	202.805	263.41	200.80	0.0608	1801.13	1.68×10^{-7}	849.73
YM22	716.877	90.497	162.74	316.22	0.0804	1781.99	1.43×10^{-7}	1092.34
YM23	193.354	327.891	80.12	224.41	0.0620	1793.59	1.54×10^{-7}	645.99
YM24	58.659	69.037	394.35	126.05	0.0469	1343.38	2.77×10^{-7}	439.44
YM25	75.598	97.909	95.79	167.04	0.0528	1544.54	2.05×10^{-7}	412.77
YM26	47.228	70.096	319.40	150.49	0.0506	1388.80	2.42×10^{-7}	426.72
YM27	92.237	125.580	53.95	162.92	0.0560	1802.52	1.91×10^{-7}	544.96

10.2.1. Mekanik özellik test sonuçları

Üretilen numuneler üzerinde yapılan basınç ve üç nokta eğme dayanımı sonuçlarına göre, test edilen numunelerin basınç dayanımları 47.228 kPa ila 716.877 kPa arasında ve üç nokta eğme dayanımları ise 53.790 kPa ila 671.453 kPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Perlit esaslı yalıtım malzemelerinde basınç dayanımına etki eden parametreler en çoktan en aza doğru şunlar olduğu tespit edilmiştir: yoğunluk ve buna bağlı olarak sıkıştırma oranı, karışımda kullanılan perlitin birim hacimdeki gevşek ağırlığı ve kullanılma yüzdesi, yapıştırıcı/agrega oranı, karışımda kullanılan su ve yapıştırıcı miktarı, yapıştırıcı cinsi, kütleme sıcaklığı ve süresi, karışımda silikon olup olmama durumu, diğer katkıların miktarı, kullanılan dolgu ve sertleştirme ajanının

miktarı ve cinsi, köpürtücü ajanı kullanılıp kullanılmadığı, perlit/fiber oranı, ve son olarak kullanılan fiber cinsidir.

Şekil 10.16'da 1 ila 9 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek basınç dayanımına sahip olan malzeme 549.831 kPa ile YM8 malzemesi, en düşük basınç dayanımına sahip olan malzeme ise 72.194 kPa ile YM7 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Burada YM7 ile YM8 birbirine yakın sıkıştırma oranına sahip iken ($S_{YM7}=1.9$, $S_{YM8}=1.8$) YM8'de kullanılan karma perlit agregası yalıtım malzemesinin yoğunluğunu artırarak dayanımı arttırmıştır. YM7 malzemesinde kullanılan düşük yapıştırıcı oranı (yapıştırıcı/agrega=0.67) ve kullanılan potasyum ve lityum silikat malzemenin dayanımının düşmesinde etkili olmuştur. Genel olarak ince perlit ile potasyum ve lityum silikat kullanımı karma perlit agregası ve sodyum silikat yapıştırıcısına göre çok daha pürüzsüz ve düzgün yüzeyle yalıtım malzemesi oluşmasında etkili olmuştur. Bununla birlikte YM7 ile YM13'de kullanılan sertleştirici ajanı alüminyum sülfatın, silika bağlarına zarar verdiği öngörülmektedir.

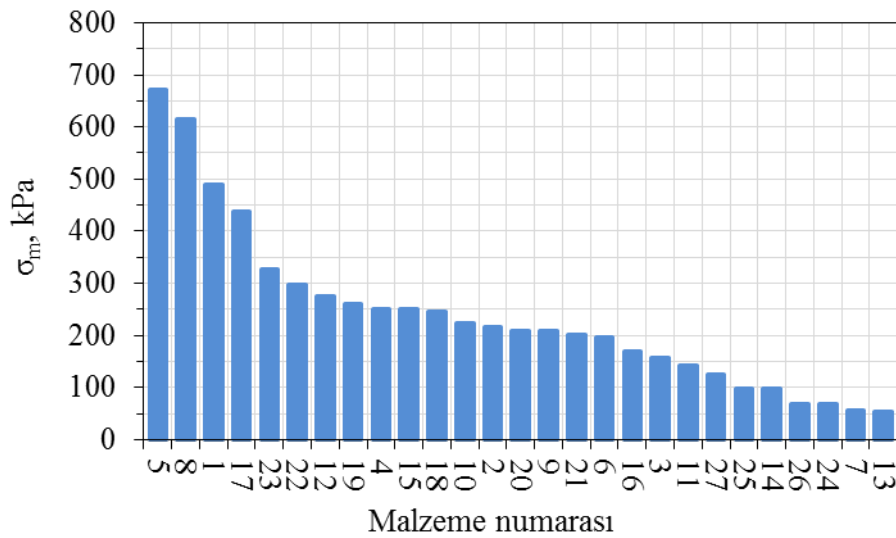


Şekil 10.16. Üretilen yalıtım malzemelerinin basınç dayanımı değerleri

Bununla beraber 10 ila 18 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek basınç dayanımına sahip olan malzeme 562.975 kPa ile YM17 malzemesi, en düşük basınç dayanımına sahip olan malzeme ise 83.774 kPa ile YM14 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Burada YM17 ile YM14 malzemelerinde aynı tip (karma perlit) perlit agregası kullanılmasına rağmen farklı sıkıştırma oranları ($S_{YM17}=1.8$, $S_{YM14}=1.33$) ve dolaylı olarak yoğunluk bu düşüşte etkili olmuştur. YM14'de kullanılan düşük su miktarı ($\eta_s=0,58$) hem dayanımı düşürmüş hem de malzemenin yüzeyinin çok pürüzlü

olmasına sebebiyet vermiştir. Buna karşın YM17'nin yüksek sıcaklıkta (870 °C) kürlenmesi perlitin yumuşama noktası olan 850 °C'yi geçtiğinden silikat ve sodyum hidroksit yapıştırıcılarının birlikte kullanımının yanı sıra bu sıcaklıkta perlit taneciklerinin birbirine yapışması YM17 malzemesinin dayanımını yüksek bir şekilde arttırdığı ön görülmüştür. 19 ila 27 numaralı yalıtım malzemeleri arasında en yüksek basınç dayanımına sahip olan malzeme 716.877 kPa ile YM22 malzemesi, en düşük basınç dayanımına sahip olan malzeme ise 47.228 kPa ile YM26 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. YM26 malzemesinde meydana gelen bu azalma genel olarak çok ince genleştirilmiş perlit agregasının kullanımına bağlı olarak yoğunluğun yüksek miktarda azalması ve gözenekliliğin artmasından kaynaklanmaktadır. Yalıtım malzemelerinde yapı içindeki boşluk miktarı arttıkça basınç dayanımında düşüş meydana gelmektedir.

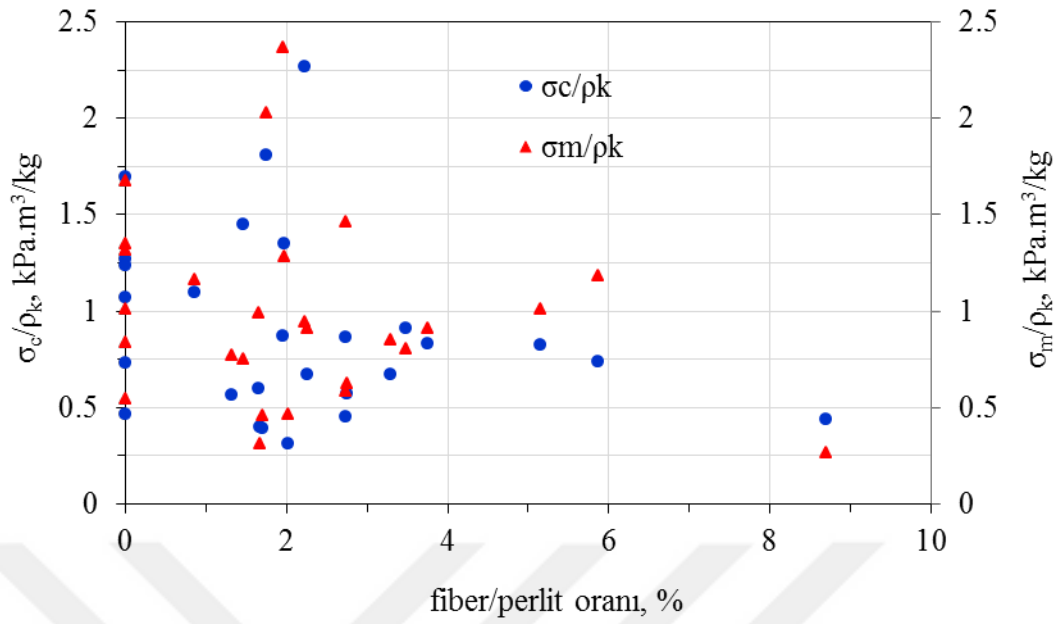
Şekil 10.17'de 1 ila 9 numaralı yalıtım malzemeleri arasında en yüksek eğme dayanımına sahip olan malzeme 671.453 kPa ile YM5 malzemesi, en düşük basınç dayanımına sahip olan malzeme ise 56.402 kPa ile YM7 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Burada YM7 ile YM5 birbirine yakın sıkıştırma oranına sahip iken ($S_{YM7}=1.9$, $S_{YM5}=1.8$) YM5'de kullanılan karma perlit agregası yalıtım malzemesinin yoğunluğunu artırarak dayanımı arttırmıştır. Diğer taraftan YM5 yalıtım malzemesinde kullanılan sodyum karboksimetil selüloz ve sodyum trifosfatın birlikte kullanımı bu malzemenin eğme dayanımını yüksek miktarda arttırmıştır. YM7'de kullanılan sertleştirici ajanı alüminyum sülfatın silikat bağlarına zarar vererek eğme dayanımını düşürdüğü ön görülmektedir.



Şekil 10.17. Üretilen yalıtım malzemelerinin eğme dayanımı değerleri

Diğer taraftan, 10 ila 18 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek eğme dayanımına sahip olan malzeme 438.506 kPa ile YM17 malzemesi, en eğme basınç dayanımına sahip olan malzeme ise 53.790 kPa ile YM13 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Burada YM17 ile YM13 birbirine yakın sıkıştırma oranına sahip iken ($S_{YM13}=2.0$, $S_{YM17}=1.8$) YM17’de kullanılan karma perlit agregası yalıtım malzemesinin yoğunluğunu arttırarak dayanımı arttırmıştır YM13’te kullanılan sertleştirici ajanı alüminyum sülfatın silikat bağlarına zarar vererek eğme dayanımını düşürdüğü ön görülmektedir. 19 ila 27 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek eğme dayanımına sahip olan malzeme 327.891 kPa ile YM23 malzemesi, en düşük eğme dayanımına sahip olan malzeme ise 69.037 kPa ile YM24 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. YM24 malzemesinde meydana gelen bu azalma genel olarak sıkıştırma oranı ile çok ince genleştirilmiş perlit agregasının kullanımına bağlı olarak yoğunluğun yüksek miktarda azalması ve gözenekliliğin artmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşın YM23 malzemesinin yoğunluğunun diğer yalıtım malzemelerine nazaran daha düşük olmasına rağmen YM23’ün daha yüksek eğme dayanımına sahip olmasını atık lastik agregaların yalıtım malzemesinin içerisine eklenmesinden kaynaklandığı ön görülmüştür. Atık lastik, malzeme içerisinde fiber etkisi yaparak numunenin ikiye ayrılmasına engel olmakta ve numuneyi birbirine tutmaktadır. Bununla birlikte bileşimine kolemanit, borik asit ve kolemanit gibi bor kaynaklı ürünlerin katkı olarak kullanıldığı yalıtım malzemelerinin (YM5, YM11, YM18, YM23 vb.) yüksek basınç ve eğme dayanımına sahip oldukları tespit edilmiştir.

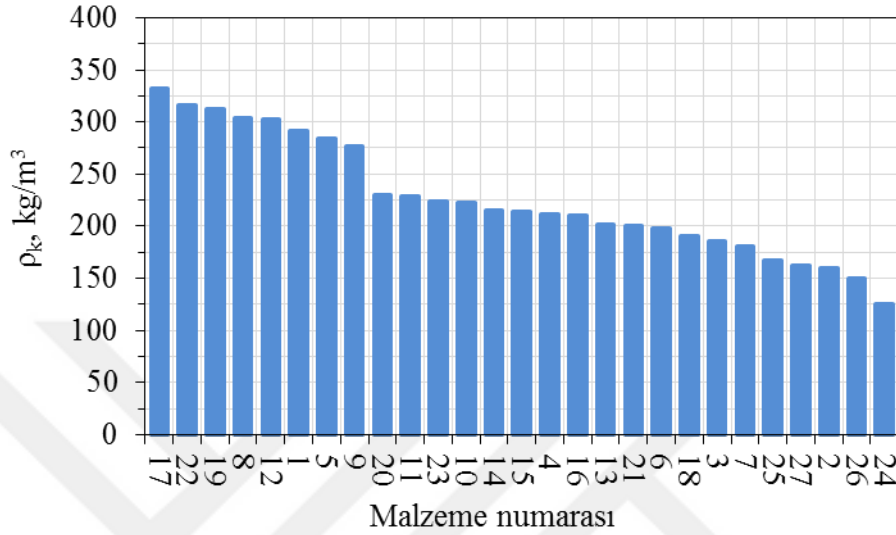
Şimdiye kadar agrega esaslı yalıtım malzemelerinde genleştirilmiş perlit, sıkıştırma oranı ile diğer katkıların dayanımlara etkileri incelenmişti. Bu kısımda ise yalıtım malzemelerine ilave edilen fiber ve oranlarının hem basınç hem de eğme dayanımlarına etkisi Şekil 10.18 ‘de gözlemlenmiştir. Üretilen numunelerde perlitin birim hacimdeki gevşek yoğunluğunun doğrudan dayanımlara etkisi baskın olduğundan hem basınç dayanımının hem de eğme dayanımının birim yoğunluktaki değerler incelenmiştir. Şekil 10.18’de görüldüğü gibi farklı fiber katkıların yalıtım malzemelerinin dayanımında çok büyük bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. En uygun fiber/perlit oranı 1.96 ila 2.22 arasında olduğu gözlemlenmiştir. Yalıtım malzemesi içerisinde optimum orandan daha fazla fiberin kullanımının dayanımları olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte fiberleri kendi arasında karşılaştırdığımızda özellikle bazalt fiberin eğme dayanımda etkisinin baskın olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır.



Şekil 10.18. Fiper/perlit oranının yalıtım malzemesinin dayanım/yoğunluk oranına etkisi

Üretilen numuneler üzerinde yapılan kuru yoğunluk testleri neticesinde, kuru yoğunluk değerleri 126.050 kg/m^3 ile 332.450 kg/m^3 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu azalma genel olarak kullanılan genişletilmiş perlit agregasının birim hacimdeki gevşek ağırlığına ve sıkıştırma oranına bağlı olarak gözenekliliğin artmasından kaynaklanmaktadır. Yalıtım malzemelerinde yapı içindeki boşluk miktarı arttıkça malzeme yoğunluklarında düşüş meydana gelmektedir. Şekil 10.19'da 1 ile 9 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek kuru yoğunluğa sahip olan malzeme 304.32 kg/m^3 ile YM8 malzemesi, en düşük kuru yoğunluğa sahip olan malzeme ise 159.65 kg/m^3 ile YM2 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Burada YM2 ile YM8 aynı sıkıştırma oranına sahip iken ($S_{YM8}=1.8$, $S_{YM2}=1.8$) YM8'de kullanılan karma perlit agregası yalıtım malzemesinin yoğunluğunu arttırmıştır. Şekil 10.19'da 10 ile 18 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek kuru yoğunluğa sahip olan malzeme 332.45 kg/m^3 ile YM17 malzemesi, en düşük kuru yoğunluğa sahip olan malzeme ise 190.80 kg/m^3 ile YM18 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Burada YM17 ile YM18 birbirine yakın sıkıştırma oranına sahip iken ($S_{YM18}=1.9$, $S_{YM17}=1.8$) YM17'de kullanılan karma perlit agregası yalıtım malzemesinin yoğunluğunu arttırmıştır. Şekil 10.19'da 19 ile 27 numaralı yalıtım malzemeleri arasından en yüksek kuru yoğunluğa sahip olan malzeme 316.22 kg/m^3 ile YM22 malzemesi, en düşük kuru yoğunluğa sahip olan malzeme ise 126.050 kg/m^3 ile YM24 malzemesi olduğu tespit edilmiştir. YM24

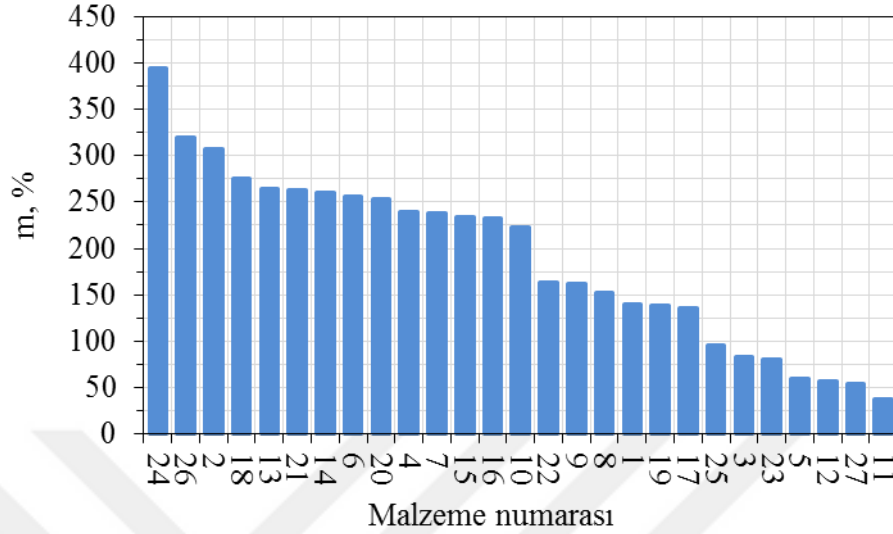
malzemesinin yoğunluğunda meydana gelen bu azalma genel olarak çok ince genişletilmiş perlit agregasının kullanımına ve sıkıştırma oranına bağlı olarak yoğunluğun yüksek miktarda azalması ve gözenekliliğin artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 10.19. Üretilen yalıtım malzemelerinin yoğunluğunun değişimi

Şekil 10.20, etüvde kurutulmuş yalıtım malzemelerinin 48 saat su içerisinde bekletildikten sonraki su emme kapasiteleri verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin su emme kapasiteleri % 34.448 ila % 394.353 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Perlit esaslı yalıtım malzemelerinde genel olarak, sıkıştırma oranına, silikon kullanımına, kullanılan genişletilmiş perlit agregasının ve yapıştırıcının miktarına ve cinsine bağlı olarak su emme kapasite miktarları değişmiştir. Karışımda kullanılan yapıştırıcının türü, miktarı, kullanılan dolgu malzemeleri ve ajanların malzemelerin su emme kapasitesine etkisi olsa da numune içerisinde genişletilmiş perlit agregasının kullanımı ve miktarı kadar etkili olamamıştır. Yüksek hidrofilik özelliği gösteren genişletilmiş perlit agregası gözenekli ve hafif yapısıyla daha önce de belirtildiği gibi kendi ağırlığının % 230'una kadar su emme kapasitesine sahip olması, büyük ölçüde kendisiyle oluşturulan yalıtım malzemesinin su emme kapasite değerlerini doğrudan etkilemiştir. Bununla birlikte düşük sıkıştırma oranıyla ve daha düşük birim hacimde gevşek ağırlığa sahip olan genişletilmiş perlit agregasının kullanımıyla üretilen yalıtım malzemelerinde daha yüksek gözenekler oluşmakta ve bu boşluklara su dolmaktadır. Bu boşlukların yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olan su ile dolması yalıtım özelliğini kötü bir şekilde etkilemektedir. Bu yüzden perlit agregası ile üretilen

numunelerin su yalıtımının sağlanması öncelikle gerçekleştirilmesi gereken bir durum olarak ortaya çıkmıştır.

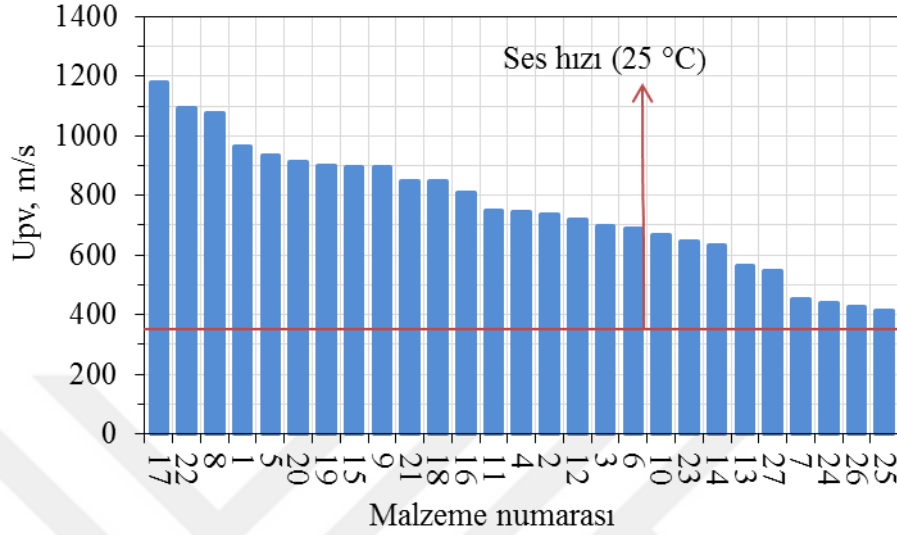


Şekil 10.20. Üretilen yalıtım malzemelerinin yüzde su emme kapasite değerleri

Genel olarak magnezyum karbonat, magnezyum oksit ve çinko oksit gibi ajanların perlit agregası ile oluşturulan yalıtım malzemelerinde su itici özelliği gösterdiği bilinmektedir. Yüksek sıcaklıkta kürlenmiş çinko oksit karışımı malzemeler (YM17 ve YM19) su itici özelliği kazandığı daha önce belirtilmiştir. Perlit agregası ile üretilen numunelerde sodyum silikat yerine potasyum ve lityum silikat kullanımı da su emme özelliğini azaltmıştır (YM9). Çalışma sonucunda su yalıtımının sağlanmasında etkili yöntemin silikon kullanımı olduğu tespit edilmiş olup en düşük su emme kapasitesi %37.448 ile YM11’de gözlemlenmiştir. En yüksek su emme kapasitesi çok ince perlit agrega ile üretilen YM24 malzemesinde % 394.353 olarak tespit edilmiş olup bu oran YM11 malzemesinin su emme kapasitesinin 10.5 katıdır.

Şekil 10.21’de perlit esaslı yalıtım malzemelerinin ultrasonik ses geçiş hızı değerleri gösterilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinin 412.77 m/s ile 1180.638 m/s arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Malzeme içerisinde boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan ultra ses geçiş hızlarında bir azalma meydana gelmiştir. Çünkü hava hem ısı hem de ses yalıtkanı olup, sesin havadaki hızı 25 °C’de yaklaşık 346 m/s’ dir. Malzeme içerisinde oluşan boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması sonucunda artan hava miktarı, numunelerden geçen ses hızını düşürmekte ve ses izolasyonu sağlamaktadır.

Şekil incelendiğinde birim hacimde yüksek gevşek ağırlığa sahip olana karma perlit agregalarının kullanılmasıyla üretilen numunelerin ultrasonik geçiş hızları, basınç dayanımlarına paralel olarak yüksek olduğu görülmüştür.

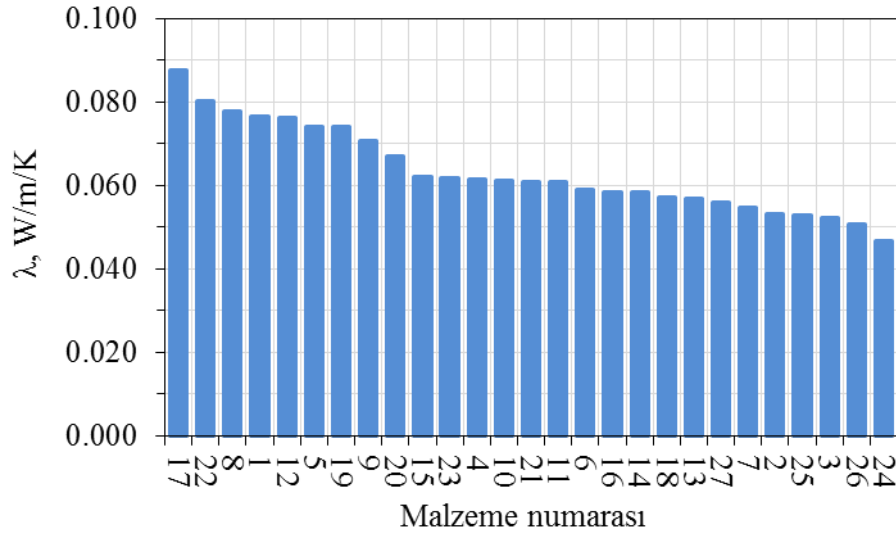


Şekil 10.21. Üretilen yalıtım malzemelerinin ultrasonik geçiş hızı değerleri

YM7, YM24, YM25, YM26 VE YM27 numunelerinin ultrasonik ses geçiş hızları 550 m/s 'den daha az olduğu görülmüştür. En az yığinsal yoğunluğu sahip olan YM24 malzemesinde doğal olarak en yüksek gözeneklilik beklenmekte ve bu ise doğrudan ses hızını etkileyeceğinden en düşük ses hızı bu malzemede elde edileceği tahmin edilmişti. Fakat test sonuçları YM24 ($U_{pv}=439.4$ m/s) ve YM25 ($U_{pv}=412.8$ m/s) malzemelerinin YM24'den daha düşük, YM7 ($U_{pv}=453.9$ m/s) ve YM26 ($U_{pv}=426.7$ m/s) malzemelerinin ise YM24'e nazaran daha yüksek yoğunluğa sahip olmalarına rağmen YM24'e yakın ses geçiş hızları tespit edilmiştir. Buradan bazı kimyasal malzeme bileşimlerinin gözeneklilik çapı ve dağılımını değiştirdiği ve bunun ise daha düşük ses geçiş hızlarının sağlanmasında yardımcı olduğu tahmin edilmektedir. Yukarıda bahsedilen farklı 5 yalıtım malzemesinin kimyasal içeriğine baktığımızda (YM7, YM24, YM25, YM26 ve YM27) bunlarda ortak olarak bor malzemesi (borik asit, sodyum tetraborat) ve kalsiyum klorürün kullanıldığı görülmüştür. Sonuç olarak yüksek ses yalıtımının sağlanmasında bu katkıların yardımcı olduğu tespit edilmiştir.

10.2.2. Isıl özellik test sonuçları

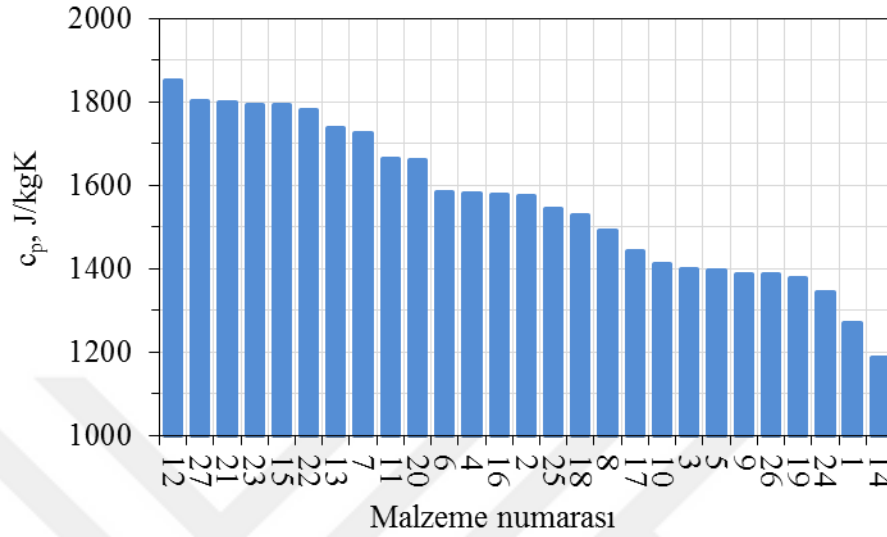
Şekil 10.22’de yalıtım numunelerin etüv kurusu halinde ısı iletkenlik ve Şekil 10.23’te ise özgül ısı değerleri verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin ısı iletkenlikleri 0.0469 W/mK ila 0.0877 W/mK arasında ve özgül ısı değerleri ise 1186.99 J/kgK ila 1850.87 J/kgK arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Perlit esaslı yalıtım malzemelerinde ısı iletkenliğe etki eden parametreler en çoktan en aza doğru şunlar olduğu tespit edilmiştir: malzeme yoğunluğu ve buna bağlı olarak sıkıştırma oranı, karışımda kullanılan perlitin birim hacimdeki gevşek ağırlığı ve kullanılma yüzdesi, yapıştırıcı/agrega oranı, karışımda kullanılan su ve yapıştırıcı miktarı, yapıştırıcı cinsi, kütleme sıcaklığı ve süresi, karışımda silikon olup olmama durumu, diğer katkıların miktarı, kullanılan dolgu ve sertleştirme ajanının miktarı ve cinsi, köpürtücü ajanı kullanılıp kullanılmadığı, opaklaştırıcı kullanılıp kullanılmadığı, perlit/fiber oranı, ve son olarak kullanılan fiber cinsidir. Bununla birlikte yalıtım malzemesi içerisindeki boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan durgun hava miktarı arttığından yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerini azalmıştır. Bu azalma genel olarak genişletilmiş perlit agregasının kullanımına bağlı olarak yoğunluk azalmaları ile orantılıdır. Perlit agregasının gevşek ağırlığı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak yoğunluğun artması ile ısı iletkenlik artmış, yoğunluğun azalması ile birlikte ise ısı iletkenlik azalmıştır. En yüksek yoğunluğa sahip olan YM17 (332.45 kg/m^3) 0.0877 W/mK ile en yüksek ısı iletkenlik katsayısına, en az yoğunluğa sahip YM24 ise 0.0469 W/mK ile en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte ışınım engelleyici katkısı olarak kullandığımız opaklaştırıcılar (kromyum (III) oksit) diğer malzemelere nazaran aynı yoğunlukta daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip oldukları tespit edilmiştir. Fakat YM3 ve YM13 malzemelerinde kullanılan bu katkılar sodyum silikatın bağ yapısını zayıflatarak malzeme dayanımını azaltmıştır.



Şekil 10.22. Üretilen yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değeri

Özgül ısı malzemelerin ısı depolama özelliği açısından etken bir parametredir. Malzeme ısıyı ne kadar iyi hapsederse o kadar yalıtım özelliği yüksektir. Literatür çalışmalarına baktığımızda genel olarak yoğunluğun azalması ve dolayısıyla malzeme içerisinde boşluk miktarı arttıkça özgül ısı arttığı, bu yüzden özgül ısı ile yoğunluk arasında ters orantı olduğu bildirilmiştir. Ürettiğimiz malzemelerin özgül ısı ve yoğunluk değerlerini karşılaştırdığımızda yoğunluğun etken olduğu fakat doğrudan özgül ısıyı tek başına etkilemediği tespit edilmiştir (Şekil 10.23). Bunun en tipik örneği YM12'nin yüksek yoğunluğuna (303.10 kg/m^3) rağmen özgül ısı (1850.87 J/kgK), onadan düşük yoğunluğa (214.83 kg/m^3) sahip YM14 malzemesinin özgül ısısından (1186.99 J/kgK) çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu bize perlit esaslı yalıtım malzemelerine etki eden kimyasal ve mineral katkıların özgül ısı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Daha önce açıkladığımız gibi bazı inorganik katkılar yüksek sıcaklıkta parçalanarak ısıyı absorbe etmektedirler. Bunlara örnek olarak: kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat, çinko karbonat, kadmiyum karbonat, sodyum nitrat, kurşun nitrat, alüminyum sülfat, amonyum fosfat, amonyum karbonat ve amonyum sülfat verilebilmektedir. Yalıtım malzemelerinin özgül ısı ile karışım malzeme ve oranlarını incelediğimizde, en yüksek özgül ısının yukarıdaki bilgiye paralel olarak magnezyum karbonat, magnezyum oksit ve alüminyum sülfat katkılı yalıtım malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek özgül ısıya sahip olan YM12 malzemesine en yüksek oranda (%5) magnezyum karbonat katkısının ilave edildiği görülmüştür. Tüm özgül ısı sonuçlarını incelediğimizde ise kimyasal katkı maddesi olarak başta magnezyum karbonat, magnezyum oksit ve alüminyum sülfat

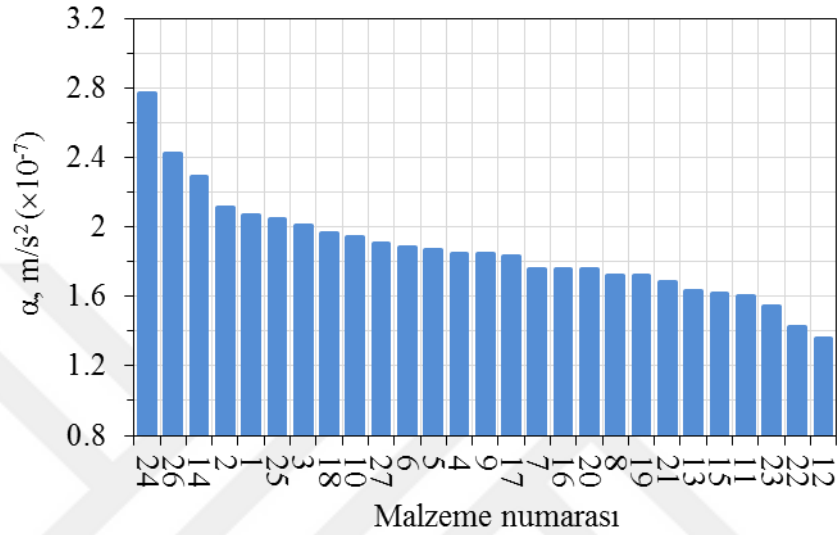
katkılarının, agregata katkısı olarak pomza ve atık lastik katkılarının, mineral katkıları olarak pul mika katkılarının ve son olarak sodyum tetraborat ve kolemanit gibi bor türevi katkılarının yalıtım malzemelerinin özgül ısılarını arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 10.23. Üretilen yalıtım malzemelerinin özgül ısı değerleri

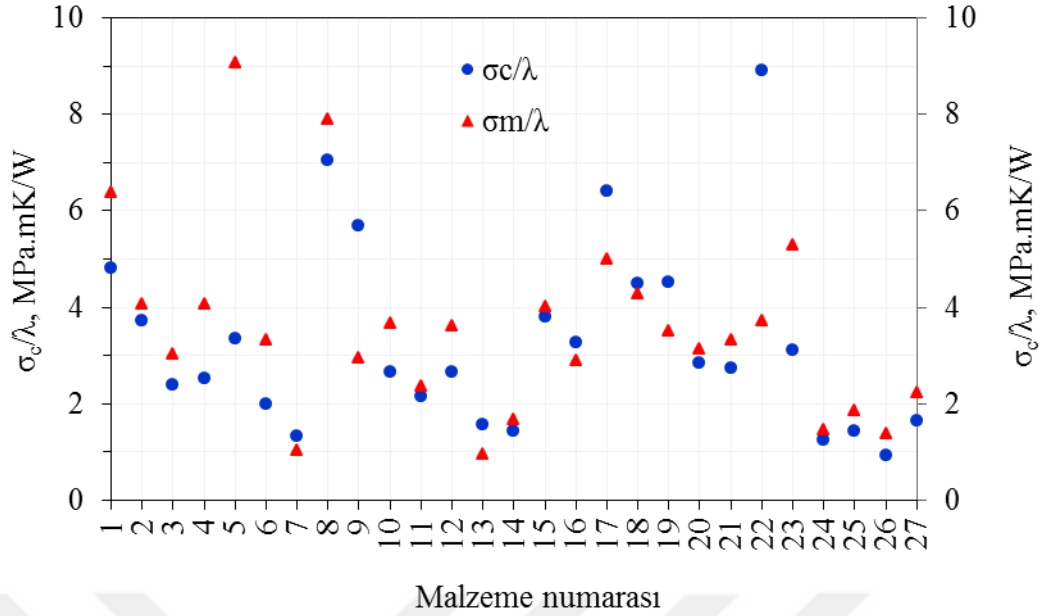
Isıl yayılım hızı, bir malzemenin ısı iletkenliğinin o malzemenin yoğunluk ve özgül ısısının çarpımına (ısı kapasite) bölünmesiyle hesaplanır. Yüksek ısı kapasite ve düşük ısı iletkenlik özelliğine sahip olana malzemeler düşük ısı yayılım değerlerine sahiptirler. Şekil 10.24'te yalıtım numunelerinin ısı yayılım hızları $1.36 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $2.11 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ değiştiği gözlemlenmiştir. Bu artış ve azalmalar genel olarak genişletilmiş perlit agregasının gevşek ağırlığına, sıkıştırma oranına ve kullanılan katkı cinsi ve miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Yüksek ısı kapasitesine sahip olan YM12 ($\rho c_p = 5.61 \times 10^5 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$, $\alpha = 1.36 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) ve YM22 ($\rho c_p = 5.64 \times 10^5 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$, $\alpha = 1.43 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) olan yalıtım malzemeleri en düşük ısı yayılım hızlarına sahip olmuşlardır. YM24 malzemesi en düşük ısı iletkenlik katsayısına ($\lambda = 0.0469 \text{ W/mK}$) sahip olmasına rağmen düşük yoğunluğundan dolayı ($\rho = 126.05 \text{ kg/m}^3$) diğer malzemeler arasında en yüksek ısı yayılım hızına ($\alpha = 2.77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) sahip olan malzeme olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada üretilen yalıtım malzemelerinin ısı yayılımlarını günümüzde kullanılan yalıtım malzemeleri ile karşılaştırdığımızda ısı yayılımlarının daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun en büyük sebebi daha öncede belirttiğimiz gibi bu malzemelerin düşük yoğunluklarından dolayı çoğu yapı malzemesinden daha yüksek ısı yayılım hızlarına sahip olmuşlardır. Tablo 8.2

incelendiğinde Türkiye’de en fazla kullanımı olan EPS yalıtım malzemesinin ısı yayılım hızı ($\alpha=14.0 \times 10^{-07} \text{ m}^2/\text{s}$) YM12 malzemesinin ısı yayılım hızından 10.3 kat daha olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ısı yalıtım ise bu tür malzemelerin düşük ısı kütleye sahip olmalarına sebep olmaktadır. Bu durum ısı performans kısmında ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



Şekil 10.24. Üretilen yalıtım malzemelerinin ısı yayılım değerleri

Elde edilen veriler ışığında en uygun dayanıma sahip numunelerin tespit edilebilmesi için Şekil 10.25’te çizilmiştir. Karşılaştırmalarda optimum dayanımda en uygun ısı iletkenlik özelliğine sahip olan malzemelerin belirlenmesi için birim ısı iletkenlik değerlerindeki basınç ve eğme dayanımları gözlemlenmiştir. Birim ısı iletkenlikte en yüksek basınç dayanımının YM22 malzemesinde, en yüksek eğme dayanımının YM5 malzemesinde olduğu görülmüştür. Bununla beraber hem basınç hem de eğme dayanımının YM8 malzemesinde optimum olduğu belirlenmiştir.



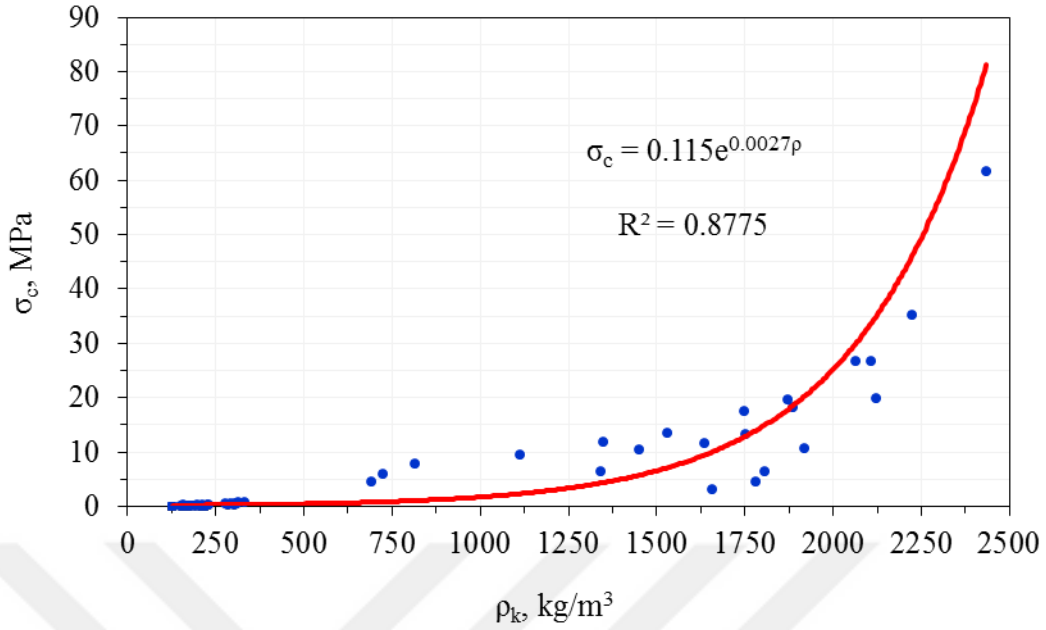
Şekil 10.25. Üretilen numunelerin dayanım/ısı iletkenlik oranları

10.3. Analitik analizler:

Aşağıdaki analizlerin amacı, numunelerde test edilen termofiziksel parametrelerin analitiksel olarak karşılaştırılıp aralarında doğrudan bir ilişki olup olmadığını ortaya çıkarmaktır. İlişkisi incelenecek olan özelliklerin aralığını geniş tutarak tüm yapı elemanlarını kapsayabilmesi için tüm taşıyıcı olan ve olmayan beton numuneleri ile dış cephe yalıtım malzemeleri bu analizde beraber kullanılmıştır. Test edilen özellikler arasındaki olası ilişkileri değerlendirmek için çok değişkenli bir regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizler, Microsoft Excel gibi ücretsiz bir istatistiksel yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bir veri kümesinde regresyon modelinin doğruluğu, çoklu belirleme katsayısı “R”nin karesi hesaplanarak ispat edilir. R^2 ne kadar “1’e” yakınsa o veri kümesine ait en uygun model tespit edilmiş olur. Bu amaçla parametreler arasında en uygun eğri olarak üstel eğri seçilmiş olup şekiller üzerinde “ R^2 ” değerleri formülleriyle beraber gösterilmiştir. Şekil 10.26’da üretilen numunelerin basınç dayanım ve yığinsal yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen denklem, test edilen aralıktaki basınç dayanım (σ_c) değerlerine karşılık gelmekte ve kuru yığinsal yoğunluğunun (ρ) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\sigma_c = 0.115e^{0.0027\rho} \quad (10.1)$$

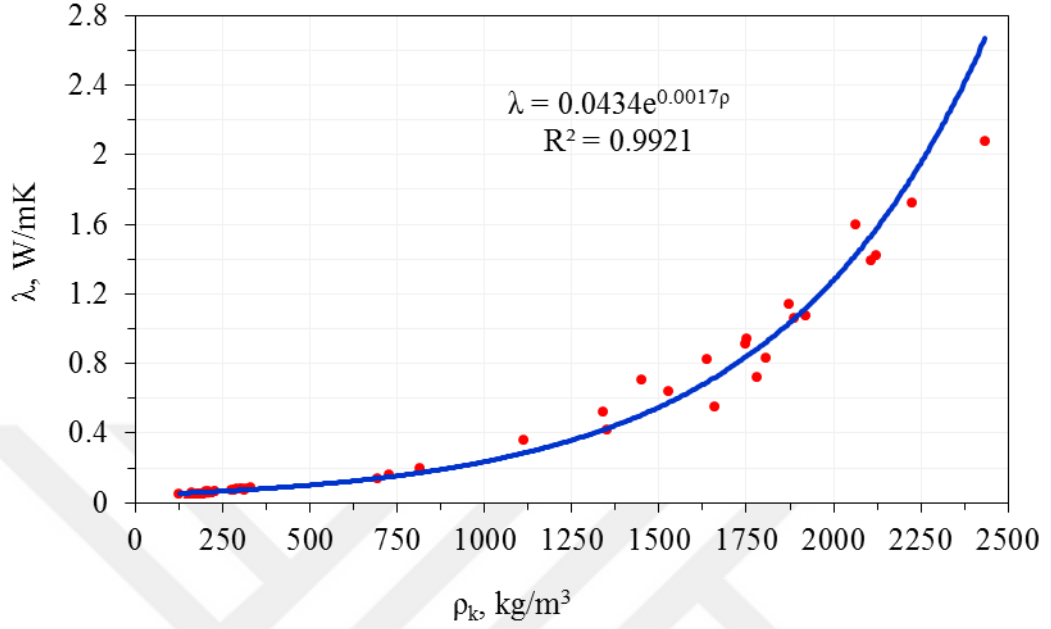


Şekil 10.26. Tüm üretilen numunelerin basınç dayanımı ve yoğunluk arasındaki ilişki

Eş. 8, 0.88'lik R^2 değerlerine sahip numuneler için sonuçların bileşimine dayanarak iyi bir ilişki gösterdiği ispat edilmiştir. Eş. 8, kullanılan numunelerin yığmsal yoğunluğunun test edilen aralık dahilinde olması koşuluyla 28 günlük taşıyıcı veya duvar beton ve agregasız esaslı yalıtım malzemelerinin basınç dayanımlarının tahmininde yararlı olabilir. Bununla birlikte, test edilen aralığın dışına çıkan farklı içerikli malzemeler için bu denklem dikkatle kullanılmalıdır. Diğer taraftan Şekil 10.26 daha ayrıntılı olarak analiz edildiğinde yoğunluktaki azalmalar mukavemette sert düşümlere sebep olmuş eğrinin eğimi 1800 kg/m^3 'ün altındaki yoğunluklarda sert olarak dikeyden yataya hareket etmiştir. Bu şekilde anlaşılabileceği gibi, beton numunelerinde normal agregasız hafif agregasız ile değiştirildiğinde, basınç dayanımı % 40 ikame oranında daha fazla etkilenmektedir.

Hafif agregalar vasıtasıyla beton ve yalıtım malzemelerinin toplam gözenekliliğin artmasıyla yoğunluğundaki azalma ısı iletkenliğinin azalmasıyla ilişkilidir. Şekil 10.27'den, tüm numunelerin etüv kuru yoğunluğunu ısı iletkenlikleri ile ilişkilendirdiğimizde daha önceki bahsettiğimiz durum ortaya çıkmaktadır. Tüm numunelerin yoğunluk ile ısı iletkenlik için eğrileri çizilmiş olup ilişki $R^2 = 0.95$ ile üstel bir eğri ile temsil edilmiştir. Daha sonra aşağıdaki gibi yoğunluğa bağlı bir fonksiyon ile bu ilişki gösterilmiştir:

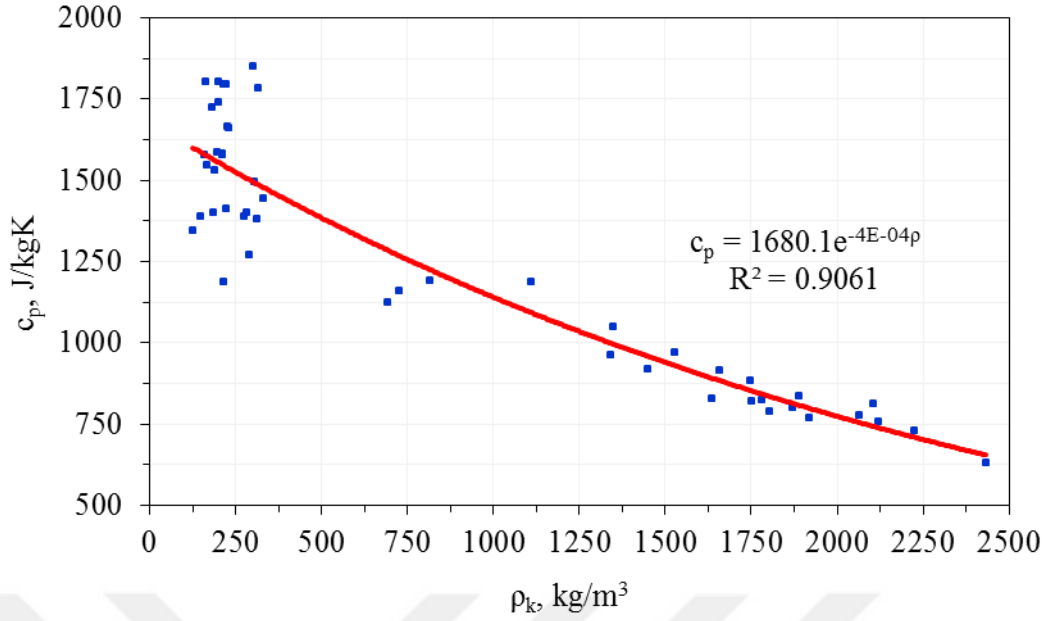
$$\lambda = 0.0434e^{0.0017\rho} \quad (10.2)$$



Şekil 10.27. Tüm üretilen numunelerin ısı iletkenlik ve yoğunluk arasındaki ilişki

Şekil 10.28’de özgül ısı ile yoğunluk arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Buradan anlaşılacağı gibi daha düşük yoğunluğa sahip malzemelerin daha yüksek özgül ısı ve daha yüksek yoğunluklu malzemelerin daha düşük özgül ısıya sahip olduğu gözlemlenebilir. Bu ilişkiyi tanımlayan ifade aşağıda verilmiştir:

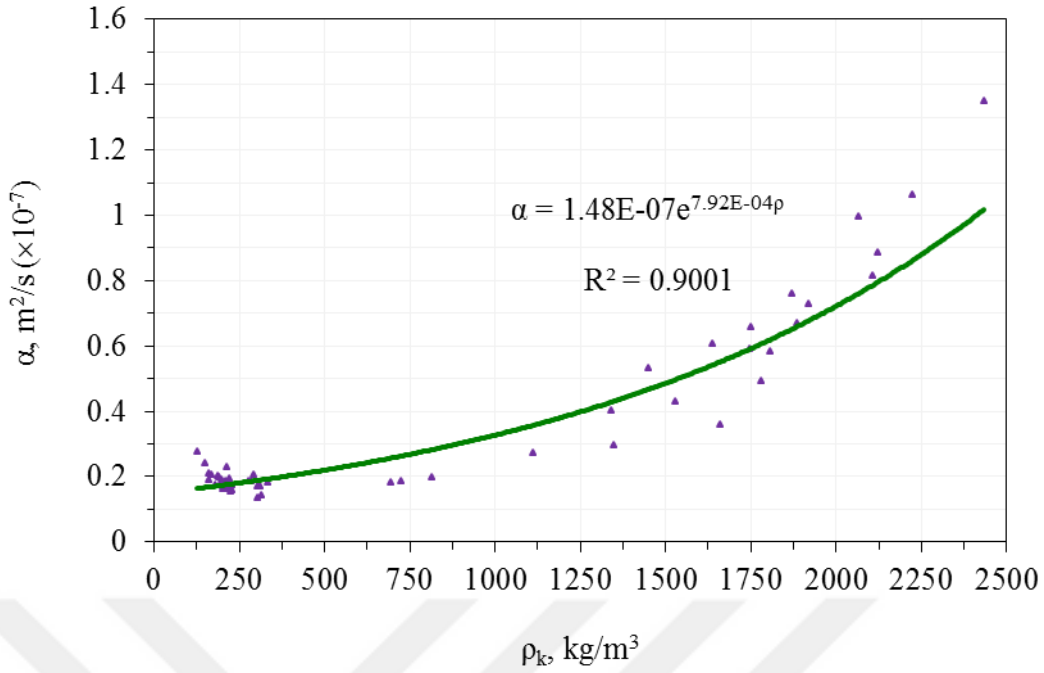
$$c_p = 1680.1e^{-0.0004\rho} \quad (10.3)$$



Şekil 10.28. Tüm üretilen numunelerin özgül ısı ve yoğunluk arasındaki ilişki

Isıl yayılım ve yığinsal yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 10.29'da gösterilmektedir. Buradan, yoğunluğun arttıkça ısı yayılımının arttığı ve ısı yayılım ile yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar için 1.36×10^{-7} ila $1.35 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ aralığındaki malzemelerin ısı yayılım değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte, yığinsal yoğunluk ile ısı yayılım değerlerinin malzemelerin ısı iletkenliği üzerinde büyük bir etkinliğe sahip olduğu bilinmektedir. Eş. 8 numunelerin ısı yayılım değerleri için optimize edilmiş üstel modeli temsil etmektedir ($R^2 = 0.93$):

$$\alpha = 1.48 \times 10^{-7} e^{0.000792\rho} \quad (10.4)$$



Şekil 10.29. Tüm üretilen numunelerin ısı yayılım ve yoğunluk arasındaki ilişki

Bu istatistiksel yaklaşım, beklenildiği gibi yığınsal yoğunluk ve ısı özellikleri arasında çok önemli ilişkiler olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen ifadelerin (denklemlerin) kullanılmasıyla, test edilen aralıklardaki herhangi bir özelliği belli olan yapı malzemelerinin diğer önemli özellikleri kolaylıkla tespit edilebilecektir. Böylece yoğunluk gibi basit, çabuk ve ekonomik bir yöntemle elde edilen bir özelliğin, verilen denklemler kullanılarak diğer bilinmeyen tüm özelliklerin hesaplanması sayesinde zaman ve para israfından tasarruf edilebileceği ön görülmektedir.

10.4. Mantolama malzemelerinin diğer özelliklerinin belirlenmesi:

10.4.1. Boyut küçülme miktarı (Rötire) test sonuçları

Yalıtım levhalarında boyutun sabit kalması önemli bir konudur. Malzemedeki boyut değişimi, farklı sıcaklıklarda ısı genleşme ile oluşabileceği gibi, zamana bağlı olarak malzemenin kendi yapısından veya dış etkenlerden bağımsız olarak da kaynaklanabilir. Bu amaçla üretilen numunelerden en uygun ortalama yoğunluğa sahip olan her bir numunenin rötireleri ASTM C 356 (2017) ve ASTM C610 (2017) standartlarına göre tespit edilmiştir. Her numune 24 saat boyunca 650 °C'lik sıcaklıkta

bekledikten sonra boyut ölçümleri tespit edilerek hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Çizelge 10.3'te paylaşılmıştır.

Çizelge 10.3 Üretilen yalıtım malzemelerinin rötre değerleri

Malzeme	Genişlik değişimi (%)	Uzunluk değişimi (%)	Kalınlık değişimi (%)
YM1	0.25	0.67	-1.48
YM2	0.38	-0.07	2.86
YM3	0.26	-0.17	1.48
YM4	-0.25	-0.40	1.79
YM5	-0.64	-0.10	-0.34
YM6	0.88	-0.34	1.72
YM7	-0.13	0.71	2.00
YM8	-0.77	0.33	1.97
YM9	-0.51	0.10	2.26
YM10	2.03	1.77	6.77
YM11	1.25	1.95	4.83
YM12	0.38	-0.07	-2.50
YM13	0.63	0.31	0.34
YM14	-1.77	-1.47	7.74
YM15	0.25	-0.03	-0.37
YM16	-0.25	-0.27	1.97
YM17	0.99	0.33	2.37
YM18	0.13	0.23	0.34
YM19	0.51	-0.03	-1.69
YM20	1.13	1.30	2.76
YM21	0.38	-0.40	-2.37
YM22	-1.52	0.90	-0.87
YM23	0.88	-0.27	1.85
YM24	0.38	-0.34	-2.14
YM25	0.51	-0.22	-1.07
YM26	-0.35	-0.84	1.18
YM27	-1.02	-0.34	-0.91

Çizelge 10.3 incelendiğinde üretilen numunelerin genişlik rötreleri % 2.03 ila % -0.13, uzunluk rötreleri % 1.95 ila % -0.03 ve kalınlık rötreleri % 7.74 ila % -0.34 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak kaolin ve çinko oksit içeren numuneler daha düşük rötrelere sahip olmuşlardır. Bunu sebebi daha

öncede belirtildiği gibi kaolin ve çinko oksit yüksek sıcaklıklarda malzemenin rötre direncini arttırmasıdır. Bununla birlikte genel olarak üretilen numunelerde, perlitin birim hacimdeki gevşek ağırlığının artması rötre değerlerini azaltırken, düşük sıkıştırma oranı ve malzeme içerisinde atık lastik kullanımı rötre değerlerini arttırmıştır. Diğer taraftan üretilen numuneler içerisinde bor malzemesi kullanımı rötrelerin azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür. Üretilen numunelerin genel olarak rötre değerleri ASTM C610 (2017)'daki rötre limitlerinin altında olup mantolama ve izolasyon malzemesi olarak yüksek sıcaklıklarda dahi kullanılabilirliğinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

10.4.2. Yanmazlık ve tutuşmazlık testi

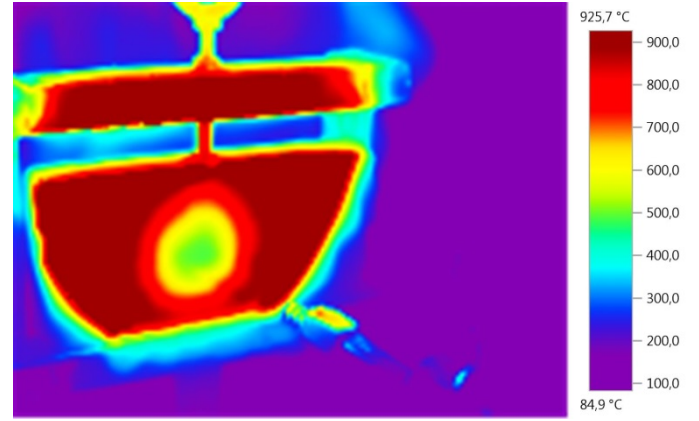
Bu test yapı malzeme ve elemanlarının yangına karşı direncini ölçmekte, şekil bozunma ve yanma karakteristiklerini tespit etmektedir. Yakma tipi tek kaynaklı olan bütan gazlı test düzeneği hazırlanmıştır ASTM E84 (2017) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen yanmazlık testine başlamadan önce numunelerin hem boyut hem de ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra yakıcı pürmüz numuneden 5 cm mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır. Test süresi her bir numune için 5'er dakika olacak şekilde kronometre kullanılarak ayarlanmıştır. Test sırasında numune üzerinde anlık sıcaklık ölçümü için Testo 8211-2 markalı termal kamera ve numunenin arka yüzeyindeki sıcaklığın anlık olarak kontrol edilmesi için bir lazer termometresi kullanılmıştır. Test tamamlandıktan sonra numunelerin yüzey aşınması gözlemlenmiş ve ağırlık değişimleri yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Test edilen numunelerin test sonrası görünümleri Şekil 10.30'da verilmiştir.



Şekil 10.30. Perlit esaslı yalıtım numunelerinin 5'er dakikalık yanma testi sonrası görünümleri.



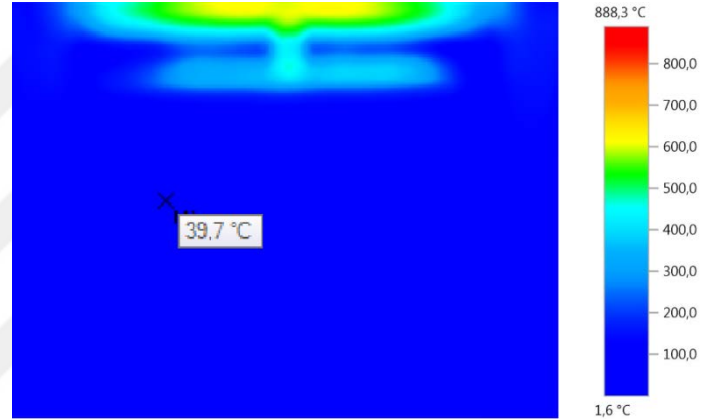
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 10.31. İlk yüzey sıcaklığı 25 °C olan YM12 malzemesini 5. dakikadaki termal kamera görüntüleri:(a) ön yüzey (b) ön yüzey termal (c) arka yüzey d) arka yüzey termal

Şekil 10.31’de YM12 yalıtım malzemesinin 5. dakikada termal kamera ile çekilen görüntüleri verilmiştir. Yapılan gözlemlerde numunenin ön sıcaklığı 925 °C’yi buluyorken arka yüzey sıcaklığı 39.7 °C olmuştur. Bununla birlikte bazı numunelerde sıcaklık 1000 °C’yi bulmasına rağmen arka yüzey sıcaklığı 45 °C’ yi geçmemiştir. Bu durum üretilen yalıtım malzemelerinden yüksek sıcaklıklarda dahi ısı geçişinin düşük olduğunu ve sıcaklık artışı ile ısıl iletkenlik değerinin bu malzemede çok fazla artmadığının bir göstergesidir. Bu ise perlit esaslı yalıtım malzemelerinin yüksek sıcaklık koşulları altında üstün ısıl özellikler göstermesi açısından bir avantaj teşkil etmektedir.

Yapılan test sonrası numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile tekrar tartılarak toplam kütle kaybı hesaplanarak Çizelge 10.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 10.4. Yanmazlık testi sırasındaki ağırlık değişimleri

Malzeme	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)	Değişim (%)
YM1	131.2	129.8	1.07
YM2	57.9	57.3	1.04
YM3	72.8	71.4	1.92
YM4	66.4	64.8	2.41
YM5	92.1	90.6	1.63
YM6	67.8	66.8	1.47
YM7	58.5	57.9	1.03
YM8	101.4	99.6	1.78
YM9	93.9	91.4	2.66
YM10	102.5	99.7	2.73
YM11	73.3	71.0	3.14
YM12	97.6	96.0	1.64
YM13	62.5	61.3	1.92
YM14	108.6	105.5	2.85
YM15	68.7	68.6	0.15
YM16	79.2	77.6	2.02
YM17	91.3	90.6	0.77
YM18	64.8	64.1	1.08
YM19	97.3	96.3	1.03
YM20	76.1	73.8	3.02
YM21	67.2	65.0	3.27
YM22	79.5	77.7	2.26
YM23	81.6	79.0	3.19
YM24	46.7	46.1	1.28
YM25	63.8	61.5	3.61
YM26	47.3	46.9	0.85
YM27	89.8	89.3	0.56

Çizelge 10.4 incelendiğinde üretilen numunelerin ağırlık değişimleri % 0.15 ila % 3.61 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Genel olarak ağırlık değişimlerini karşılaştırdığımızda atık lastik ve selüloz içeren malzemelerin ağırlık değişimlerinin daha yüksek olduğu ve bunun sebebi ise bu malzemelerin ateş testi sırasında buharlaştığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak katkı olarak kaolin, opaklaştırıcı, sodyum tetraborat, borik asit ve kolemanit içeren numuneler daha düşük ağırlık kaybına maruz kalmış olup bunun yanında yüzey aşınması çok küçük olmuştur.

Diğer taraftan Şekil 31’de görüldüğü gibi %5 pomza agregası ve opaklaştırıcı içeren numunelerin yüzeylerinde hiç aşınma (YM15 ve YM3) olmamıştır. Bunun sebebi pomza agregasının yüksek ateş direncine sahip olması, opaklaştırıcının ise kaynaktan çıkan yüksek ışıınıyı malzeme üzerinden yansıtması olarak açıklanabilmektedir. Genel olarak üretilen numunelerde, perlitin birim hacimdeki gevşek ağırlığının artması ve düşük sıkıştırma oranı kütle kayıp oranını azaltmıştır.

10.4.3. Malzeme karakterizasyonu

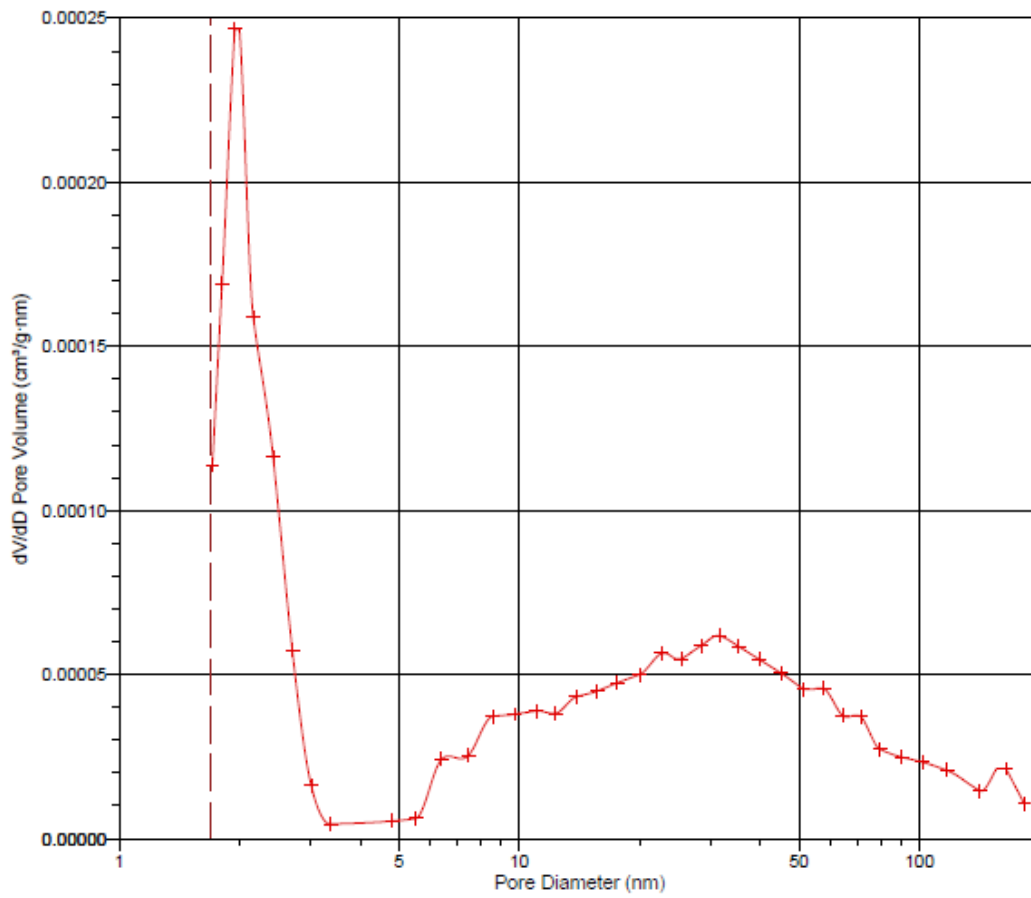
Gözenek boyut dağılımı (BET), yüzey morfolojisi (SEM) ve kristal yapı (XRD) analizleri üretilen malzemelerin karakterizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Bu analizler sayesinde farklı koşul ve içeriklerde üretilen malzemelerin özellikleri karşılaştırılabilmekte ve performans değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Gözeneklerin büyüklüğü IUPAC (International Union of Pure And Applied Chemistry, 1985) tarafından yarıçaplarına göre üç grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar;

- 1) Makrogözenekler ($r > 50 \text{ nm}$)
- 2) Mezogözenekler ($2 < r < 50 \text{ nm}$)
- 3) Mikrogözenekler ($r < 2 \text{ nm}$)

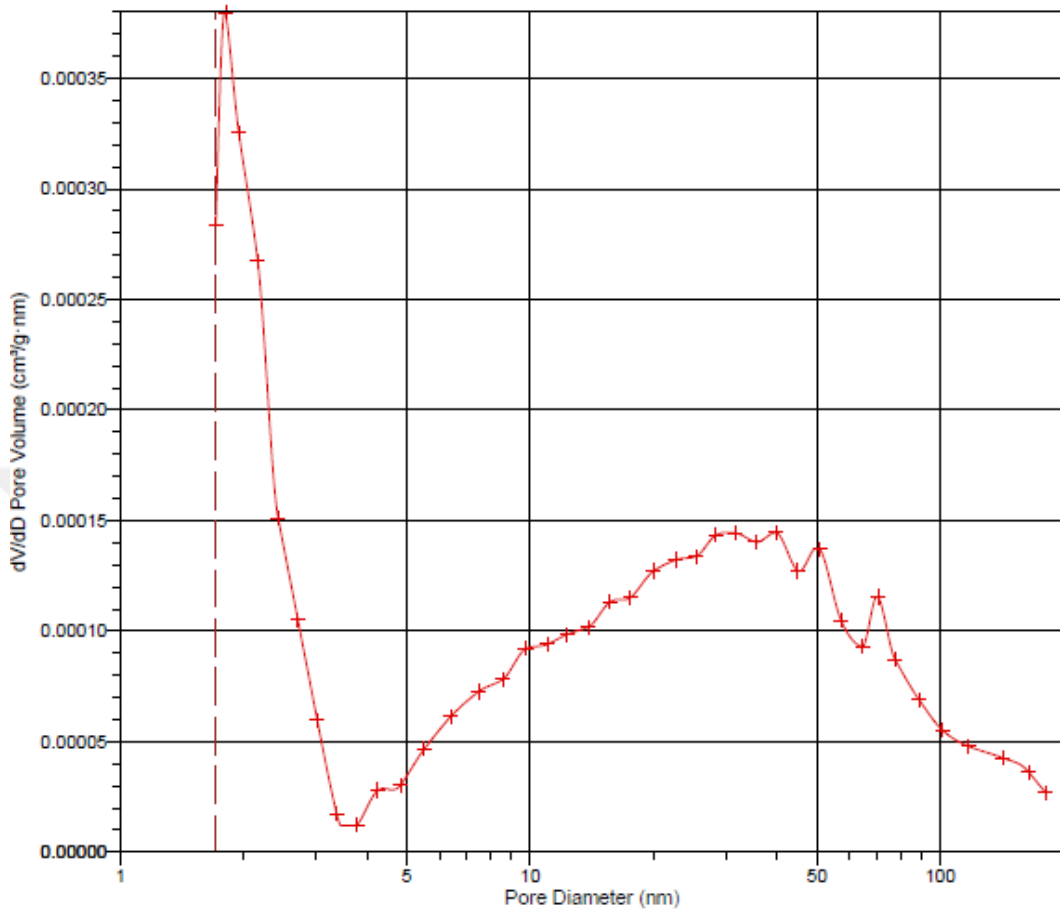
Bu çalışmada üretilen yalıtım malzemelerinden farklı ısı iletkenliğe sahip YM2 ve YM17’nin BET, SEM ve XRD analizleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. BET sonuçları incelendiğinde Çizelge 10.5, Şekil 10.32a ve Şekil 10.32b’den de görüldüğü üzere hem YM2 hem de YM17’nin düzensiz gözenek boyut dağılımına sahip oldukları ortaya çıkmaktadır. Her iki malzeme de geniş gözeneklere sahip (mezo-makro gözenek) olup YM2’nin kısmi de olsa mikrogözeneklilik içerdiği YM17’nin ise mikrogözeneklilik içermediği Çizelge 10.5, Şekil 10.32a ve Şekil 10.32b’den görülmektedir (Brunauer ve ark., 1940; Brunauer, 1943).

Çizelge 10.5. YM2 ve YM17'nin yüzey alanı ve gözenek karakteristikleri.

N. K.	S_{BET} (m^2/g)	V_T (cm^3/g)	$V_{mezo-makro\ porosity}$ (cm^3/g)	$V_{mikroporosity}$ (%)	$V_{mezo-makro\ porosity}$ (%)	D_p (nm)
YT2	1.38	0.0035	0.0034	2.86	97.14	7.05
YT4	29.74	0.0200	0.0176	12.00	88.00	2.39
YT6	1.63	0.0037	0.0036	2.70	97.30	7.58
YT11	5.20	0.0191	0.0191	0.00	100.00	11.70
YT13	13.02	0.0441	0.0439	0.45	99.55	9.00
YT15	7.65	0.0289	0.0288	0.35	99.65	7.49
YT17	2.23	0.0082	0.0082	0.00	100.00	9.78
YT18	1.34	0.0023	0.0022	4.35	95.65	5.19
YT23	3.94	0.0165	0.0165	0.00	100.00	13.15
YT24	2.18	0.0067	0.0066	1.49	98.51	7.59
YT25	2.74	0.0099	0.0099	0.00	100.00	11.78
YT26	3.09	0.0127	0.0127	0.00	100.00	9.01



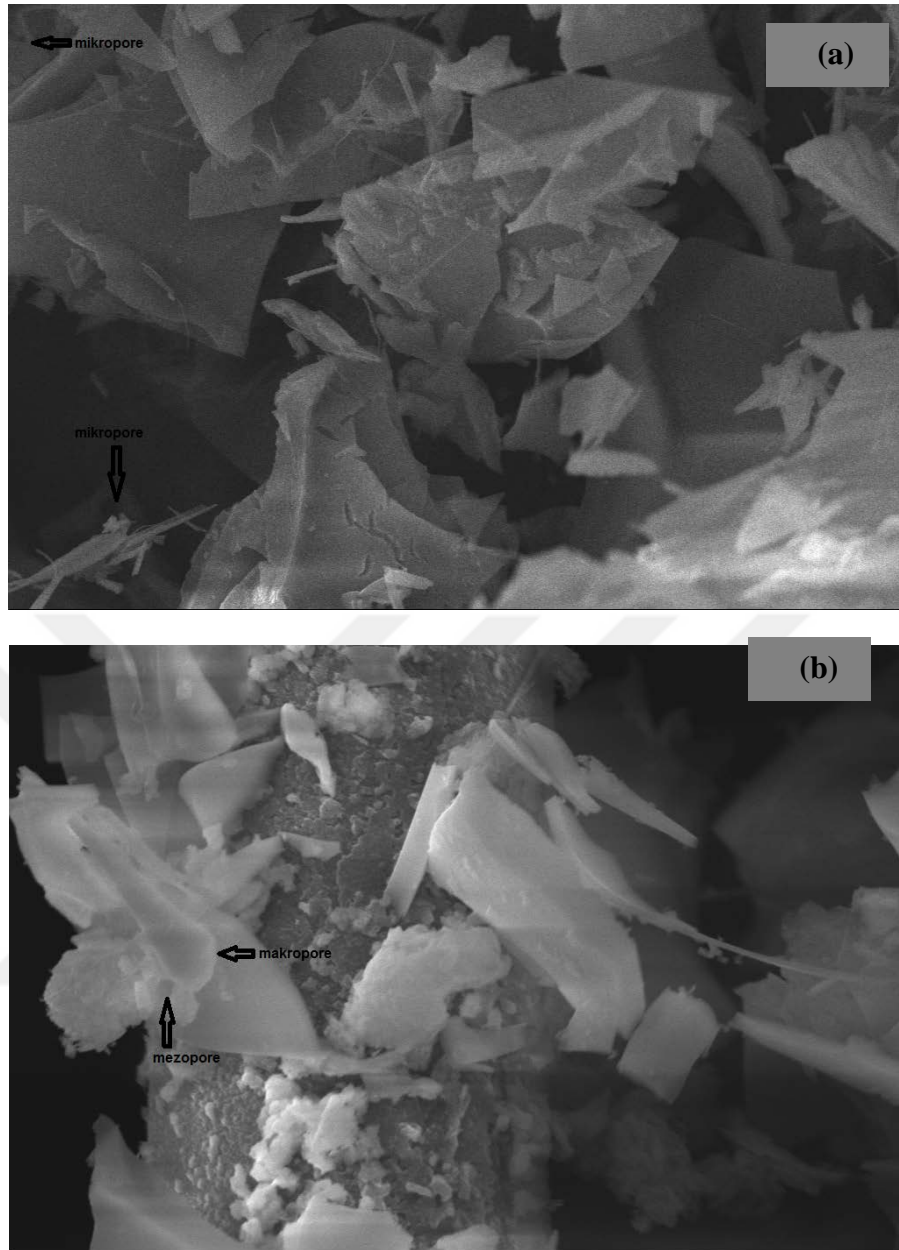
(a)



(b)

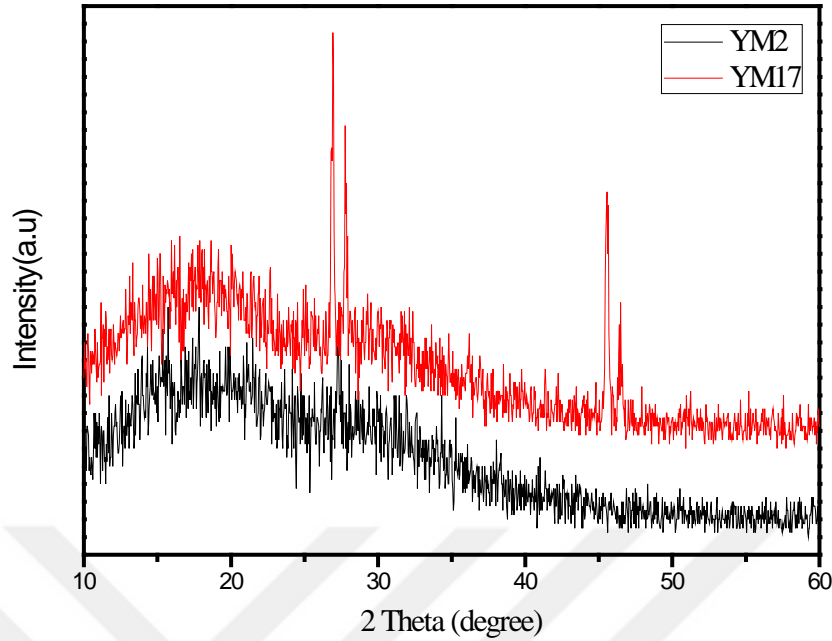
Şekil. 10.32. (a) YM2 ve (b) YM17' nin gözenek boyut dağılımları.

Buradan yola çıkarak YM2'nin ısı iletkenlik katsayısının YM17 den düşük olmasına, YM2'nin kısmi mikrogözenekliliğinin havanın mikrogözeneklerde hapsolmesi ve böylelikle ısı iletkenliğinin düşüşü ile açıklanabilir. Nitekim malzemelerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri (Şekil. 10.33a ve Şekil. 10.33b) bu durumu destekler niteliktedir.



Şekil. 10.33. (a) YM2 ve (b) YM17'nin SEM görüntüleri.

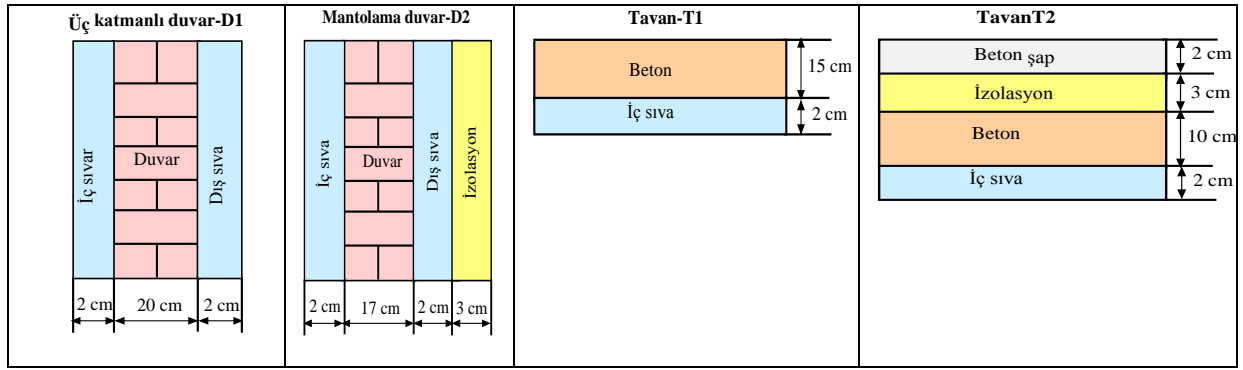
XRD, malzemelerin yapısal karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Malzemelerin XRD (Kristal Yapı Analizi) profilleri Şekil. 10.34'te görülmektedir. Şekil. 10.34'ten, YM2'nin tümüyle amorf bir yapıda olduğu söylenebilir. YM17'nin ise yaklaşık $2\theta = 27^\circ$ ve 47° 'deki sırasıyla kaolin kaynaklı kuvars (Si_3O_6) (Hashemian ve ark., 2015) ve çinko oksit (ZnO)'e (Bajpai ve ark., 2016) ait piklerin varlığı nedeniyle YM2'ye göre kristalin bir yapı formasyonunda olduğu bu ise yüksek dayanımı sağladığı söylenebilir.



Şekil. 10.34. YM2 ve YM17'nin XRD profilleri.

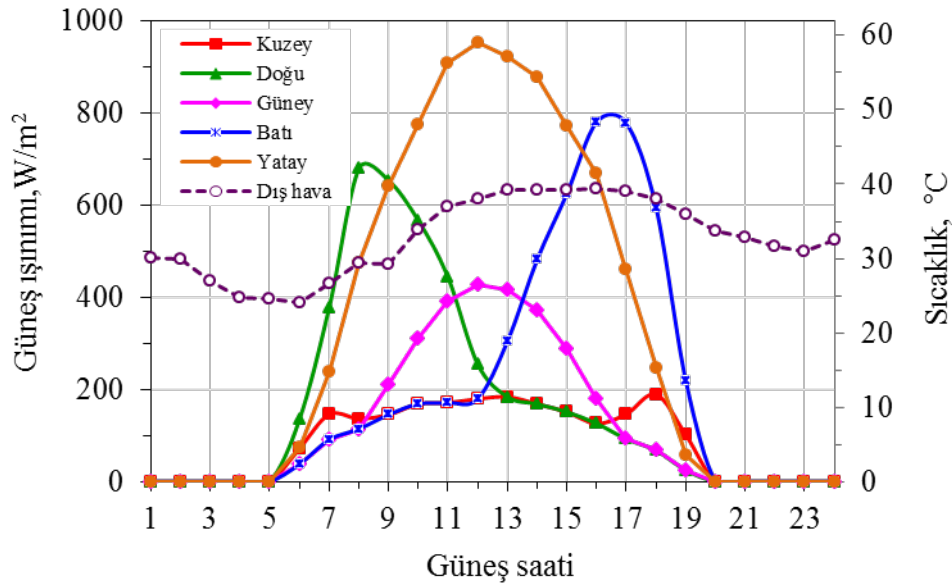
10.5. Çok Katmanlı Duvar ve Tavan Tiplerinin Isıl Performans Sonuçları

Bu bölümde hafif beton ve yalıtım numunelerin ısıl performans analizleri, analitik bir yöntem olan karmaşık sonlu Fourier dönüşümü (CFFT) kullanılarak periyodik bir çözüm elde edilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi yapıların ısıl performanslarını karşılaştırabilmek için yapıdan geçen ısı kazanç ve yüzey sıcaklıkları referans alınmıştır. Daha sonra geçici problemin çözümü için Matlab tabanlı bir bilgisayar programı kullanılmış ve giriş parametrelerin yer aldığı bir arayüz geliştirilmiştir. Bu parametreler; herhangi bir bölgenin meteorolojik olarak sağlanan ve saatlik ortam sıcaklığı ile yatay bir yüzeye gelen güneş ışınımı değerleri, iç ve dış yüzeylerdeki birleşik ısı transfer katsayıları, yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleridir (yapının dış yüzey güneş yutma katsayısı, kalınlık, kompozit yapı katman sayısı, yoğunluk, özgül ısı, ısı iletkenlik ve ısıl yayılım). Isıl performans analizleri için çalışmada kullanılan duvarların ve düz tavanların şematik gösterimi ve boyutları Şekil 10.35'te verilmiştir.



Şekil 10.35. Çalışmada kullanılan duvar ve tavan tipleri

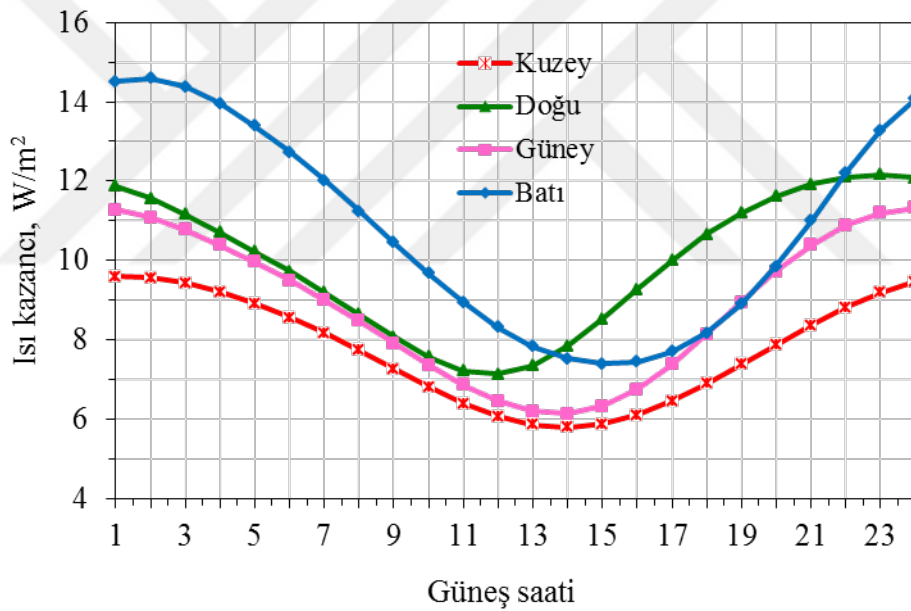
Isı kazancı hesaplamalarında daha önce Batman ili için ölçülen dış hava sıcaklık ve yatay yüzeye gelen güneş ışınım şiddeti değerleri kullanılmıştır. Elde edilen ışınım değerleri izotropik gökyüzü modelinde kullanılarak düşey yüzeylere gelen güneş ışınım şiddetleri hesaplanmıştır. Şekil 10.36'da Kuzey, Güney, Doğu ve Batı ana yönlerine göre hesaplanan ışınım şiddeti değerleri gösterilmiştir. Şekil 10.36'da gösterildiği gibi, tüm yüzeyler için güneş ışınım değerlerinin yarı simetrik gibi davrandığını ancak tamamen simetrik olmadığını görülmektedir. Özellikle Doğu ve Batı yönlerinde bu daha çok fark edilebilir. Buradan Batı yönüne gelen yaygın ışınımın Doğu yönüne göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 10.36. Tüm yüzeylere gelen güneş ışınım şiddeti ve dış hava sıcaklığı

10.5.1. Üretilen beton ve hafif betonların ısı performanslarının karşılaştırılması:

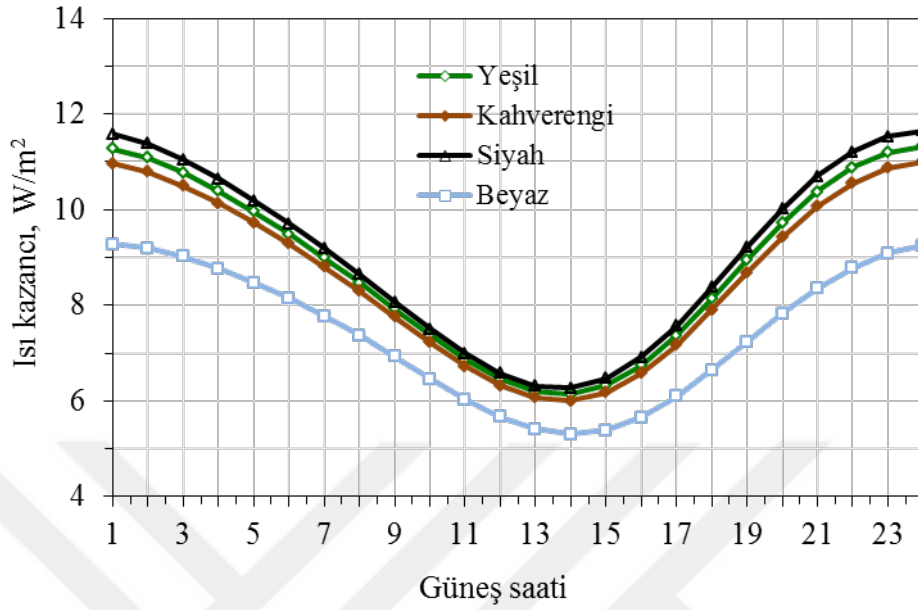
GPB50 duvarının Doğu, Batı, Kuzey ve Güney yönlerine bağlı ısı kazanç değerleri, Şekil 10.37'de gösterilmektedir. Bu durum duvar boyunca en yüksek ısı kazancının saptanması için önemlidir. Şekilden en düşük ısı kazanım değerleri 9 ve 10 arasındaki saatlerde ve en yüksek ısı kazancı tüm yönlerde 20 ila 21 arasındaki saatlerde gerçekleşmiştir. Isı kazancının en düşük günlük ortalama değeri 1.624 W/m^2 değeriyle kuzey duvarı için elde edilmiş olup, en yüksek ısı kazancı ortalaması 17.846 W/m^2 değerinde batı duvarı için elde edilmiştir. Güneş ışınım şiddetinin ve ısı kazancının batı duvarı üzerindeki etkileri bu şekilde açıkça görülmektedir. Binanın soğutma yükü yapıların ısı kazancına bağlı olduğu ve Batı yönünün en çok ısı kazancına sahip olduğundan, bu bölgede bulunan konutlarda Batı duvar yüzey alanının en aza indirilmesi gerektiği tasarım işi ile uğraşan ilgililere tavsiye edilmektedir.



Şekil 10.37. GPB50 duvarının Doğu, Batı, Kuzey ve Güney yönlerine bağlı ısı kazanç değerleri

Şekil 10.38, güney yönüne dönük farklı renklere sahip duvarların ısı kazanç değerlerinin saatlik değişimini göstermektedir. En yüksekten en düşüğe doğru elde edilen ısı kazancı değerleri sırasıyla siyah, yeşil, kahverengi ve beyaz yüzeylerdir. Şekilde, duvarın soğurganlığının, ısı kazanç değerleri üzerinde büyük bir etkisinin bulunduğu görülmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi koyu yüzeylerin güneş absorpsiyon (yutma) katsayısı açık yüzeylere göre daha yüksek olduğundan güneş ışınımını da daha fazla abzorbe ettikleri görülmüştür. Sonuç olarak Batman gibi, dış

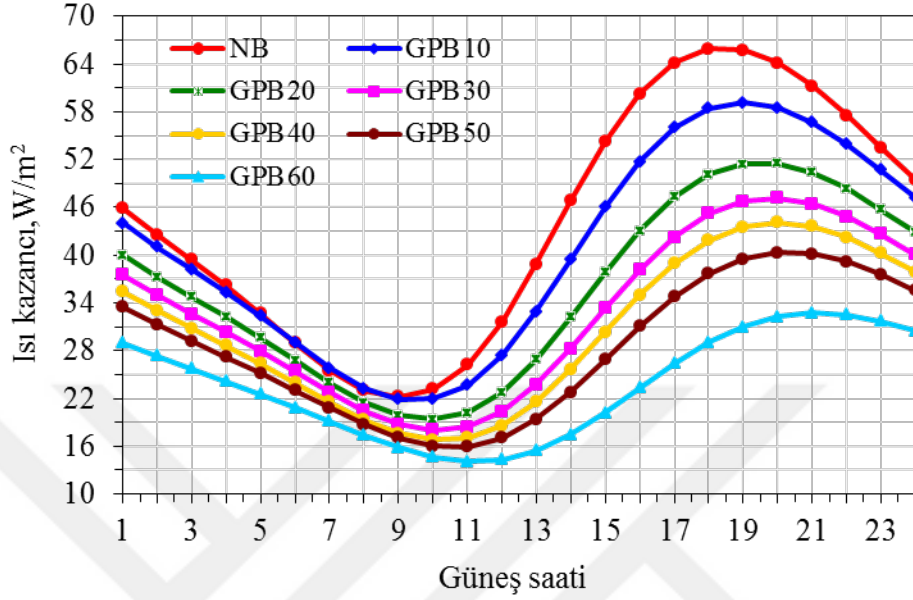
hava sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti yüksek olan yörelerde binaları beyaz ya da beyaza yakın renklerde inşa etmek soğutma harcamalarını azaltacaktır.



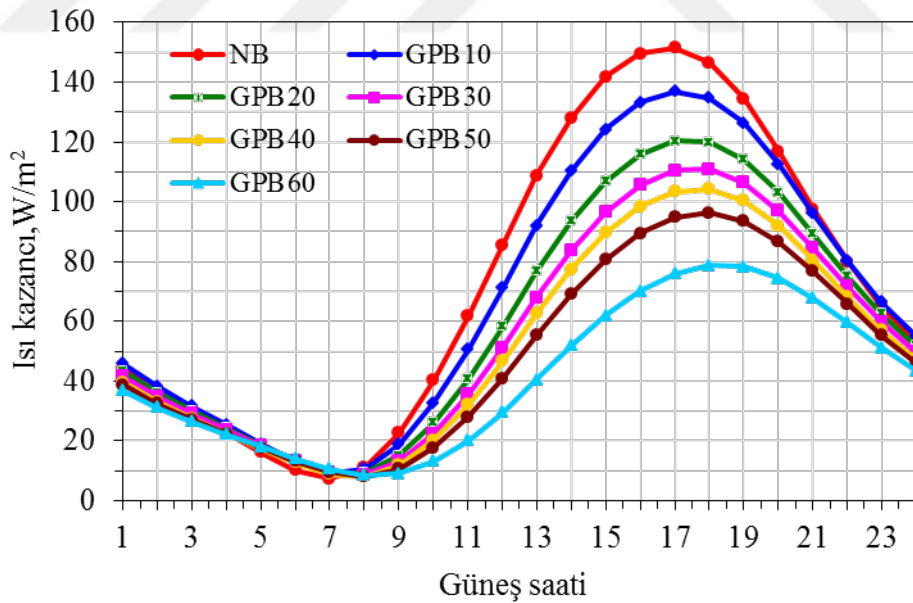
Şekil 10.38. Güneye dönük farklı renklere sahip duvarların ısı kazanç değerlerinin saatlik değişimini

Bu kısımdan itibaren ısı performans analizi yapılan tüm duvar ve tavan tiplerinde güneş soğurma katsayısı " $\alpha_s=0.8$ " (yeşil renkli duvar) olarak alınmıştır. Güney yönüne dönük dışa bakan yüzeyi yeşil renkli olan, farklı genişleştirilmiş perlit agrega oranlarına sahip NB ve GPB duvarlar ve düz tavanların ısı kazanç değerlerinin saatlik varyasyonları sırasıyla Şekil 10.39 ve 10.40'ta gösterilmektedir. NB malzemesinden yapılan duvar ve tavanın ısı kazanç değerleri en yüksek genliğe sahip olduğu ve bunu sırasıyla GPB10, GPB20, GPB30, GPB40, GPB50 ve GPB60 izlediği görülmüştür. Duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazancı değeri NB için 65.909 W/m^2 ve en düşük ısı kazancı değeri GPB60 için 32.724 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tavan için bu değerler NB için 151.454 W/m^2 iken GPB60 için 78.668 W/m^2 olarak bulunmuştur. T1 tipi bir tavan, Türkiye'de özellikle gecekodu şeklinde yapılan konutlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tavan tipi sadece 2 cm sıva ve 12 cm betondan oluştuğu için dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımından fazlaca etkilendiği, hem açık hem de koyu renklerin her ikisi için de saatlik ısı kazancı genliğinin çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır. NB için elde edilen 151.454 W/m^2 değeri T1 tipi tavanlı bir konut için kullanılacak soğutma ünitesi kapasitesinin çok yüksek olması gerektiğinden, daha kötü bir yaşam şartı, daha

yüksek bir yatırım ve daha yüksek bir işletme maliyeti getirecek olmasına işaret etmektedir. Sonuç olarak, T1 tipi bir tavanın konutlarda tercih edilmemesi gerektiği bu çalışmadan açık olarak anlaşılmaktadır.



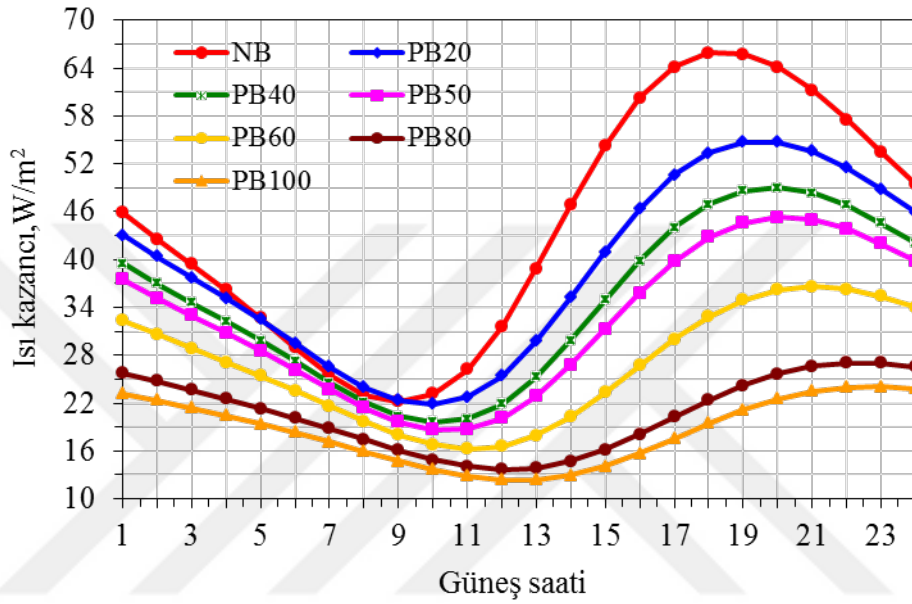
Şekil 10.39. Güney yönüne dönük NB ve GPB duvarların ısı kazançlarının değişimi



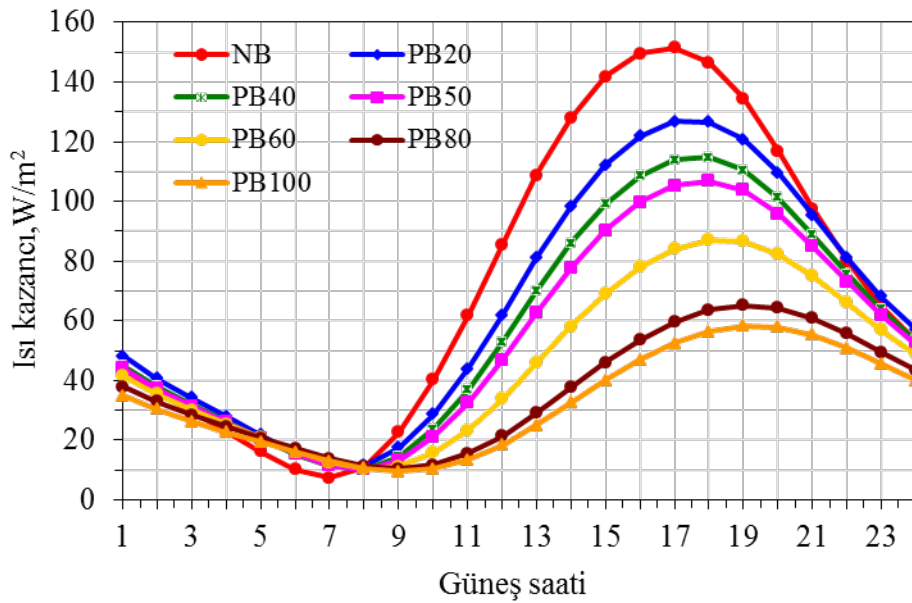
Şekil 10.40. Güney yönüne dönük NB ve GPB düz tavanların ısı kazançlarının değişimi

Güney yönüne dönük farklı pomza agrega oranlarına sahip NB ve PB duvarlar ve düz tavanların ısı kazanç değerlerinin saatlik varyasyonları sırasıyla Şekil 10.41 ve 10.42'de gösterilmektedir. NB malzemesinden yapılan duvar ve tavanın ısı kazanç

değerleri en yüksek genliğe sahip olduğu ve bunu sırasıyla PB20, PB40, PB50, PB60, PB80 ve P100 izlediği görülmüştür. Duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazanç değeri NB için 65.909 W/m^2 ve en düşük ısı kazancı değeri PB100 için 24.09 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tavan için bu değerler NB için 151.454 W/m^2 iken PB100 için 58.319 W/m^2 olarak bulunmuştur.

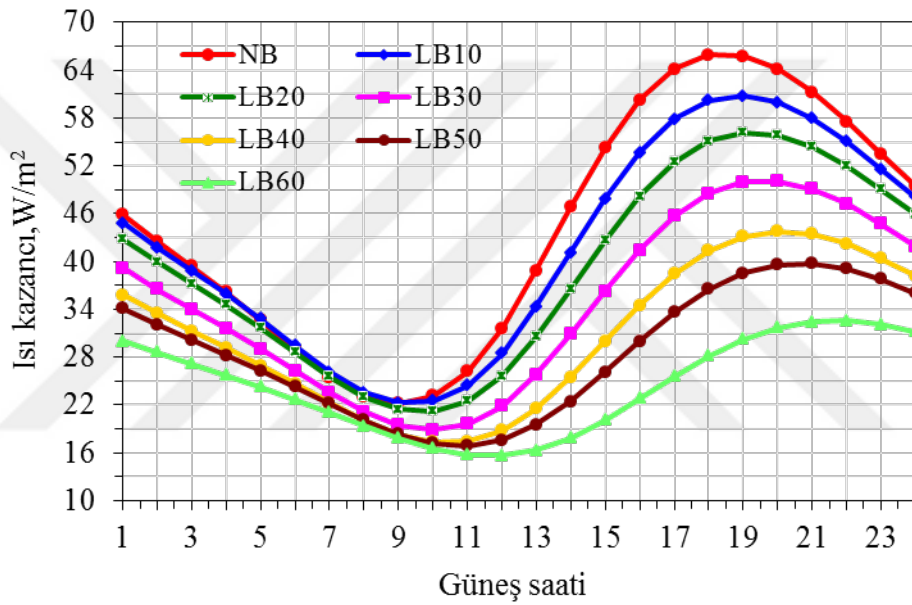


Şekil 10.41. Güney yönüne dönük NB ve PB duvarların ısı kazançlarının değişimi

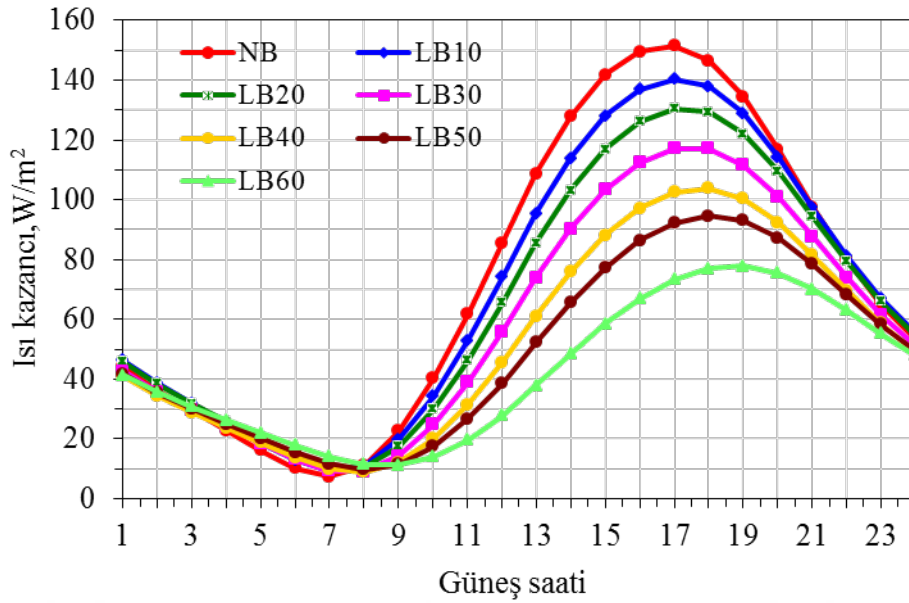


Şekil 10.42. Güney yönüne dönük NB ve GPB düz tavanların ısı kazançlarının değişimi

Güney yönüne dönük farklı atık lastik agregası oranlarına sahip NB ve LB duvarlar ve düz tavanların ısı kazanç değerlerinin saatlik varyasyonları sırasıyla Şekil 10.43 ve 10.44'te gösterilmektedir. NB malzemesinden yapılan duvar ve tavanın ısı kazanç değerleri en yüksek genliğe sahip olduğu ve bunu sırasıyla LB10, LB20, LB30, LB40, LB50 ve LB60 izlediği görülmüştür. Duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazancı değeri NB için 65.909 W/m^2 ve en düşük ısı kazancı değeri LB60 için 32.558 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tavan için bu değerler NB için 151.454 W/m^2 iken LB60 için 77.85 W/m^2 olarak bulunmuştur.

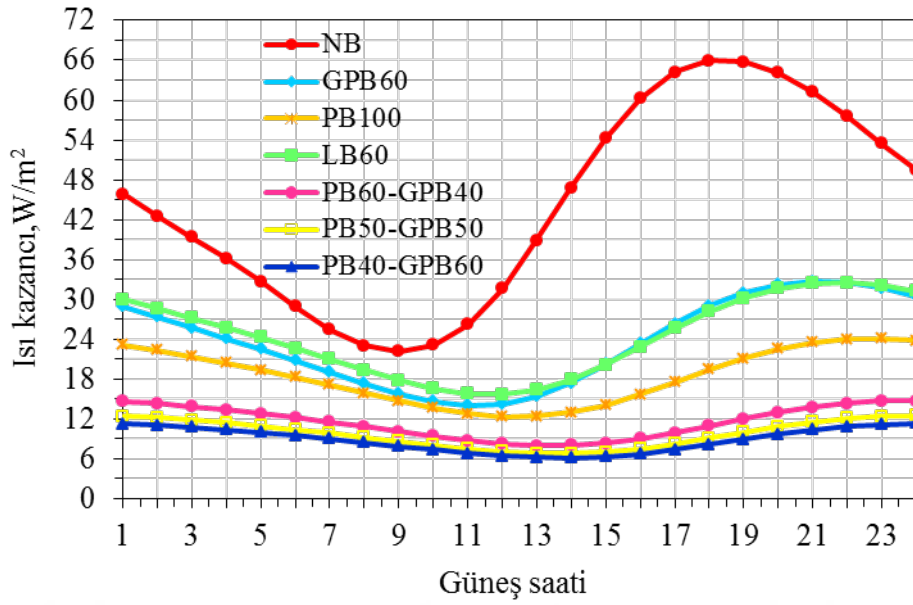


Şekil 10.43 Güney yönüne dönük NB ve LB duvarların ısı kazançlarının değişimi

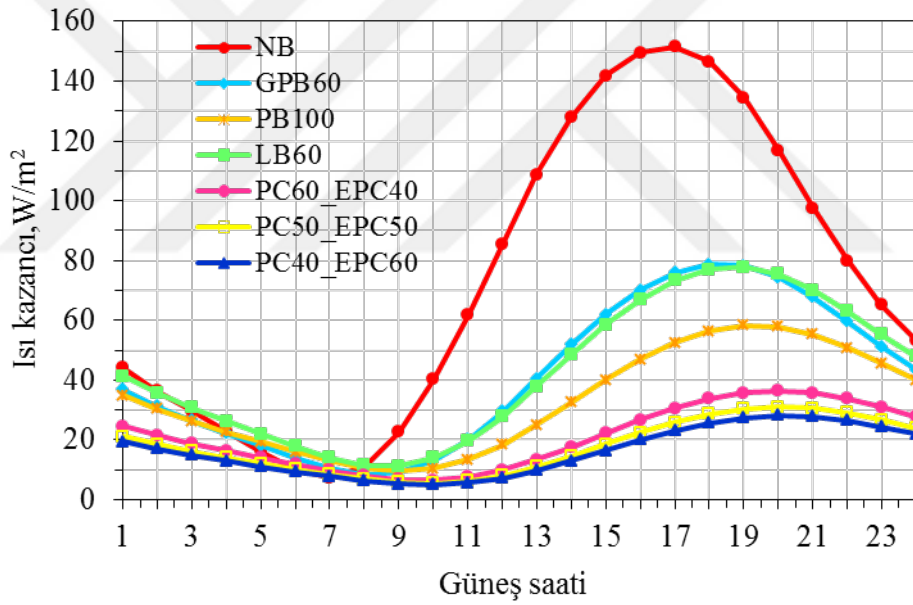


Şekil 10.44. Güney yönüne dönük NB ve GPB düz tavanların ısı kazançlarının değişimi

Bazı yapı malzemelerinin tavan ve güneye bakan duvarlarda kullanılmasıyla elde edilen saatlik ısı kazanç değerleri sırasıyla Şekil 10.45 ve Şekil 10.46'da gösterilmektedir. En yüksek ısısal yayılım ve ısısal iletkenliğe sahip NB ile inşa edilen duvar ve tavan için en yüksek iç yüzey sıcaklık genliği ve ayrıca ısı kazancının meydana geldiği bu şekillerden anlaşılmaktadır. Malzemelerin ısısal yayılım ve ısısal iletkenliğinin yapıların ısısal davranışı üzerinde önemli etkisinin olduğu gözlenmiştir. En düşük ısısal iletkenlik ve ısısal yayılım değerlerine sahip PB40-GPB60 ile inşa edilen duvarlar için 11.324 W/m^2 ve tavan için 28.194 W/m^2 ısı kazancı elde edilmiştir. Buradan görüleceği gibi PB40-GPB60 duvarının ısı kazancı, NB duvarının yaklaşık olarak 6'da 1'dir. Isı kazancının yüksek olması, gerek konfor, gerekse soğutma yükünün yüksek olması bakımından istenmeyen bir durumdur. Bu durum soğutma sisteminin büyümesi ve sonuç olarak ilk yatırım ve de işletme maliyetinin artacağı anlamına gelmektedir.



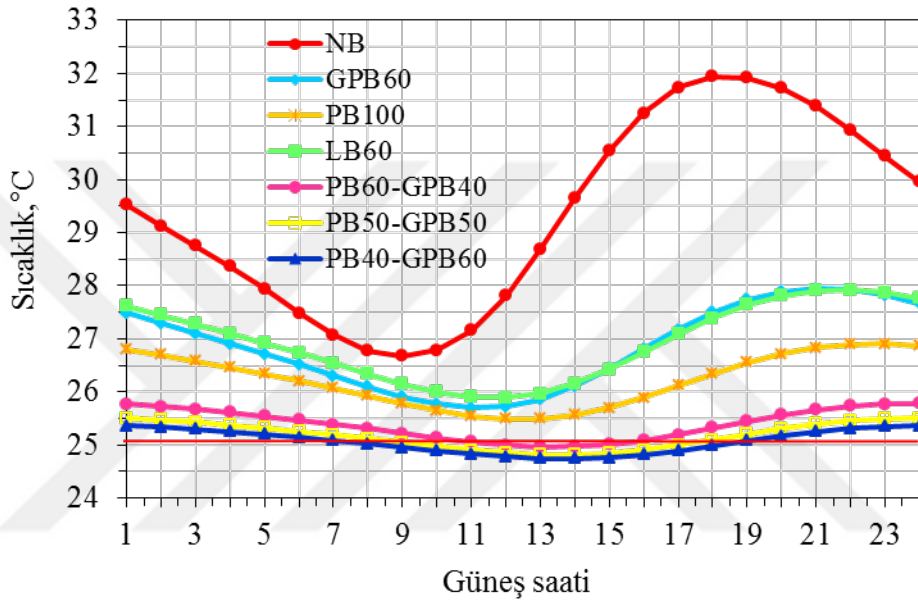
Şekil 10.45. Güney yönüne dönük bazı duvarların ısı kazançlarının değişimi



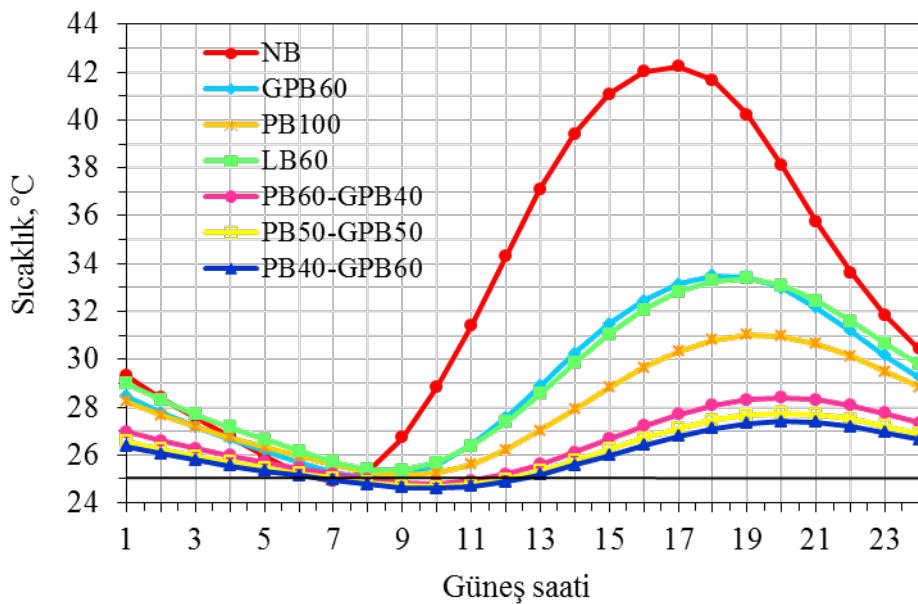
Şekil 10.46. Güney yönüne dönük bazı düz tavanların ısı kazançlarının değişimi

Tavan ve güneye bakan duvarlar için saatlik iç yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla Şekil 10.47 ve Şekil 10.48'de gösterilmektedir. Isı kazancında olduğu gibi iç duvar ve iç tavan sıcaklıkları ısı kazancına paralel olmaktadır. Isı kazancında olduğu gibi en yüksek iç yüzey sıcaklık, güney duvarında yaklaşık 32 °C ve tavan iç yüzeyinde 42,2 °C ile en yüksek ısı iletkenlik ve ısı yayılımına sahip NB malzemesinde; en düşük iç yüzey sıcaklık, güney duvarında yaklaşık 25,4 °C ve tavan iç yüzeyinde 27,4 °C ile en düşük ısı iletkenlik ve ısı yayılımına sahip PB40-GPB60 malzemesinde olduğu tespit

edilmiştir. Bununla birlikte hava sıcaklık değerlerinin 40 °C'yi geçtiği Batman'da duvar malzemesi olarak PB40-GPB60'nin kullanımı özellikle 9-17 saatleri arasında duvar iç yüzey sıcaklığının konfor şartları diyebileceğimiz 25 °C'nin altında olması, ısı yalıtım ve enerji tüketim açısından ne derece önemli olduğu burada ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, düşük ısıl yayılım ve ısıl iletkenliğe sahip duvarların bina yapılarında kullanılması, dış hava sıcaklığı yüksek olsa bile, oda içinde kararlı oda sıcaklığı veya konfor şartlarını sağlamaktadır.

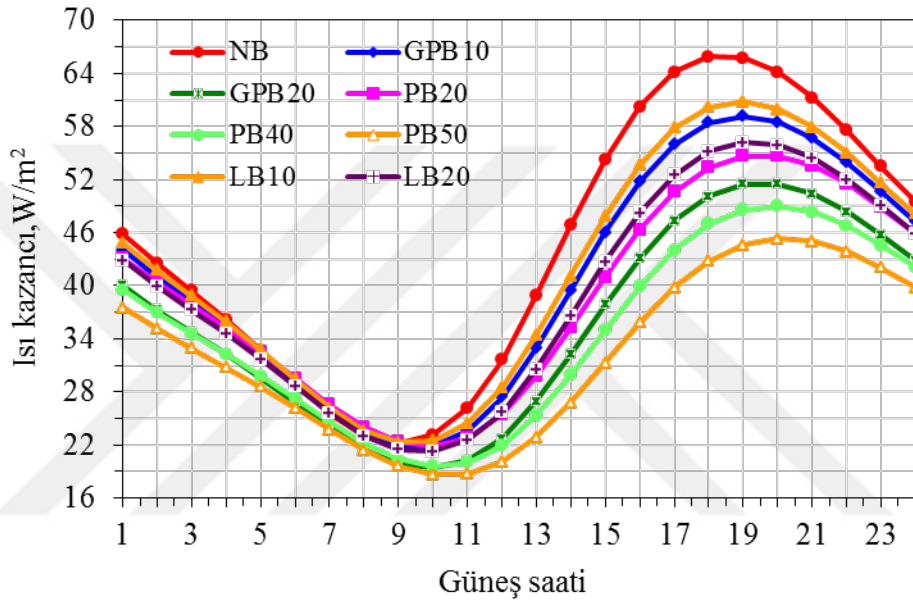


Şekil 10.47. Güney yönüne dönük bazı duvarların günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri

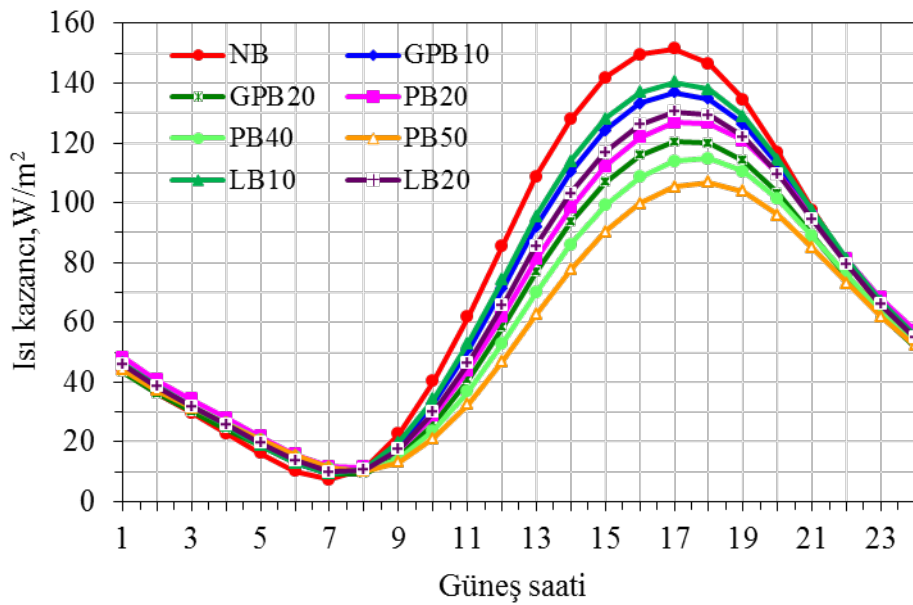


Şekil 10.48. Güney yönüne dönük bazı düz tavanların günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri

Yapısal betonlarda tavan ve güneye bakan duvarlar için saatlik ısı kazancı değerleri sırasıyla Şekil 10.49 ve Şekil 10.50'de gösterilmektedir. NB yapı duvar (perde beton) ve tavanı, ısı kazancı değerinin en yüksek genliğine sahip olduğu ve bunu sırasıyla LB10, GPB10, LB20, PB20, GPB20, PB40 ve PB50 izlemektedir. Her iki şekilden görüleceği gibi PB50 malzemesinin yapılarca özellikle kolon, kırış ve perde beton duvarlarda, NB malzemesinin yerine kullanılmasıyla maksimum ısı kazanç değerlerinde duvar için %31.25, tavan için %29.44 daha az ısı kazanç değerleri elde edilecektir.

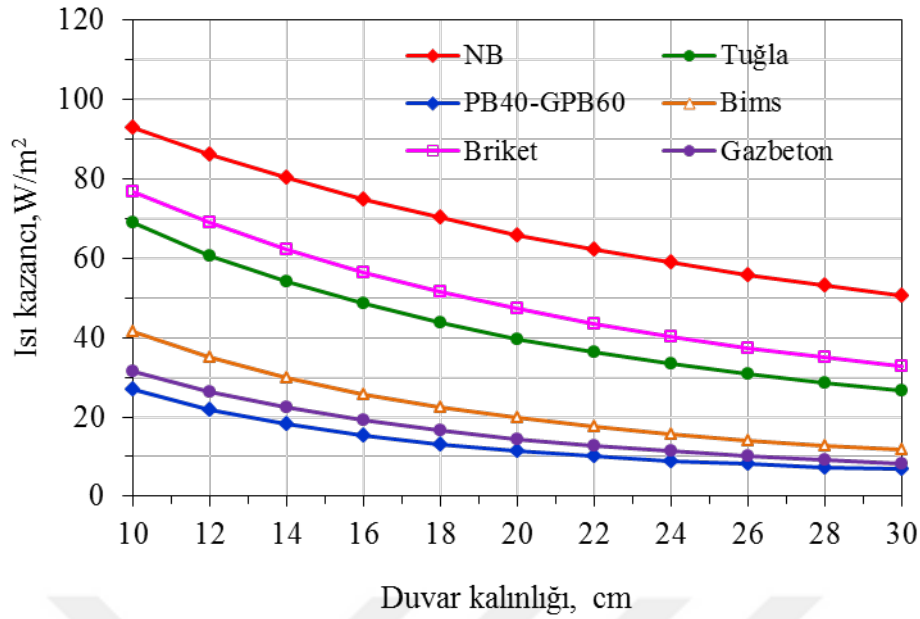


Şekil 10.49. Güney yönüne dönük bazı yapısal duvarların ısı kazançlarının değişimi



Şekil 10.50. Güney yönüne dönük bazı düz yapısal tavanların ısı kazançlarının değişimi

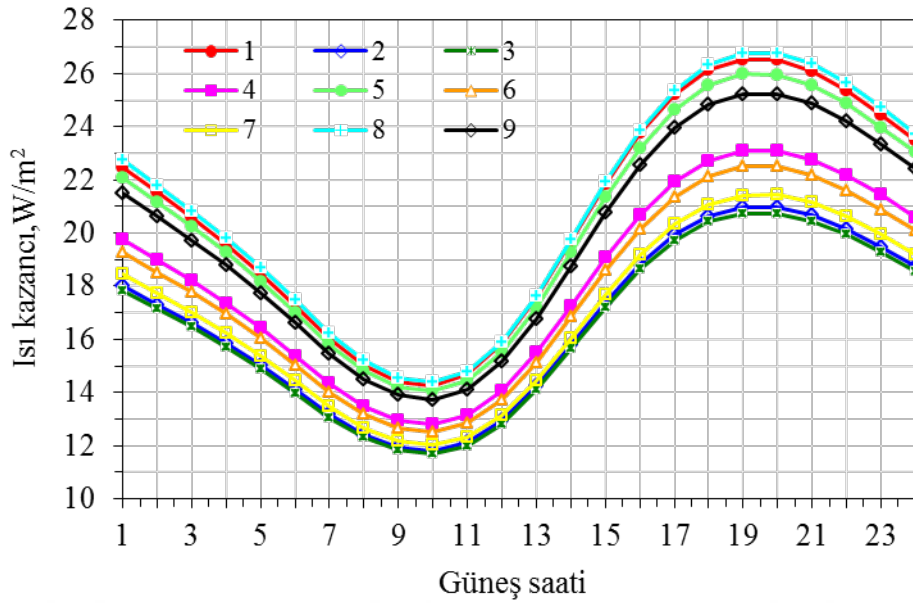
Türkiye’de genellikle duvar malzemeleri olarak, briket, bims, perde beton, gazbeton ve tuğla kullanılmaktadır. Şekil 10.51’de ülkemizde yaygın olarak kullanılan duvar malzemeleri ile beraber bu çalışmada üretilen duvar malzemelerinin kalınlıklarına göre bir gün içerisinde gerçekleşen en yüksek ısı kazanç değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırmada duvar yönü için güney ve duvar rengi olarak yeşil seçilmiştir. Bir yapıda en yüksek ısı kazanç zamanı ise, duvar malzemesinin termofiziksel özelliklerine ve ısı depolama yeteneklerine bağlı olarak farklı saatlerde oluşur. Her bir duvar malzemesi için ısı kazanç, duvar kalınlığı ve buna paralel olarak ısıl direnç arttığı için azalır. Yukarıda verilen şeklin amacı, NB ile oluşturulan duvarların kalınlığına karşılık gelen en yüksek ısı kazancının, bims, briket, tuğla, gazbeton, PB40-GPB60 duvarların hangi kalınlıklarına karşılık geldiği hakkında fikir vermektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi 20 cm’lik bir kalınlığa sahip NB duvarında bir gün içinde oluşan en yüksek ısı kazanç miktarı sırasıyla 12.91 cm ve 10.72 cm kalınlıktaki briket ve tuğla ile aynı ısı kazancına eşit olacaktır. Bununla birlikte 10 cm kalınlığa sahip PB40-GPB60 duvarındaki en yüksek ısı kazancının 29.75 cm’lik tuğlaya, 15.43 cm’lik bimse ve 11.8 cm’lik gazbetona karşılık geldiği görülmektedir. Gazbeton ve PB40-GPB60 duvarlarının ısı kazançları genel olarak birbirine yakın çıkmıştır. Buna rağmen yüksek üretim maliyetleri ve sıva tutmaması gibi dezavantajlara sahip olan gazbetonun yerine ucuz bir şekilde temin edilen pomza ve perlit gibi tamamen yerli kaynaklardan kolay bir şekilde üretilen PB40-GPB60 hafif betonların kullanılması, ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimi ile işletme ve başlangıç maliyetleri düşürmede önemli olduğu tespit edilmiştir.



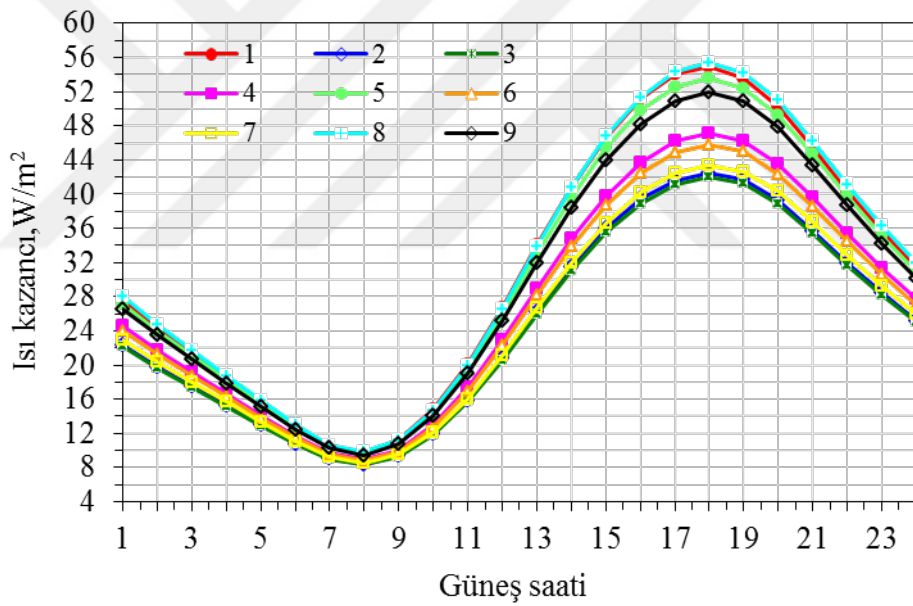
Şekil 10.51. Farklı kalınlıklara sahip duvar malzemelerinin maksimum ısı kazancının karşılaştırılması

10.5.2. Üretilen perlit esaslı yalıtım malzemelerinin ısı performanslarının karşılaştırılması

Bu kısımda içyapısının perde beton olarak NB malzemesinden oluştuğu yalıtımlı tavan ve mantolama duvar konfigürasyonları incelenecektir. Güney yönüne dönük, dış yüzey rengi yeşil olan ve farklı bileşenlerden oluşan yalıtım malzemelerinin NB duvar ve düz tavanlarında kullanılmasıyla elde edilen saatlik ısı kazanç değerleri sırasıyla Şekil 10.52 ve Şekil 10.53’ te gösterilmektedir. YM8 malzemesinin duvar ve düz tavanda mantolama malzemesi olarak kullanımında ısı kazanç değerinin en yüksek genliğe sahip olduğu ve bunu sırasıyla YM1, YM5, YM9, YM4, YM6, YM7, YM2 ve YM3 numunelerinin izlediği görülmüştür. Duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazanç değeri YM8 mantolama malzemesi için 26.771 W/m^2 ve en düşük ısı kazancı değeri YM3 yalıtım malzemesi için 20.743 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tavan mantolaması için bu değerler YM8 malzemesi için 55.399 W/m^2 iken YM3 malzemesi için 41.98 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.



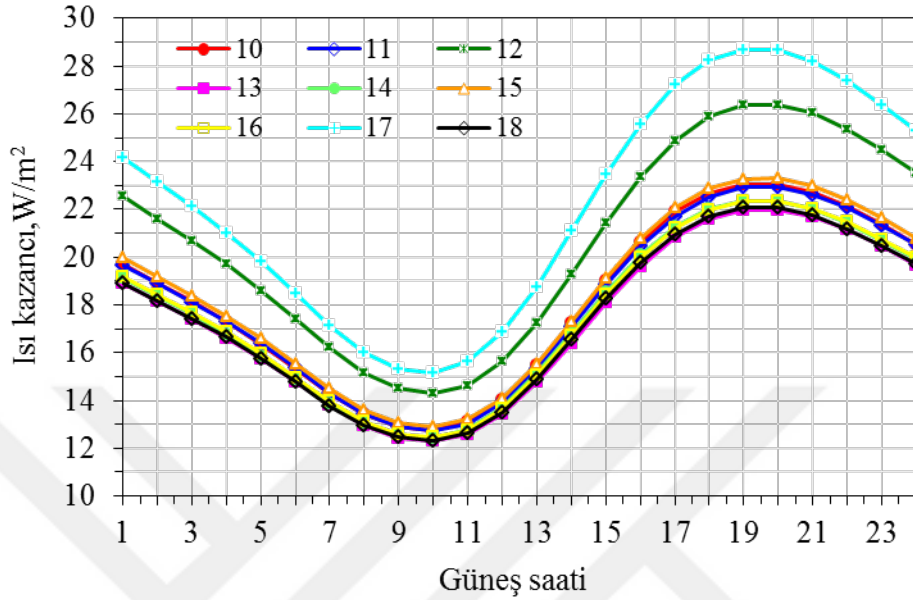
Şekil 10.52 Malzeme numarası 1 ila 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarda saatlik ısı kazanç değerleri



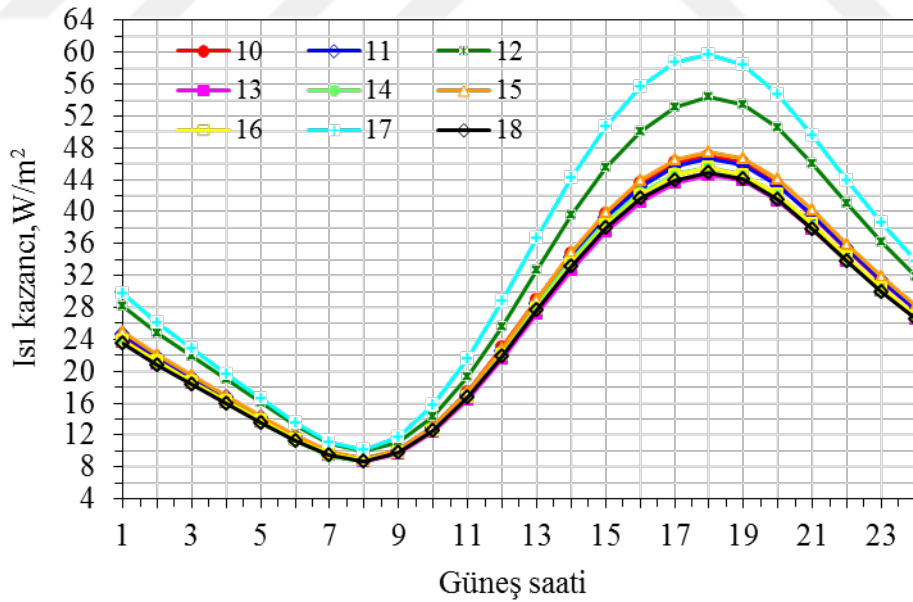
Şekil 10.53. Malzeme numarası 1 ila 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda saatlik ısı kazanç değerleri

Faklı NB duvar ve düz tavanlarında kullanılmasıyla elde edilen saatlik ısı kazanç değerleri sırasıyla Şekil 10.54 ve Şekil 10.55'te gösterilmektedir. YM17 malzemesinin duvar ve düz tavanda mantolama malzemesi olarak kullanımında ısı kazanç değerinin en yüksek genliğe sahip olduğu ve bunu sırasıyla YM12, YM15, YM10, YM11, YM14, YM16 ve YM18 mantolama malzemelerinin izlediği görülmüştür. Duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazanç değeri YM17 mantolama malzemesi için 28.69 W/m^2 ve en düşük ısı kazancı değeri

YM18 yalıtım malzemesi için 22.065 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tavan mantolaması için bu değerler YM17 malzemesi için 59.79 W/m^2 iken YM18 malzemesi için 44.886 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.



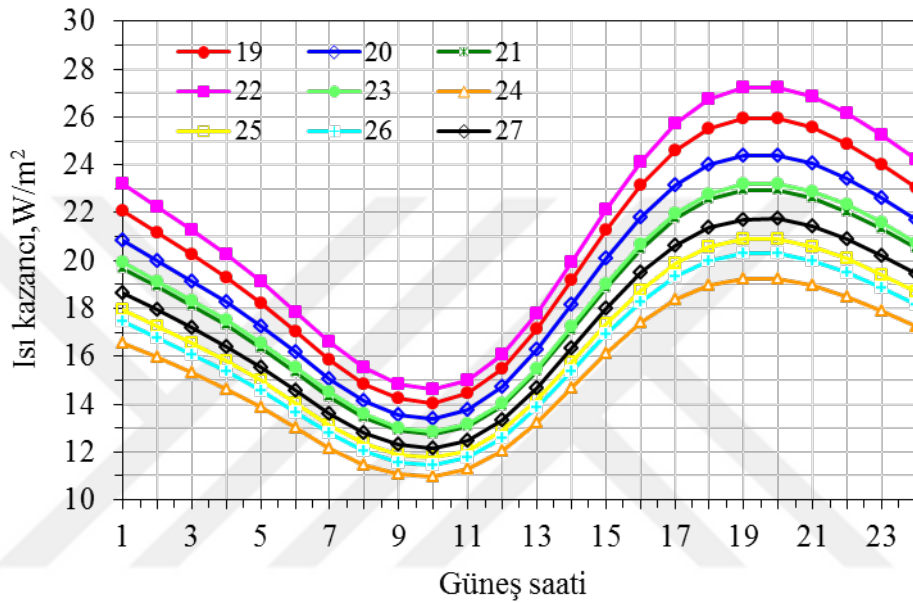
Şekil 10.54. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarda saatlik ısı kazanç değerleri



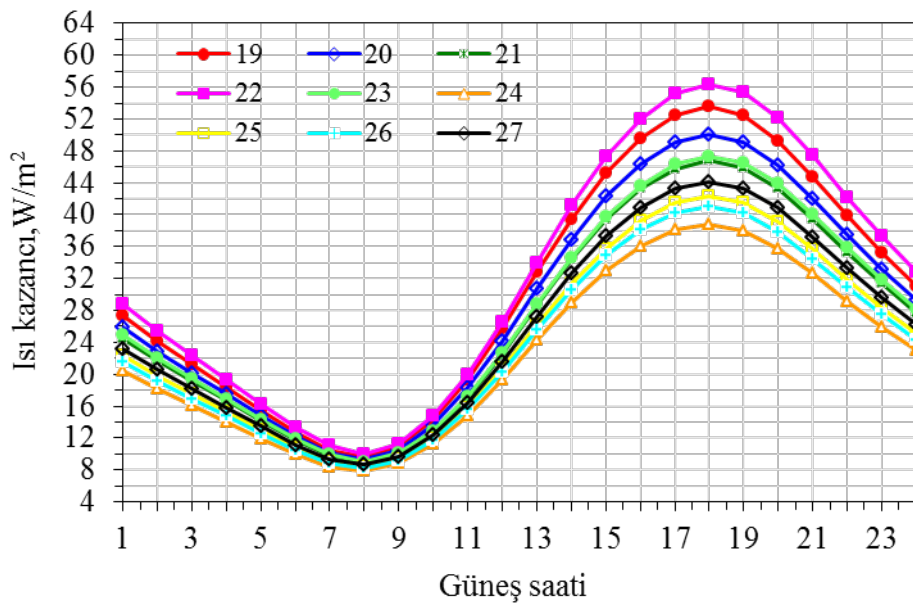
Şekil 10.55. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda saatlik ısı kazanç değerleri

Faklı NB duvar ve düz tavanlarında kullanılmasıyla elde edilen saatlik ısı kazanç değerleri sırasıyla Şekil 10.56 ve Şekil 10.57'de gösterilmektedir. YM22 malzemesinin duvar ve düz tavanda mantolama malzemesi olarak kullanımında ısı kazanç değerinin

en yüksek genliğe sahip olduğu ve bunu sırasıyla YM19, YM20, YM23, YM21, YM27, YM25, YM26 ve YM24 mantolama malzemelerinin izlediği görülmüştür. Duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazanç değeri YM22 mantolama malzemesi için 27.25 W/m^2 ve en düşük ısı kazancı değeri YM24 yalıtım malzemesi için 19.257 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tavan mantolaması için bu değerler YM22 malzemesi için 56.365 W/m^2 iken YM24 malzemesi için 38.777 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.

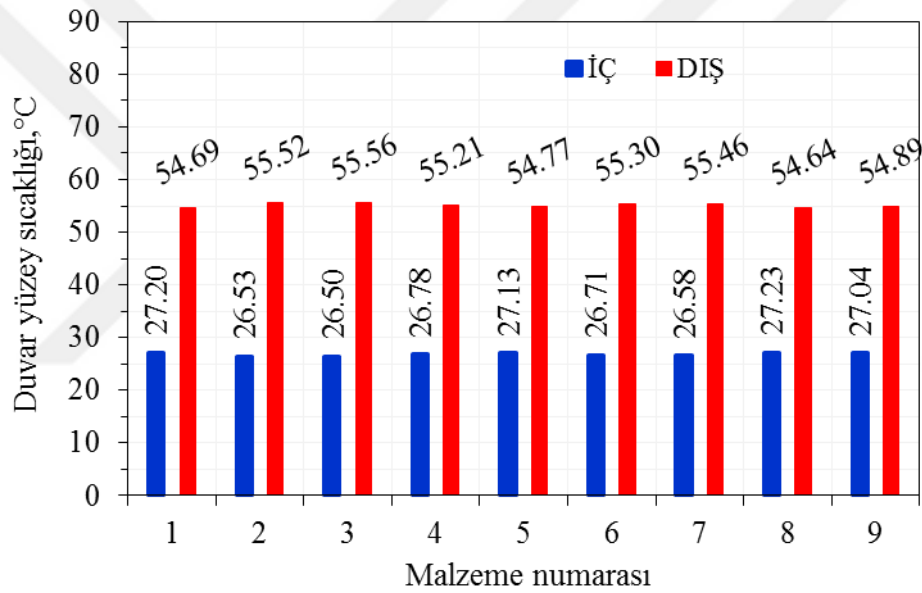


Şekil 10.56. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarda saatlik ısı kazanç değerleri

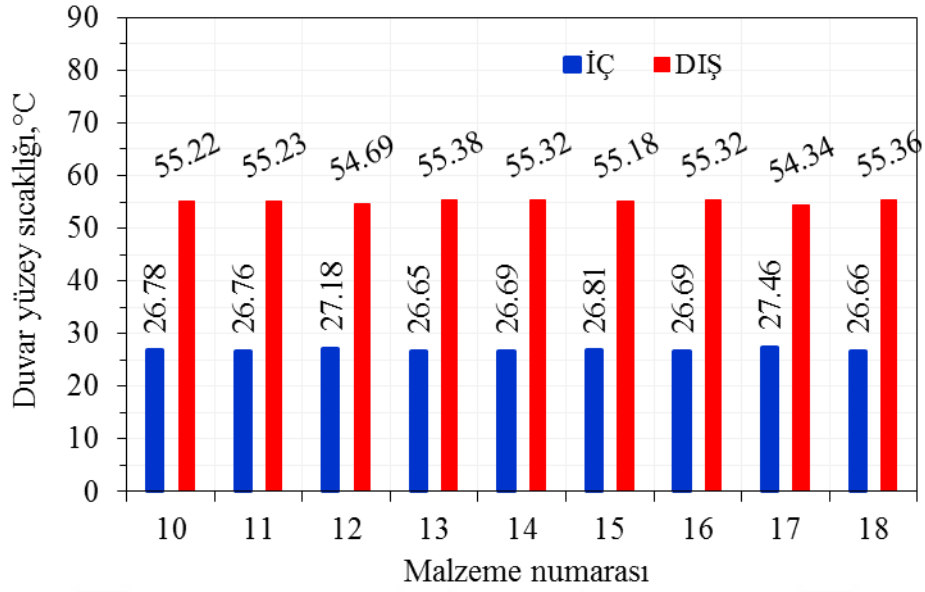


Şekil 10.57. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda saatlik ısı kazanç değerleri

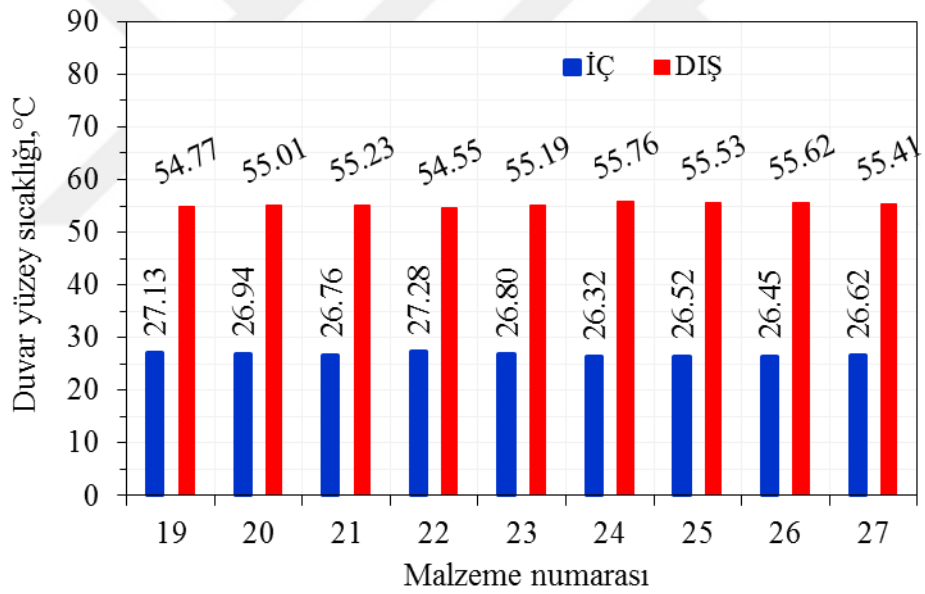
Tavan ve güneye bakan duvarlar için saatlik iç ve dış yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla Şekil 10.58, Şekil 10.59, Şekil 10.60, Şekil 10.61, Şekil 10.62 ve Şekil 10.63'te gösterilmektedir. Isı kazancında olduğu gibi iç duvar ve iç tavan sıcaklıkları ısı kazancına paralel olmaktadır. En yüksek iç yüzey sıcaklık, güney duvarında 27.46 °C ve tavan iç yüzeyinde 31.20 °C ile en yüksek ısıl iletkenlik değerine sahip olan YM17 yalıtım malzemesinde; en düşük iç yüzey sıcaklık, güney duvarında yaklaşık 26.32 °C ve tavan iç yüzeyinde 28.67 °C ile en düşük ısıl iletkenlik değerine sahip olan YM24 yalıtım malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, düşük ısıl yayılım ve iletkenliğe sahip yapı malzemelerinin bina yapılarında kullanılması, dış hava sıcaklığı yüksek olsa bile oda içinde kararlı oda sıcaklığı veya rahat bir durum sağlar.



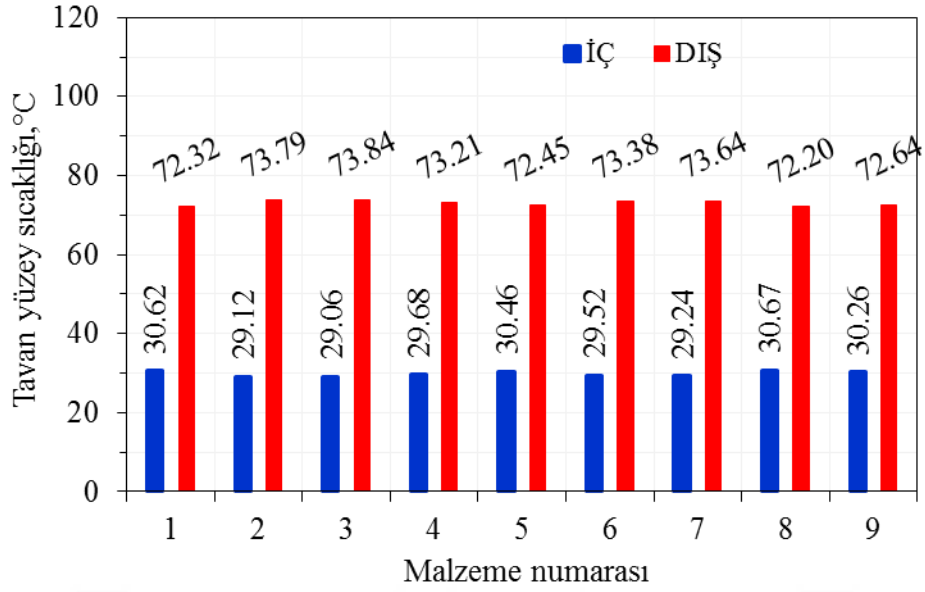
Şekil 10.58. Malzeme numarası 1 ile 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarın günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri



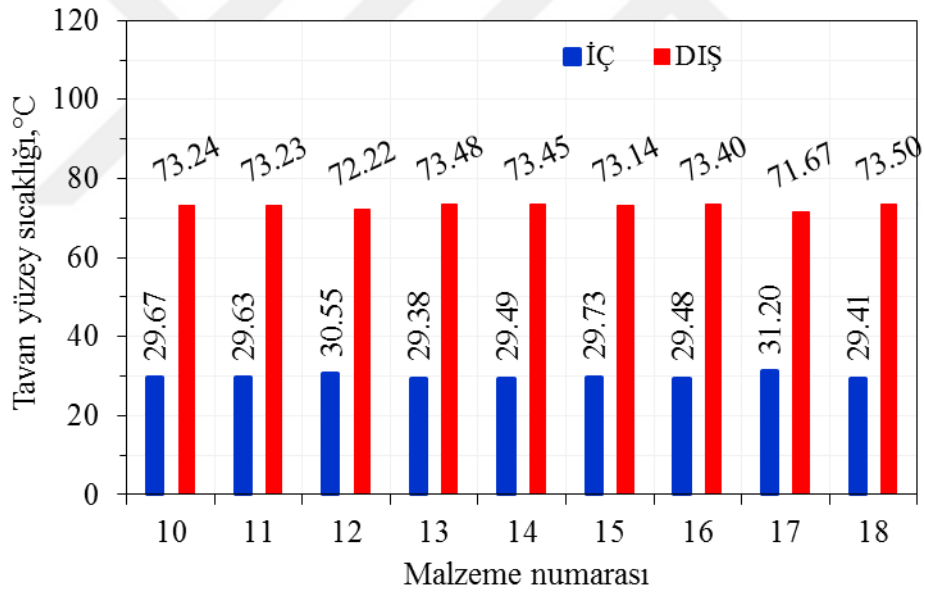
Şekil 10.59. Malzeme numarası 10 ila 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarın günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri



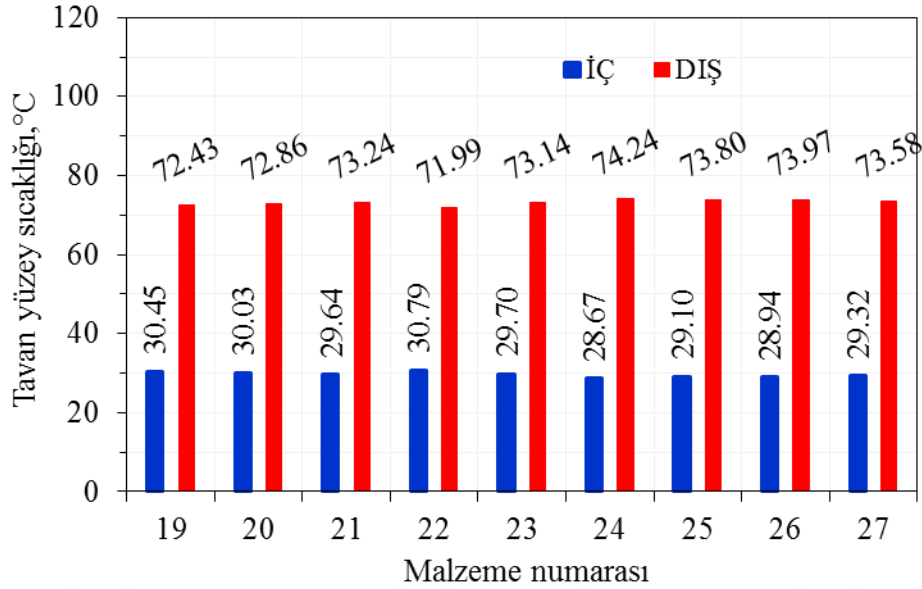
Şekil 10.60. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin D2 tipi bir duvarın günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri



Şekil 10.61. Malzeme numarası 1 ile 9 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri



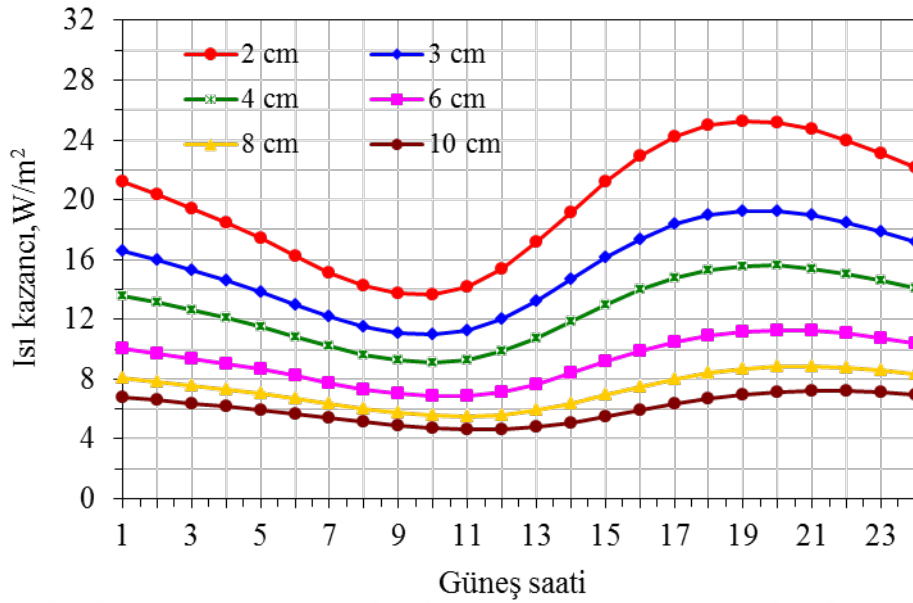
Şekil 10.62. Malzeme numarası 10 ile 18 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri



Şekil 10.63. Malzeme numarası 19 ila 27 arasında olan yalıtım malzemelerinin T2 tipi bir tavanda günlük iç yüzey sıcaklık değişimleri

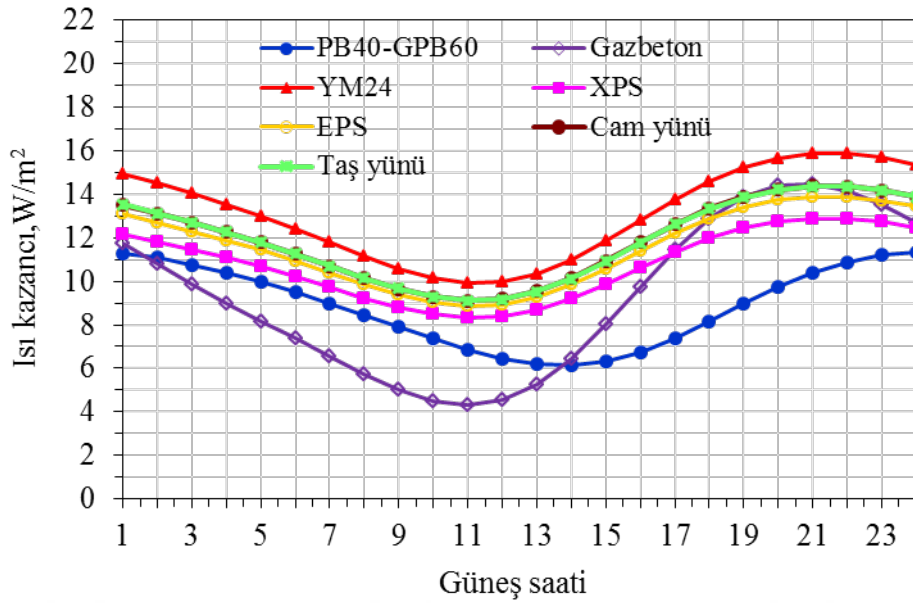
Çalışmada üretilen duvar ve mantolama malzemelerinin Türkiye'de bina duvar, tava ve yapı konfigürasyonlarında kullanıldığında, binalarda yaşayan insanlar için konforlu bir ortam ve stabil sıcaklık ortamı sağlanacaktır. Ayrıca, bina soğutma sistemlerinin kapasitelerinde, kurulum, işçilik ve işletme maliyetlerinde azalma olacaktır.

Şekil 10.64, güneye dönük yeşil renkli D2 tipi mantolama duvarında izolasyon kalınlığının ısı kazancı değerleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil incelendiğinde YM24 izolasyon malzemesinin kalınlığının ısı kazancı değerleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu görülmektedir. En yüksek ısı kazancı değeri veya genliği, yalıtım kalınlığı ile birlikte azalmaktadır. Bu ise dolaylı olarak klima kapasitesinin duvara veya yalıtım kalınlığına göre azaltıldığı anlamına gelmektedir. Duvar veya yalıtım kalınlığının artması sonucu konfor koşulları artacak, soğutma ekipmanlarının başlangıç ve işletme maliyetleri düşecektir. Bununla birlikte, izolasyon kalınlığındaki artış duvar ekonomisini ve kurulum ve hammadde maliyetlerini doğrudan arttıracığından optimum duvar kalınlığı kullanılması gerekmektedir. Çalışmada YM24 izolasyon malzemesi kullanılması halinde, 6 cm üzerindeki kalınlıkların ısı kazanç genliğini çok düşürmediğinden ekonomik olmayacağı öngörülmektedir.



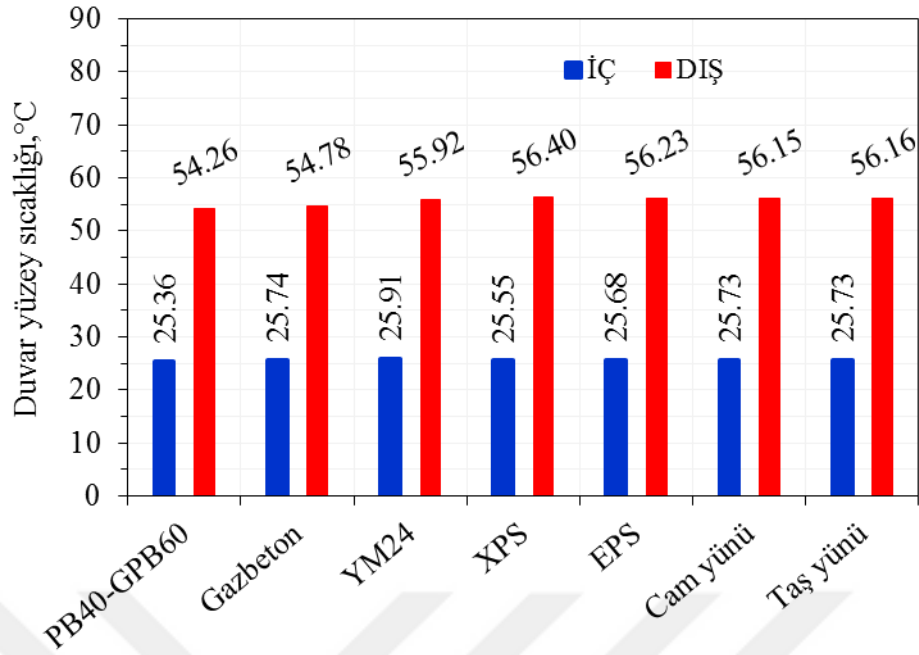
Şekil 10.64. Güneye dönük D2 tipi bir duvarda, YM24 izolasyon kalınlığının saatlik ısı kazanç değerlerine etkisi

Şekil 10.65'te yeşil renkli, güneye dönük 7 farklı duvar için saatlik ısı kazancı değerleri verilmiştir. PB40-GPB60 ve Gazbeton için mantolamasız D1 tipi duvar, izolasyon malzemeleri için ise D2 (sıva+tuğla+sıva+izolasyon) tipi duvar seçilmiştir. Şekillerden anlaşılacağı üzere kullanılan duvar tiplerinin günlük ortalama ısı kazanç değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Seçilen duvar tiplerinde en yüksek ısı kazancı en yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olan ($\lambda=0.469$ W/mK) YM24 malzemesinde ve sırasıyla; gazbeton, cam yünü, taşyünü, EPS, XPS ve en düşük ısı kazancı ise PB40-GPB60 duvar malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu duvar tiplerinin günlük en yüksek ısı kazançları sırasıyla 15.874, 14.48, 14.383, 14.377, 13.903, 12.897 ve 11.324 W/m²'dir.



Şekil 10.65. Güneye dönük farklı duvar tiplerinde kullanılan farklı malzemelerin saatlik ısı kazanç değişimleri

Tavan ve güneye bakan duvarlar için saatlik iç ve dış yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla Şekil 10.66'da gösterilmektedir. Isı kazancında olduğu gibi iç duvar sıcaklıkları ısı kazancına paralel olmaktadır. Duvar yüzeyinde oluşan en yüksek iç yüzey sıcaklık 25.91 °C ile YM24 ile oluşturulan duvar tipinde, en düşük iç yüzey sıcaklık 25.36 °C ile PB40-GPB60 malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken durum, her ne kadar YM24 malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı diğer malzemelerden yüksek olsa da çok düşük ısıl yayılım katsayısına sahip olması nedeniyle, duvar malzemesinin ısıya duyarlılığı azalmış ve dış duvar sıcaklığı diğerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 10.66. Güneye dönük farklı duvar tiplerinde kullanılan farklı malzemelerin günlük iç duvar sıcaklık değişimleri

Sonuç olarak, düşük ısı yayılım ve iletkenliğe sahip yapı malzemelerinin bina yapılarında kullanılması, dış hava sıcaklığı yüksek olsa bile oda içinde kararlı oda sıcaklığı veya rahat bir durum sağlar. Diğer taraftan PB40-GPB60 hafif beton malzemesi izolasyon olmadan kullanılan duvarda (D1) neredeyse gün boyu sıcaklık konfor şartlarında kalmıştır. Bunun sebebi beton malzemelerinin diğer malzemelere nazaran sahip olduğu yüksek ısı kütledir (thermal mass). Bununla birlikte PB40-GPB60 hafif beton malzemesi tamamen doğal malzemelerden oluştuğu ve gazbeton gibi endüstriyel bir madde olmadığından çok daha düşük maliyetle imal edilecek ve yaygın olarak kullanıldığında ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak yüksek ısı performansına sahip hafif betonların ve izolasyon malzemelerinin yapı elemanlarında duvar ve mantolama malzemesi olarak Batman gibi günlük sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin çok yüksek olduğu yerlerde kullanılması, klima kapasitelerini azaltarak yüksek elektrik tüketimini, başlangıç ve işletme maliyetlerini düşüreceği sonucuna varılmaktadır.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizin yalıtım ve yapı malzemelerindeki dışa bağımlılığını azaltacak, binaların enerji verimliliğini artıracak duvar, beton, yalıtım (mantolama) numuneleri ile teknolojilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel ve teorik olarak birçok çalışmayı içeren bu tezde, sırasıyla şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Üretilen taze beton karışımlarında tüm hafif agregaların belirli oranlarda kullanılmasıyla maksimum ve minimum çökme için 28.2 – 71.7 cm ve taze yoğunluk için 2381.91 – 755.90 kg/m³ arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Günümüzde hazır beton firmaları genel olarak betonlar için 12 cm üzeri çökme değerlerini betonun pompalanmasının rahat olabilmesi için tercih etmektedir. Bu çalışmada üretilen tüm betonların çökme değerleri belirtilen değerlerin üzerindedir ve işlenebilirliği çok yüksektir.
2. Elden edilen sonuçlara göre sertleşmiş betonların basınç dayanımları 2.94 MPa'ya kadar düşmüş ve 61.52 MPa'ya kadar artmıştır. Beton içerisine normal agregaya yerine gözenekli ve özgül ağırlığı normal agregaya göre daha hafif olan agregaların eklenmesiyle, beton içerisindeki boşluk miktarı artmış ve buna bağlı olarak basınç dayanımı azalmıştır. Diğer taraftan beton içerisinde atık lastik agregası oranı arttıkça, özellikle basınç dayanımında normal betona göre büyük düşüşler gözlemlenmesinin en büyük sebebi çimento ile atık lastik agregasının birbiriyle oluşturduğu aderansın (bağ) zayıf olmasındandır. Bununla birlikte, basınç dayanımının düşük olmasının diğer bir sebebi de hafif betonlarda kullanılan hava sürükleyici katkı maddesidir.
3. Bu çalışmada üretilen hafif betonlardan GPB10, GPB20, LB10, LB20, PB20, PB40 ve PB50 hem taşıyıcı ($\sigma_c > 17$ MPa) hem de duvar malzemesi (2.5 MPa) olarak kullanılabilir. Diğer üretilen hafif betonların tümü ise duvar malzemesi olarak kullanılabilir.
4. Üretilen beton numunelerin farklı kürlenme sürelerinde (7., 14., 28. ve 90. gün sonunda) basınç dayanım sonuçları çalışmada verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin basınç dayanımları 2.77 MPa'ya kadar düşmüş ve 68.86 MPa'ya kadar artmıştır. Kürlenme süresi arttıkça basınç dayanımı artmış ve 90. gün sonunda en yüksek dayanım değerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında, Portland 52.5 çimentosunun geleneksel

çimentolara göre daha erken kürlenme sürelerinde yüksek dayanım sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte hafif betonlarda silis dumanı kullanımının, normal betona göre betonun yüksek dayanıma erişmesi için gerek kürlenme süresini geciktirmiş olmasına rağmen 14. gün sonrasında silis dumanı etkisini göstererek, hafif betonların dayanımını yüksek bir şekilde arttırmıştır. Bununla beraber %40 ve üzeri lastik agregası içeren hafif betonların 90 günlük basınç dayanımlarının yaklaşık % 90'ını 7. gün sonunda elde etmiştir.

5. Elden edilen sonuçlara göre sertleşmiş betonların yarmada çekme dayanımları 0.62 MPa ile 3.41 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, geliştirilmiş perlit ve pomza agregalı yüksek dayanımlı olan hafif betonların çekme dayanımı bakımından normal betona göre daha yüksek çekme dayanım değerleri vermiştir. Bununla birlikte Beton içerisinde lastik agregasının kullanımında, lastik beton içerisinde lif gibi bir davranış göstermiş ve betonun yarılmamasını engellemiştir.
6. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin kuru yoğunlukları 2434.30 kg/m³ ile 693.55 kg/m³ arasında ve doymuş yüzey yoğunluk ise 2469.67 kg/m³ ile 1063.64 kg/m³ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kuru ve doymuş kuru yüzey yoğunluğundaki bu azalmalar genel olarak geliştirilmiş perlit, atık lastik ve pomza agreganın normal agregaya göre daha hafif ve gözenekli yapıda olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu gibi düşüşler betonun performansı açısından çok büyük öneme sahiptir. Çünkü beton içerisinde kullanılan hafif agrega malzemeleri, betonun sünekliğini artırarak enerjiyi yutabilme kapasitesinin artırılmasını ve bina yükünün önemli oranda azalmasını sağlamaktadır. Özellikle, depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte, dolayısıyla bina sallanırken yıkılmamaktadır
7. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin su emme kapasiteleri % 1.45 ile % 53.36 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Hafif agrega beton içerisine eklendikçe su emme kapasite değerleri artmış ve doğal olarak betonun yoğunluk değerlerini düşürmüştür. En yüksek su emme kapasitesi özellikle geliştirilmiş perlit agregası içeren hafif betonlarda meydana gelmiştir.
8. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin gözeneklilikleri % 3.54 ile % 37.01 arasında ve ultrasonik ses geçiş hızı değerleri ise 4672.90 m/s ile

1626.02 m/s arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Beton içerisinde normal agregaya yerine hafif agregaya miktarı arttıka boşluk artmış ve boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan ultra ses geçiş hızlarında bir azalma meydana gelmiştir. Diğer taraftan genleştirilmiş perlit ve pomza agregasına göre çok yüksek boşluk miktarına sahip olmayan atık lastik agregası içeren hafif betonların ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinin diğer hafif betonlara göre yüksek olması, lastiğin sesi doğrudan soğurduğunun (absorbe ettiğinin) göstergesidir.

9. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin ısı iletkenlikleri 2.075 W/mK ila 0.141 W/mK arasında ve özgül ısı değerleri ise 630.57 J/kgK ila 1122.26 J/kgK arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Beton içerisinde normal agregaya yerine hafif agregaya miktarı arttıka boşluk artmış ve boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan durgun hava miktarı arttığından betonun özgül ısı değerleri artmış ve ısı iletkenlik değerleri azalmıştır. Bununla birlikte lastik agregaya ile üretilen betonlarda atık lastik miktarının artması aynı şekilde ısı iletkenliği azaltmıştır. Pomza agregası içeriğinin artmasıyla oluşturulan numunelerin özgül ısı değerleri diğer hafif agregalı betonlara göre daha fazla arttığı gözlemlenmiştir.
10. Test edilen numunelerin ısı yayılım ile ısı iletkenlik değerleri birbirine yakın oranda değişmiştir. Genleştirilmiş perlit, pomza ve atık lastik agregaya oranının beton içerisinde artmasıyla gözeneklilik artmış bu ise ısı yayılımı azaltmıştır.
11. Üretilen yalıtım numunelerinin basınç dayanımları 47.228 kPa ila 716.877 kPa arasında ve üç nokta eğme dayanımları ise 53.790 kPa ila 671.453 kPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Perlit esaslı yalıtım malzemelerinde basınç dayanımına etki eden parametreler en çoktan en aza doğru şunlar olduğu tespit edilmiştir: yoğunluk ve buna bağlı olarak sıkıştırma oranı, karışımda kullanılan perlitin birim hacimdeki gevşek ağırlığı ve kullanılma yüzdesi, yapıştırıcı/agregaya oranı, karışımda kullanılan su ve yapıştırıcı miktarı, yapıştırıcı cinsi, küreleme sıcaklığı ve süresi, karışımda silikon olup olmama durumu, diğer katkıların miktarı, kullanılan dolgu ve sertleştirme ajanının miktarı ve cinsi, köpürtücü ajanı kullanılıp kullanılmadığı, perlit/fiber oranı, ve son olarak kullanılan fiber cinsidir. Genel olarak ince perlit ile potasyum ve lityum silikat kullanımı karma perlit agregası ve sodyum silikat yapıştırıcısına göre çok daha pürüzsüz ve

düzgün yüzeyli yalıtım malzemesi oluşmasında etkili olmuştur. Atık lastiğin perlit agrega esaslı yalıtım malzemesi içerisinde kullanımı genel olarak malzeme içerisinde fiber etkisi yaparak numunenin ikiye ayrılmasına engel olmuş ve eğme dayanımlarını arttırmıştır.

12. Üretilen numunelerde perlitin birim hacimdeki gevşek yoğunluğunun doğrudan dayanımlara etkisi baskın olmuş, buna karşın fiber katkıların yalıtım malzemelerinin dayanımında çok büyük bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. En uygun fiber/perlit oranı 1.96 ila 2.22 arasında olduğu gözlemlenmiştir. Yalıtım malzemesi içerisinde optimum orandan daha fazla fiberin kullanımının dayanımları olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte fiberleri kendi arasında karşılaştırdığımızda özellikle bazalt fiberin eğme dayanımında etkisinin baskın olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır.
13. Yalıtım numunelerin kuru yoğunluk değerlerinin sonuçları verilmiştir. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin kuru yoğunluk değerleri 126.050 kg/m^3 ila 332.450 kg/m^3 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu azalma genel olarak kullanılan genleştirilmiş perlit agregasının birim hacimdeki gevşek ağırlığına ve sıkıştırma oranına bağlı olarak gözenekliliğin artmasından kaynaklanmaktadır. Yalıtım malzemelerinde yapı içindeki boşluk miktarı arttıkça malzeme yoğunluklarında düşüş meydana gelmektedir.
14. Perlit esaslı yalıtım malzemelerinde genel olarak, sıkıştırma oranına, silikon kullanımına, kullanılan genleştirilmiş perlit agregasının ve yapıştırıcının miktarına ve cinsine bağlı olarak su emme kapasite miktarları değişmiştir. Çalışma sonucunda su yalıtımının sağlanmasında en etkili yöntemin silikon kullanımı olduğu tespit edilmiş olup en düşük su emme kapasitesi %37.448 ile YM11'de, en yüksek su emme kapasitesi ise YM24 malzemesinde % 394.353 olarak tespit edilmiştir.
15. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinin 412.77 m/s ila 1180.638 m/s arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Malzeme içerisinde boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan ultra ses geçiş hızlarında bir azalma meydana gelmiştir. Malzeme içerisinde oluşan boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması sonucunda artan hava miktarı, numunelerden geçen ses hızını düşürmekte ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Bununla birlikte farklı yoğunluklara sahip olan malzemelerde bazı kimyasal

malzeme bileşimlerinin gözeneklilik çapı ve dağılımını değiştirdiği ve bunun ise daha düşük ses geçiş hızlarının sağlanmasında yardımcı olduğu tahmin edilmektedir.

16. Elden edilen sonuçlara göre test edilen numunelerin ısı iletkenlikleri 0.0469 W/mK ila 0.0877 W/mK arasında ve özgül ısı değerleri ise 1186.99 J/kgK ila 1850.87 J/kgK arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Perlit esaslı yalıtım malzemelerinde ısı iletkenliğe etki eden parametreler en çoktan en aza doğru şunlar olduğu tespit edilmiştir: malzeme yoğunluğu ve buna bağlı olarak sıkıştırma oranı, karışımda kullanılan perlitin birim hacimdeki gevşek ağırlığı ve kullanılma yüzdesi, yapıştırıcı/agrega oranı, karışımda kullanılan su ve yapıştırıcı miktarı, yapıştırıcı cinsi, kütleme sıcaklığı ve süresi, karışımda silikon olup olmama durumu, diğer katkıların miktarı, kullanılan dolgu ve sertleştirme ajanının miktarı ve cinsi, köpürtücü ajanı kullanılıp kullanılmadığı, opaklaştırıcı kullanılıp kullanılmadığı, perlit/fiber oranı, ve son olarak kullanılan fiber cinsidir. Bununla birlikte yalıtım malzemesi içerisindeki boşluk miktarı veya gözenekliliğin artması ile doğrudan durgun hava miktarı arttığından yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerini azalmıştır.
17. Yalıtım malzemelerinin özgül ısı ile karışım malzeme ve oranlarını incelediğimizde; en yüksek özgül ısının yukarıdaki bilgiye paralel olarak magnezyum karbonat, magnezyum oksit ve alüminyum sülfat katkılı yalıtım malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir.
18. Yalıtım numunelerin ısı yayılım hızları 1.36×10^{-7} m²/s ila 2.11×10^{-7} m²/s değiştiği gözlemlenmiştir. Bu artış ve azalmalar genel olarak genişletilmiş perlit agregasının gevşek ağırlığına, sıkıştırma oranına ve kullanılan katkı cinsi ve miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada üretilen yalıtım malzemelerinin ısı yayılımlarını günümüzde kullanılan yalıtım malzemeleri ile karşılaştırdığımızda ısı yayılımlarının daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun en büyük sebebi daha öncede belirttiğimiz gibi bu malzemelerin düşük yoğunluklarından dolayı çoğu yapı malzemesinden daha yüksek ısı yayılım hızlarına sahip olmuşlardır.
19. Test edilen numunelerin termofiziksel parametreleri çoklu regresyon analizine tabi tutularak incelenmiş ve beklenildiği gibi yığınsal yoğunluk ve ısı özellikleri arasında çok önemli ilişkiler olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan analizler

sonucunda elde edilen ifadelerin (denklemlerin) kullanılmasıyla, test edilen aralıklardaki herhangi bir özelliği belli olan yapı malzemelerinin diğer önemli özellikleri kolaylıkla tespit edilebilecektir. Böylece yoğunluk gibi basit, çabuk ve ekonomik bir yöntemle elde edilen bir özelliğin, verilen denklemler kullanılarak diğer bilinmeyen tüm özelliklerin hesaplanması sayesinde zaman ve para israfından tasarruf edilebileceği ön görülmektedir.

20. Üretilen numunelerin genişlik rötreleri % 2.03 ila % -0.13, uzunluk rötreleri % 1.95 ila % -0.03 ve kalınlık rötreleri % 7.74 ila % -0.34 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak kaolin ve çinko oksit içeren numuneler daha düşük rötrelere sahip olmuşlardır. Bu değerler ASTM C610'daki rötre limitlerinin altında olup mantolama ve izolasyon malzemesi olarak yüksek sıcaklıklarda dahi kullanılabilirliğinin yüksek olduğunu göstermiştir.
21. ASTM E84 yanma testine tabi tutulan numunelerde yapılan gözlemlerde, numunenin ön sıcaklığı 925 °C'yi buluyorken arka yüzey sıcaklığı 39.7 °C olmuştur. Bununla birlikte bazı numunelerde sıcaklık 1000 °C'yi bulmasına rağmen arka yüzey sıcaklığı 45 °C'yi geçmemiştir. Bu durum üretilen yalıtım malzemelerinden yüksek sıcaklıklarda dahi ısı geçişinin düşük olduğunu ve sıcaklık artışı ile ısı iletkenlik değerinin bu malzemede çok fazla artmadığının bir göstergesidir. Bununla birlikte test sonrası üretilen numunelerin ağırlık değişimleri % 0.15 ila % 3.61 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Genel olarak atık lastik ve selüloz içeren malzemelerin ağırlık değişimlerinin daha yüksek olduğu ve bunun sebebi ise bu malzemelerin ateş testi sırasında buharlaştığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak katkı olarak kaolin, opaklaştırıcı, sodyum tetraborat, borik asit ve kolemanit içeren numuneler daha düşük ağırlık kaybına maruz kalmış olup bunun yanında yüzey aşınması çok küçük olmuştur.
22. Isı yalıtım malzemeleri üzerinde yapılan testlerin sonucunda malzeme karışımlarında bor kullanımının; yalıtım malzemelerinin dayanımlarını ve özgül ısılarını arttırmakta; ses geçiş hızlarını, şekil bozunma ve rötre değerlerini azaltmakta; yanmazlık testi sırasında yüzeyin aşınması ve malzemenin erimesini engellemekte olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu özellikleri sağlayan bor

malzemesinin yalıtım malzemesi üretiminde kullanımının ülkemiz ekonomisine çok büyük katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

23. Yapılan Bet analizi sonucunda; YM2'nin ısı iletkenlik katsayısının YM17 den düşük olmasının, YM2'nin kısmi mikrogözenekliliğinin havanın mikrogözeneklerde hapsolması ve böylelikle ısı iletkenliğinin düşüşü ile açıklanabilir. Bununla birlikte malzemelerin XRD (Kristal Yapı Analizi) profilleri incelendiğinde YM2'nin tümüyle amorf bir yapıda olduğu söylenebilir. YM17'nin ise yaklaşık $2\theta = 27^\circ$ ve 47° 'deki sırasıyla kaolin kaynaklı kuvars (Si_3O_6) ve çinko oksit (ZnO)'e ait piklerin varlığı nedeniyle YM2'ye göre kristalin bir yapı formasyonunda olduğu bu ise yüksek dayanımı sağladığı söylenebilir.
24. Isı kazancı hesaplamalarında Batman ili için ölçülen dış hava sıcaklık ve yatay yüzeye gelen güneş ışınım şiddeti değerleri kullanılmıştır. Duvar yönlerine gelen ısı kazanç değerleri hesaplandığında, tüm yüzeyler için güneş ışınım değerlerinin yarı simetrik gibi davrandığını ancak tamamen simetrik olmadığını görülmektedir. Diğer taraftan Batı yönüne gelen yaygın ışınımın Doğu yönüne göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüzey renkleri incelendiğinde ise en yüksekten en düşüğe doğru elde edilen ısı kazancı değerleri sırasıyla siyah, yeşil, kahverengi ve beyaz yüzeyler olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak Batman gibi, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti yüksek olan yörelerde binaları beyaz ya da beyaza yakın renklerde inşa edilmesi ve konutlardaki Batı duvar yüzey alanının en aza indirilmesi soğutma harcamalarını azaltacaktır.
25. Düz tavan ve duvarlar için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında sırasıyla; NB için 151.454 W/m^2 ve 65.909 W/m^2 , GPB60 için 78.668 W/m^2 ve 32.724 W/m^2 , PB100 için 58.319 W/m^2 ve 24.09 W/m^2 , LB60 için 77.85 W/m^2 ve 32.558 W/m^2 ve PB40-GPB60 için 28.194 W/m^2 ve 11.324 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Isı kazancının yüksek olması, gerek konfor, gerekse soğutma yükünün yüksek olması bakımından istenmeyen bir durumdur. Bu durum soğutma sisteminin büyümesi ve sonuç olarak ilk yatırım ve de işletme maliyetinin artacağı anlamına gelmektedir.
26. Tavan ve güneye bakan duvarlar (T1 ve D1) için günlük iç yüzey sıcaklık değerleri ısı kazancına paralel olmaktadır. Isı kazancında olduğu gibi en yüksek iç yüzey sıcaklık, güney duvarında yaklaşık 32°C ve tavan iç yüzeyinde 42.2°C

ile en yüksek ısı iletkenlik ve ısı yayılımına sahip NB malzemesinde; en düşük iç yüzey sıcaklık, güney duvarında yaklaşık 25.4 °C ve tavan iç yüzeyinde 27.4 °C ile en düşük ısı iletkenlik ve ısı yayılımına sahip PB40-GPB60 malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte hava sıcaklık değerlerinin 40 °C'yi geçtiği Batman'da duvar malzemesi olarak PB40-GPB60'nin kullanımı özellikle 9-17 saatleri arasında duvar iç yüzey sıcaklığının konfor şartları diyebileceğimiz 25 °C'nin altında olması, ısı yalıtım ve enerji tüketim açısından ne derece önemli olduğu burada ortaya çıkmaktadır.

27. Yapısal betonların tavan ve güneye bakan duvarlar için günlük ısı kazanç değerleri incelendiğinde PB50 malzemesinin yapılarda özellikle kolon, kirş ve perde beton duvarlarda, NB malzemesinin yerine kullanılmasıyla maksimum ısı kazanç değerlerinde duvar için %31.25 ve tavan için %29.44 azalma olacağı tespit edilmiştir.
28. Türkiye'de yaygın olarak kullanılan duvar malzemeleri ile ürettiğimiz PB40-GPB60 malzemesi karşılaştırıldığında, 10 cm kalınlığa sahip PB40-GPB60 duvarındaki en yüksek ısı kazancının 29.75 cm'lik tuğlaya, 15.43 cm'lik bimse ve 11,8 cm'lik gazbetona karşılık geldiği görülmektedir. Gazbeton ve PB40-GPB60 duvarlarının ısı kazançları genel olarak birbirine yakın çıkmıştır. Buna rağmen yüksek üretim maliyetleri ve sıva tutmaması gibi dezavantajlara sahip olan gazbetonun yerine ucuz bir şekilde temin edilen pomza ve perlit gibi tamamen yerli kaynaklardan kolay bir şekilde üretilen PB40-GPB60 hafif betonların kullanılması, ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimi ile işletme ve başlangıç maliyetleri düşürmede önemli olduğu tespit edilmiştir.
29. Mantolamalı duvarlar (D2) ve tavanlar (T2) için 24 saat içerisindeki maksimum ısı kazanç değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısı kazanç değeri YM17 mantolama malzemesinde; duvar için 28.69 W/m², tavan için 59.79 W/m² ve en düşük ısı kazancı değeri YM24 yalıtım malzemesinde; duvar için 19.257 W/m², tavan için 38.777 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte en yüksek iç yüzey sıcaklık 27.46 °C ve tavan iç yüzeyinde 31.20 °C ile YM17 yalıtım malzemesinde; en düşük iç yüzey sıcaklık 26.32 °C ve tavan iç yüzeyinde 28.67 °C ile YM24 yalıtım malzemesinde olduğu tespit edilmiştir.
30. İzolasyon malzemesinin kalınlığının ısı kazancı değerleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu görülmektedir. En yüksek ısı kazancı değeri veya genliği,

yalıtım kalınlığı ile birlikte azalmaktadır. Bununla birlikte, izolasyon kalınlığındaki artış duvar ekonomisini ve kurulum ve hammadde maliyetlerini doğrudan arttıracığından optimum duvar kalınlığı kullanılması gerekmektedir. Çalışmada YM24 izolasyon malzemesi kullanılması halinde, 6 cm üzerindeki kalınlıkların ısı kazanç genliğini çok düşürmediğinden ekonomik olmayacağı öngörülmektedir.

31. Dünyada en yaygın olarak kullanılan XPS, EPS, taş yünü, cam yünü, gazbeton gibi yalıtım malzemeleri ile bu çalışmada üretilen YM24 yalıtım ve PB40-GPB60 duvar malzemelerinin ısı performansları karşılaştırıldığında tüm malzemelerin ısı kazançları birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte en düşük iç yüzey sıcaklık 25.36 °C ile PB40-GPB60 malzemesinde olduğu tespit edilmiş olup her ne kadar YM24 malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı diğer malzemelerden yüksek olsa da çok düşük ısı yayılım katsayısına sahip olması nedeniyle, duvar malzemesinin ısıya duyarlılığı azalmış ve YM24'ün dış duvar sıcaklığı diğerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
32. Düşük ısı yayılım ve iletkenliğe sahip yapı malzemelerinin bina yapılarında kullanılması, dış hava sıcaklığı yüksek olsa bile oda içinde kararlı oda sıcaklığı veya rahat bir durum sağlar. Diğer taraftan PB40-GPB60 hafif beton malzemesi izolasyon olmadan kullanılan duvarda (D1) nerdeyse gün boyu sıcaklık konfor şartlarında kalmıştır. Bununla birlikte PB40-GPB60 hafif beton malzemesi tamamen doğal malzemelerden oluştuğu ve Gazbeton gibi endüstriyel bir madde olmadığından çok daha düşük maliyetle imal edilecek ve yaygın olarak kullanıldığında ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak yüksek ısı performansına sahip hafif betonların ve izolasyon malzemelerinin yapı elemanlarında duvar ve mantolama malzemesi olarak Batman gibi günlük sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin çok yüksek olduğu yerlerde kullanılması, klima kapasitelerini azaltarak yüksek elektrik tüketimini, başlangıç ve işletme maliyetlerini düşüreceği sonucuna varılmaktadır.
33. Isı performansları Türkiye'de yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerine yakın, üstün mekanik özellik ve yangın direncine sahip, içerdiği bileşenler bakımından maliyeti düşük ve işçiliği kolay olan perlit esaslı yalıtım malzemelerinin endüstride ve inşaat sektöründe kullanılması ile hem ülkemizin

enerji israfı ve dışa bağımlılığı azalacak hem de yangın oluşumundan kaynaklanan can ve mal kayıpları en aza inecektir.



KAYNAKLAR

- Akıncı, H., 2007, Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.*
- Akyüz, S., ,1991, "Betonun Dünü Bugünü Yarını", 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanırlık Beton, Kardeşler Matbaası , TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,, sf.53-67
- Albert, B. J., & Ludlow, E. W. ,1928,. *U.S. Patent No. 1,693,015*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Al-Hazmy, M. M. ,2006,. Analysis of coupled natural convection–conduction effects on the heat transport through hollow building blocks. *Energy and Buildings*, 38,5,, 515-521.
- Al-Jabri, K. S., Hago, A. W., Al-Nuaimi, A. S., & Al-Saidy, A. H. ,2005,. Concrete blocks for thermal insulation in hot climate. *Cement and Concrete Research*, 35,8,, 1472-1479.
- American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, & American National Standards Institute. ,2004,. *Thermal environmental conditions for human occupancy* ,Vol. 55, No. 2004,. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Anonim, 2015, eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/55/Agregalar.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2015, <http://www.nkfu.com/cam-elyafi-nedir-ozellikleri-nelerdir> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2015, <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/karbon-fiber-nedir/16486#ad-image-0> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2016, http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici_12.04.2014_4E1P.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2016, <http://www.enerjibes.com/piranometre-nedir-ne-ise-yarar/> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

- Anonim, 2016, <http://www.molarkimya.com/icerik/sodyum-hidroksit-boncuk> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2016, <https://tr.linkedin.com/pulse/ts-825-standard%C4%B1-ve-binalarda-is%C4%B1-yal%C4%B1t%C4%B1m-kerem-arisoy> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2016, <https://tr.scribd.com/document/37399023/silica-PQ> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2016, <https://www.besoglu.com/blog/bazalt-elyaf/> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.izoder.org.tr> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://akbelkimya.com.tr/sodyum-bikarbonat-148-urun> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, http://www.askimya.com/sodyum_karbonat-910_tr_cd.html [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.etimaden.gov.tr/ch/product/bor-kimyasal-esdegerleri-ogutulmus-kolemanit> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.gaz.gen.tr/karbondioksit-gazi.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.koronagroup.com.tr/tr/zhidkosti/zhidkost-gkzh-11k-gkzh-11n22.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.mikroteknik.com.tr/polivinil-alkol-17-88-s202.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/aluminyum-hidroksit> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/borik-asit> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/cinko-oksit> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/merck-asetik-asit-3910> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/merck-formamid> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/merck-hidrojen-peroksit-cae> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/merck-sodyum-klorur-ff6> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/merck-sodyum-tetraborat-c54> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/sodyum-karboksi-metil-seluloz> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/tri-sodyum-fosfat> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <http://www.pl-desskimya.com.tr/urundetay.asp?UrunID=185&GrupID=2> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://kalsiyum.gen.tr/kalsiyum-klorur.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.asit.gen.tr/fosforik-asit.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.hidrojen.gen.tr/hidrojen-peroksit.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.karbonat.org/magnezyum-karbonat.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.kimyaborsasi.com.tr/a/aluminyum-sulfat-13.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.kimyaborsasi.com.tr/k/krom-oksit-yesil-75.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.kimyaborsasi.com.tr/m/magnezyum-oksit-84.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2017, <https://www.onlineistatistik.com/single-post/2016/12/31/Matlab-Nedir-Hangi-Amaclarla-Nerelerde-Kullanilir>
- Argunhan, Z., 2017, Yapı elemanlarında kullanılan atık lastiklerin ısı performansının incelenmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 8 (3), 621-230.
- ASTM C138, 2001, Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content, Gravimetric, of Concrete, United States: ASTM International.
- ASTM C143,1993, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM C165-07, 2012, Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations, United States: ASTM International.

- ASTM C303-10, 2016, Standard Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block and Board-Type Thermal Insulation, *United States: ASTM International*.
- ASTM C356- 17, 2017, Standard Test Method for Linear Shrinkage of Preformed High-Temperature Thermal Insulation Subjected to Soaking Heat, *United States: ASTM International*.
- ASTM C496, 2004, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, *United States: ASTM International*.
- ASTM C610-17, 2017, Standard Specification for Molded Expanded Perlite Block and Pipe Thermal Insulation, *United States: ASTM International*.
- ASTM E84-17, 2017, Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials, *United States: ASTM International*.
- ASTM, C1240-03, 2005, Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures, *Annual Book of ASTM Standards*.
- ASTM, C136, 2005, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, *Annual Book of Standards*.
- ASTM, C203-99, 1999, Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation. *ASTM International: West Conshohocken, PA*.
- ASTM, C260, 2001, Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete, *United States: ASTM International*.
- ASTM, C39, 2001, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, *ASTM International*.
- ASTM, C597, 2009, Standard test method for pulse velocity through concrete. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- ASTM, C948, 2000, Test Method for Dry and Wet Bulk Density. *Water Absorption, and Apparent Porosity of Thin Sections of Glass-Fiber Reinforced Concrete, The American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA*.
- Aydın İ., 2010, Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ayres, J. M., & Stamper, E. ,1995,. *Historical development of building energy calculations* ,No. CONF-950104--,. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA ,United States,.
- Azizi, S. ,2007,. Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Bajpai, S.K., Jadauna,M., Tiwari, S., 2016, Synthesis, characterization and antimicrobial applications of zinc oxide nanoparticles loaded gum acacia/poly,SA, hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 153, 60–65.
- Bansal, K., Chowdhury, S., & Gopal, M. R. ,2008,. Development of CLTD values for buildings located in Kolkata, India. *Applied Thermal Engineering*, 28,10,, 1127-1137.
- Bansal, N. K., Garg, S. N., & Kothari, S. ,1992,. Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings, *Building and Environment*, 27,1, 31-37.
- Bayrakçı, H. C., Davraz, M., & Başpınar, E. ,2011,. Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 1,2,.
- Bayraktar, D., 2016, Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7,1,, 59-66.
- Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., & Quéneudec, M. ,2008,. Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling. *Construction and Building Materials*, 22,4,, 573-579.
- Best, C. H., & Helgerson, L. ,1978,. *Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*. ASTM International.
- Bhatia, A. 2007. Cooling Load Calculations and Principles Course Book Continuing Education and Development, Inc.
- Bouguerra, A., Ledhem, A., De Barquin, F., Dheilily, R. M., & Queneudec, M., 1998, Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates, *Cement and concrete research*, 28, 1179-1190.
- Bowen, O. G., ve Novell E. W., 1952, Building material and process of making same. U.S. Patent No: 2,583,292.
- Brunauer, S., 1943, The Adsorption of Gases and Vapors. Vol. I, Physical Adsorption, Princeton Univ. Pres, NJ.
- Brunauer, S., Deming, L.S., Deming, W.E., Teller, E., 1940, On a theory of the Van der Waals adsorption of gases. *J. Am. Chem. Soc.*, 62, 1723-1732.
- Cavanaugh, K., McCall, M. S. B. W. C., Speck, J. F., Musser, T. W. B. D. W., Spinney, S. C., Ries, K. D. C. J. P., Graber, D. W., 2002, Guide to thermal properties of concrete and masonry systems,*American Concrete Institute, ACI*.
- CEES, 2004, Soluble Silicates, Chemical, Toxicological, Ecological and Legal Aspects of Production, Transport, Handling and Application [online], Centre European d'Etude des Silicates.

- Chandra, S., & Berntsson, L. ,2002,. Applications of Lightweight Aggregate Concrete, Lightweight Aggregate Concrete Science, Technology, and Applications. *New York: William Andrew Inc*, 369-400.
- Chen, H. T., & Lin, J. Y. ,1991,. Application of the hybrid method to transient heat conduction in one-dimensional composite layers. *Computers & Structures*, 39,5,, 451-458.
- Cheng, V., Ng, E., & Givoni, B. ,2005,. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate, *Solar Energy*, 78,4,, 528-534.
- Choo, V. K., 2000,. *FUNDAMENTALS OF COMPOSITE MATERIALS*. Society of Manufacturing Engineers.
- Clarke, J. L., 1993. Structural Lightweight Aggregate Concrete, Blackie Academic & Professional, London, England.
- Çengel, Y. A., Tanyıldızı, V., & Dağtekin, İ. ,2011,. *Isı ve kütle transferi*. Güven Kitabevi.
- Çetinel, G., Esenli, F., & Baş, H. ,1996,. Diğer Endüstri Mineralleri 1. *Yeni Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, DPT Raporu*,,1996,, ,2421,.
- Demir, İ. H., 2014, Bina Dış Duvarları İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi ve Maliyet Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Demirboğa, R., & Gül, R. 2003, Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures, *Energy and Buildings*, 3511, 1155-1159.
- Demirboğa, R. 2007, Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures, *Building and Environment*, 427, 2467-2471.
- Demirboğa, R., & Gül, R. 2003. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 335, 723-727.
- Demirboğa, R.,Örüng I., Gül R., 2001, Effects of Expanded Perlite Aggregate and Mineral Admixtures on the Compressive Strength of Low-Density Concretes, Cem, and Conc, Res, Vol.32, p.1627-1632.
- Doğan, H., Şener, F. ,2004,. Hafif Yapı Malzemeleri ,Pomza, Perlit, Ytong, Gazbeton, Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler, Haber Bülteni, 1, 51-53.
- Doğmuş, R., 2016, Hafif agregalar kullanılarak yalıtım özelliği yüksek duvar yapı malzemelerinin geliştirilmesi, ısı ve ses performanslarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Dos Santos, W. N. ,2008,. Advances on the hot wire technique. *Journal of the European Ceramic Society*, 28,1,, 15-20.
- DPT, 2004, Yapı Malzemeleri III Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyon Raporu, s.24-49.
- Duffie Jone, A., & Beckman William, A. ,1991,. Solar Engineering of Thermal Process. *John Wiley& Sons Inc.*
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., & Özgan, E. ,2009,. Lastik Agregali Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24,3,.
- Erdal, G., Erdal, H., & Esengün, K. 2008, The causality between energy consumption and economic growth in Turkey, *Energy Policy*, 3610, 3838-3842.
- EuroLightCon.,2000, Proposal for a recommendation on design rules for high strength LWAC, economic design and construction with lightweight aggregate concrete. Document no. BE96-3942/R39; 2000.
- Fu, X., & Chung, D. D. L. 1997, Effects of silica fume, latex, methylcellulose, and carbon fibers on the thermal conductivity and specific heat of cement paste, *Cement and concrete research*, 2712, 1799-1804.
- Gay, D. ,2014,. *Composite materials: design and applications*. CRC press.
- Gerow, S. A., & Weidman, V. W. ,1972,. *U.S. Patent No. 3,658,564*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Gooding, W., & Temple, R. ,1973,. *U.S. Patent No. 3,719,510*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Gustavsson, M., Karawacki, E., & Gustafsson, S. E. ,1994,. Thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat of thin samples from transient measurements with hot disk sensors. *Review of Scientific Instruments*, 65,12,, 3856-3859.
- Gündüz, L. ,2008,. The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties. *Construction and Building Materials*, 22,5,, 721-728.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., & Çankıran, O. ,1998,. Pomza Teknolojisi. *Cilt, 1*, 285.
- Hahn, D. W., Özzisik, M. N. ,2012,. Heat conduction. John Wiley & Sons.
- Handbook, A. S. H. R. A. E. ,1993,. Fundamentals; ASHRAE: Atlanta. *New York, NY, USA*, 27-27.
- Harben, P. ,1995,. The industrial minerals handbook: a guide to markets, specifications, & prices. London. *Industrial Minerals Division/Metal Bulletin PLC*.

Hashemian, S., Sadeghi, B., Parsaei, 2015, Y. Adsorption of 2-picoline and 3-Amino-2-picoline Onto Kaolin and Organo-modified Kaolin. *Orient. J. Chem.*, 31,2,, 1147-1154.

<http://homelinessis.com/tr/pages/8404> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI_ENG/2_rocnik/TRaCM/Inorganic%20Binders.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

<http://www.karmabilgi.net/isinin-yayilma-yollari>[Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

<http://www.kimyamuhendisi.com/index.php/dokumanlar/projeler-tezler/207-is-yal-t-m-malzemeleri>

http://www.solublesilicates.eu/docs/solsil_broch_1411.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

<https://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-1230&Bilgi=%C4%B1s%C4%B1>[Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

<https://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-1551&Bilgi=amitler> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].

IUPAC, 1985, Reporting Physisorption Data For Gas/Solid Systems With Special Reference to The Determination of Surface Area And Porosity. *Pure Appl. Chem.*, 57 ,4,, 603-619.

in Concrete,Cement and Concrete Research33, s.73-76.

Kalaycı, F. 2016, Perlit Esaslı Isı Yalıtım Malzemesi Üretimi, Yüksek lisans tezi, *Kahramanmaraş Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Karakoç, M. B., & Demirboga, R. ,2008, September,. Thermo-mechanical properties of HSC made with expanded perlite aggregate. In *Excellence in Concrete Construction through Innovation: Proceedings of the conference held at the Kingston University, United Kingdom, 9-10 September 2008* ,p. 195,. CRC Press

Karakoç, T. H., Binyıldız, E., & Turan, O. 1999, *Binalarda ve tesisatta ısı yalıtımı*, ODE.

Khatib, Z. K., & Bayomy, F. M. ,1999,. Rubberized Portland cement concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 11,3,, 206-213.

Kidner, M.R.F., and Hansen, C.H. ,2008,.A Comparison and review of Theories of the Acoustics of Porous Materials. *AVCG School of Mechanical Engineering the University of Adelaide*. June 24. S.Australia.

Kızar, S., 2017, Atık lastiklerin bina yapı ve duvar elemanlarında kullanılabilirliğinin araştırılması, ısıl ve ses performanslarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Kist, B., & Kigali, R. ,2008,. A review on construction technologies that enables environmental protection: rubberized concrete. *Am. J. Engg. & Applied Sci*, 1,1,, 40-44.
- Klieger, P. ,1994,. *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials* ,Vol. 169,. ASTM International.
- Kogel, J. E. ,Ed., ,2006,. *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. SME.
- Konuk, H. 2015, Hafif Agregalı Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Konuk, H., 2003. Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Kerkhoff, B. ,2002,. *Design and control of concrete mixtures* ,Vol. 5420, pp. 60077-1083,. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Kumbasar, I. ,1977,. *Silikat mineralleri*. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi.
- Kurşun. İ., İpekoğlu. B. ,1995, Türkiye Kuvars Kumu Potansiyeline Genel Bir Bakış. 1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu ,İzmir,.
- Kwon, J. S., Jang, C. H., Jung, H., & Song, T. H. ,2009,. Effective thermal conductivity of various filling materials for vacuum insulation panels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52,23,, 5525-5532.
- Lane, D.S. ,1994,. ‘Thermal properties of aggregates’, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169C, West Conshohocken, PA: *American Society for Testing and Materials*, 438–445.
- Lee, J.M., Jackson L.,1969, Perlite composition, porous low density perlite structure and method of making same, *U.S. Patent No 3,445,253*.
- Malhotra, V. M., 1999, Role of supplementary cementing materials in reducing greenhouse gas emissions, In *Infrastructure regeneration and rehabilitation improving the quality of life through better construction, International conference* pp. 27-42.
- Manek, R. V., Builders, P. F., Kolling, W. M., Emeje, M., & Kunle, O. O., 2012,. Physicochemical and binder properties of starch obtained from *Cyperus esculentus*. *Aaps Pharmscitech*, 13,2,, 379-388.
- Matsuda, T., Tanaka, K., & Taura, K. ,1976,. *U.S. Patent No. 3,957,501*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- McQuiston, F. C., & Parker, J. D. ,1982,. Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design.

- Mehta P.K., Monteiro P.J.M. ,1997,: “Concrete Microstructure, Properties and Materials”, Chapter 8: Admixtures, Indian Concrete Institute, Chennai, pp.256-271
- Mindess, S. & Young, J. F. , ,1981,, Concrete, Pentice-Hall, Ine.,New Jersey
- DPT, 2001, Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel ihtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- MTA, 2013, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kaolin> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Neville A. M. 1996. Properties of Concrete, 4th Ed., ELBS, Addison Wesley Longman Ltd., Harlow, England, ISBN 0582 279380.
- Oktaç, H., 2013, Farklı agregalardan üretilen betonun özelliklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Oktaç, H., Yumrutaş, R., & Akpolat, A. 2015, Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes, *Construction and Building Materials*, 96, 217-225.
- Ozbalta, N. 2010, The effects of insulation location and thermo-physical properties of various external wall materials on decrement factor and time lag, *Scientific research and essays*, 523, 3646-3659.
- Özgül, H.N. ,2008,. *Gürültü Kontrolü*. Ankara: Türk Akustik Derneği Yayını . 35-196.
- Patrick, S. R., Patrick, D. R., & Fardo, S. W. ,1993,. *Energy conservation guidebook*. The Fairmont Press, Inc..
- Perlite Institute, 2010, Perlite Production Guide, Inc: Commack, NY, 11725.
- Real, S., Bogas, J. A., Gomes, M. D. G., & Ferrer, B., 2016, Thermal conductivity of structural lightweight aggregate concrete. *Magazine of Concrete Research*, 6815, 798-808.
- Rossignolo, J. A., Agnesini, M. V., & Morais, J. A. ,2003,. Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 25,1,, 77-82.
- Rubacı E., 2006, Yaşanan Konutlarda Enerji Tasarrufu, Martav Yalıtım A.S, s. 25-36
- Sabnis, G. M. ,Ed., ,2015,. *Green building with concrete: sustainable design and construction*. CRC Press.

- Samanta, S. C. ,1984,. *U.S. Patent No. 4,446,040*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Sams, R. H., Newton W. M.C., 1969, Expanded silicate particles. U.S. Patent No: *3,450,547, 1969*.
- Sancak, E. 2005. Silis dumanı katkılı bimsbetonların özellikleri. *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Saygılı, H., 2015, Bazı bitkisel posalardan nano-gözenekli aktif karbonlar üretilmesi ve bazı adsorpsiyon uygulamalarında kullanılabilirliğinin incelenmesi, Doktora, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Semhere, H. ,2000,. *U.S. Patent No. 6,068,795*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., & Tasdemir, M. A. ,2011,. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings, 43,2,, 671-676*.
- Serin, G., Çankıran, O., Başyigit, C., Fenkli, M., & Taş, H. H. 2007, Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 15-22*.
- Shan, X.; Zhang P.; Song L.; Hu Y.; Lo S.: “Compound of Nickel Phosphate with Ni,OH,,PO₄,2 Layers and Synergistic Application with intumescent Flame Retardant in Thermoplastic Polyurethane Elastomer”,*Industrial&Engineering Chemistry Research, 50 ,2011, 7201-7209*
- Short, A., & Kinniburgh, W., 1963, *Lightweight concrete*, CR books.
- Sidney Mindess, Young J.F. and David Darwin 2003. *Concrete*, 2nd edition, New Jersey: Prentice hall.
- Smith, R. C. and Andres, C. K. 1989, *Materials of Construction*, IV.Edition. Singapore, Mc Graw hill Book Co., 352-358.
- Spitler, J. D., McQuiston, F. C., & Lindsey, K. L. ,1993,. CLTD/SCL/CLF cooling load calculation method. In *the 1993 Winter Meeting of ASHRAE Transactions. Part 1, Chicago, IL, USA, 01/23-27/93* ,pp. 183-192,.
- Standard, A. S. H. R. A. E. ,1989,. Ventilation for acceptable indoor air quality. *Atlanta, 62, 1989*.
- Standard, A. S. H. R. A. E. ,1999,. Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. *ASHRAE/IESNA Standard, 90,1,*
- Swift, B. L., & Kissell, R. E., 2016,. *U.S. Patent No. 9,434,854*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Şen A. O., 2006, Şen Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiyede Yalıtım, Yüksek lisans tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Taşdemir, M.A. ,1984,. Taşıyıcı Hafif Betonların Mukavemet ve Deformasyon Yeteneğine Hafif Agregaya Boyutunun Etkisi, Kuzey Doğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu, Erzurum, 367-384.
- Thakur, A. K. S. ,1982,. Periodic heat transfer through an inhomogeneous medium. *Letters in Heat and Mass Transfer*, 9,5,, 385-394.
- Think harder concrete, Cement Association of Canada 2013, www.cement.ca/en/Think-harder-Concrete.html. [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: 2005/399 2005. ‘Yalıtım’ s.7-15,19-37,81-104
- Topinkova M., 2015, Inorganic binders [online], VŠB, Technical University of Ostrava,
- TS EN 1097-3,1998, *Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler Bölüm, 3.*
- TS EN 1097-6, 2000, *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm,6.*
- TS EN 12350-6, 2000, *Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm, 6.*
- TS EN 12390-1, 2002, Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil. *Boyut ve diğer Özellikleri, Türk Standardları Enstitüsü.*
- TS EN 12667, 2003, Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performansları-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncinin tayini, s. 151.
- TS EN 1744-1, 2000,*Tests for chemical properties of aggregates—part 1: chemical analysis.*
- TUIK, 2016, Türkiye İstatistik Kurumu 2016, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21507> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Turgut, P., & Yesilata, B. ,2008,. Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks. *Energy and Buildings*, 40,5,, 679-688.
- Ulgen, K. ,2002,. Experimental and theoretical investigation of effects of wall’s thermophysical properties on time lag and decrement factor. *energy and buildings*, 34,3,, 273-278.
- Ulus, İ., *Ham perlit agregası kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliğinin araştırılması* , Doktora tezi ,Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Doktora tezi, 2007,[in Turkish],.

- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., & Gül, R. ,2004,. The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete. *Cement and concrete research*, 34,5,, 845-848.
- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., & Gül, R. 2004. The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete. *Cement and concrete research*, 34,5, 845-848.
- Vaou, V., & Panias, D., 2010, Thermal insulating foamy geopolymers from perlite. *Minerals Engineering*, 2314, 1146-1151.
- Vogel, E. G., & Westlund, R. C. ,1982,. *U.S. Patent No. 4,336,068*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Volker, W. ,1970,. *U.S. Patent No. 3,505,262*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Washa, G.W. , 1956,. Properties of Lightweight Aggregates and Lightweight Concretes, *ACI Journal*, 53, 375-382,
- Yates, P. ,1973,.*U.S. Patent No. 3,718,491*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Yu, L.H.,Ou, H.,and Lee, L.L., 2003, Investigation on Pozzolanic Effect of Perlite Powder
- Yumrutaş, R., Kaşka, Ö., & Yıldırım, E. ,2007,. Estimation of total equivalent temperature difference values for multilayer walls and flat roofs by using periodic solution. *Building and Environment*, 42,5,, 1878-1885.
- Yumrutaş, R., Ünsal, M., & Kanoğlu, M. ,2005,. Periodic solution of transient heat flow through multilayer walls and flat roofs by complex finite Fourier transform technique. *Building and Environment*,40,8,, 1117-1125.

ÖZGEÇMİŞ



KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan OKTAY
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : 26.06.1984 ANKARA
Telefon : (507) 241 69 33 **Dahili:** (488) 217 39 91
E-mail : oktayhasan50@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mobil Lisesi, Bayrampaşa, İSTANBUL	2002
Üniversite	: Gaziantep Üniversitesi, Şahinbey, GAZİANTEP	2008
Yüksek Lisans	: Gaziantep Üniversitesi, Şahinbey, GAZİANTEP	2013
Doktora	: Batman Üniversitesi, Merkez, BATMAN	Devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2006	Almak Makine Sanayi A.Ş.	Stajyer
2007	Kale Kilit Sanayi A.Ş.	Stajyer
2010-Halen	Batman Üniversitesi Müh-Mim. Fak.	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Termodinamik, Enerji, Isı Transferi, Isıl Yalıtım, Biyodizel Yakıtlar

YABANCI DİLLER

İngilizce (Yüksek düzeyde)

YAYINLAR

SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

Oktay H., Yumrutaş R., Akpolat A. Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes.”, Construction and Building Materials 2015:96:217–25.

Behcet R., Yumrutas R., Oktay H. Effects of fuels produced from fish and cooking oils on performance and emissions of a diesel engine, *Energy* 2014:71:645-55.

Behcet R., Oktay H., Çakmak A., Aydın H. Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015:46:157–65.

Diğer hakemli yabancı dergilerde yayınlanan makaleler

Isık M. Z., Budak N., Adin H., Topkaya T., Oktay H. Sample of Batman in determination of urban solid waste management and recycling potential, *International journal of physical sciences* 2012:7:5815-20.

Hakemli konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar

Argunhan Z., Yıldız C., Yumrutaş R., Oktay H. Konsantrik Boru Tip Isı Değiştiricilerinde Farklı Delik Sayılı Türbülötörlerin Isı Transferine Ve Basınç Düşüşüne Etkisinin İncelenmesi, *Anadolu Enerji Sempozyumu 2011*:128-35.

Oktay H., Behcet R. Comparison of Exhaust Emissions of Biodiesel Fuels from Waste Oil, *XIX International Symposium on Alcohol Fuels, Italy 2011*.

Yumrutaş R., Oktay H., Zainal O. Binalarda Duvarlardan Gelen Isı Kazanımı Hesaplamasında Kullanılan Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı (CLTD) Değerlerinin Hesaplanması, *X. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu 2012*.

Oktay H., Yumrutaş R. Experimental Investigations on Thermophysical Properties of Concrete Produced From Different Aggregates, *XI. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu 2014*.

Oktay H., Argunhan Z., Yumrutaş R., Işık M. Z., Budak N. Çok Katmanlı Duvar ve Çatı Tiplerinin Isıl ve Fiziksel Özelliklerinin Dinamik Isıl Karakterlerine Olan Etkisinin İncelenmesi, *Anadolu Enerji Sempozyumu 2015*:76-86.

Işık M. Z., Aydın H., Yücel H. L., Budak N., Oktay H., Bayındır H., Aspir ve Kanola Biyodizeli Kullanımının Egzoz Emisyonu ve Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi, *Anadolu Enerji Sempozyumu 2015*:190-8.

Budak N., Yücel H. L., Işık M. Z., Oktay H. Konsantrik Tip Bir Isı Değiştiricisinde Türbülötörlerin Etkisinin Sayısal İncelenmesi, *Anadolu Enerji Sempozyumu 2015*:251-61.

Fidan Ş., Polat S., Oktay H. Determination of Thermal Insulation Properties of Lightweight Building Materials Using Artificial Neural Network for Energy Efficient Buildings, *Anadolu Enerji Sempozyumu 2015*:352-60.

PROJELER

Batman Şartlarında Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin Ekonomik Analizi ve Uygulanması, *Batman Üniversitesi BAP 2013*, Süre:2 yıl (Sonuçlandı).