



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YAPILARDA KULLANILAN BETON
KAPLAMA PLAKALARININ, ISI
İZOLASYON KAPASİTELERİNİN
ARTIRILMASINA YÖNELİK HAMMADDE
ARAŞTIRMASI

ANIL KOÇAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Anıl KOÇAŞ tarafından hazırlanan “Yapılarda Kullanılan Beton Kaplama Plakalarının, Isı İzolasyon Kapasitelerinin Artırılmasına Yönelik Hammadde Araştırması” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.

Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile 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.

İmza

Anıl KOÇAŞ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

YAPILARDA KULLANILAN BETON KAPLAMA PLAKALARININ, ISI İZOLASYON KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASINA YÖNELİK HAMMADDE ARAŞTIRMASI

Anıl KOÇAŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mehmet Kemal GÖKAY

2019, 66 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Mehmet Kemal GÖKAY
Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY
Dr.Öğr. Üyesi İbrahim ÇINAR

İnşaat sektörü gün geçtikçe gelişim gösteren bir faaliyet alanı olarak dikkat çekmektedir. Son yıllarda ülkemizde bu alanda yapılan araştırmaların bir kısmı ısı izolasyonu ile ilgilidir. Bu sebeple ısı izolasyon değeri yüksek ve düşük yoğunluğa sahip inşaat hammaddeleri bu sektörde aranılan malzemeler olmuştur.

Bu tez kapsamında ısı iletkenlik değeri ve yoğunluk değeri düşük doğaltaş ocağı satış ürünlerinden beton kaplama plakalarının üretilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında Konya ili civarında faaliyet gösteren 3 farklı volkanik kayaç malzemesinin kullanımına karar verilmiştir. İlk malzeme; Konya ili sınırları içerisinde yer alan Evliyatekke mahallesi civarındaki tüf ocağındaki atık malzemelerdir. Bu tüfün yoğunluğu $0,9 \text{ ton/m}^3$ civarındadır. Malzemenin ana içeriği silis, demir ve alüminyum bileşikleridir. Kullanılan ikinci hammadde Konya'ya 145 km mesafede, Aksaray ilinde madencilik yapılan Aksaray pomza taşıdır. Bu malzemenin yoğunluğu $1,2 \text{ ton/m}^3$ civarındadır. Aksaray pomzasının ana içeriği silis ve demir bileşikleridir. Kullanılan üçüncü hammadde Konya'ya 200 km mesafeden, Nevşehir'den getirilen pomza taşıdır. Nevşehir pomzasının ana içeriği silis, demir ve alüminyum olup yoğunluğu $1,0 \text{ ton/m}^3$ civarındadır.

Üretimi planlanan beton kaplama plakaların üretilmesi için hammadde olarak, Evliyatekke köyü civarındaki tüf ocağında, tüf blok üretimi sırasında ortaya çıkan "atık tüf kayaç parçaları"nın bertarafı planlanan bu üretim çalışmalarının bir başka amacıdır. Bu tüf sahasında planlanan açık ocak çalışmalarında, tüf-blok üretim veriminin düşük olacağı beklenilmektedir. Bu nedenle uygun özelliklere sahip kayaç rezervlerinin farklı amaçlara yönelik olarak üretim yaparken ortaya çıkan atık-artık kısımlarının ısı izolasyonu amaçlı olarak hammaddeye çevrilmesi doğal çevreyi koruma açısından da önemlidir. Isı izolasyonu değeri iyi olan beton kaplama plakalarını üretebilmek için; bu üç hammadde farklı oranlarda, farklı agrega boyutlarında karıştırılarak beton harçları hazırlanmıştır. Bu harçlardan elde edilen farklı ürünlerin ısı geçirgenliği aynı şartlarda belirlenerek bu hammaddelerden hazırlanabilecek en uygun karışım konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton kaplama plakaları, Isı yalıtımı, Pomza, Tüf.

ABSTRACT

MSc THESIS

RAW MATERIAL RESEARCH TO IMPROVE HEAT INSULATION CAPACITY OF CONCRETE CLADDING PLATES OF STRUCTURES

Anıl KOÇAŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering**

Advisor: Prof.Dr. Mehmet Kemal GÖKAY

2019, 66 Pages

Jury

**Prof.Dr. Mehmet Kemal GÖKAY
Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY
Dr.Öğr. Üyesi İbrahim ÇINAR**

Construction sector in civil engineering applications has gradually expanding in last decades in Turkey. In recent years, certain researches have been carried out in heat insulation subjects to improve energy conservation of constructions in Turkey. Light weight aggregates usage for constructions which especially have high heat insulation properties have gradually been increased in different manner in construction sector in Turkey.

Within the scope of this thesis, it was aimed to produce concrete cladding plates from the raw materials, which have low densities and high insulation properties, supplied by quarries. Within the scope of the thesis, it was decided to use 3 different volcanic rock materials mined near Konya region. The first raw material was the tuff material classified as “waste” due to their sizes in planned open pit quarry near Evliyatekke village (Konya). The density of this tuff is approximately 0.9 ton/m^3 . The main contents of the material are silica, iron and aluminum compounds. The second raw material which was selected for the work was Aksaray pumice material. Related pumice quarries are 145 km away from Konya city. Density of pumice material supplied through these quarries is around 1.2 ton/m^3 . The main contents of Aksaray pumices are silica and iron compounds. The third raw material was also pumice materials supplied through quarries near Nevsehir city, which is 200 km away from Konya. Density of pumice material supplied through these quarries is around 1.2 ton/m^3 .

Evliyatekke tuffs are planned to be operated by open pit mining methods. Tuff-blocks were planned to cut from main reserve rock masses. Waste or remains of tuff rocks at this open pit mine are going to be deposited (planned) near the quarry. These waste tuff materials were aimed to handle one of the raw materials to produce concrete claddings. This application was planned to handle waste usage of the planned tuff mine which is positive impact on natural environments. Aksaray tuff and Nevsehir pumice materials are construction materials extracted from the related quarries. They have been classified according to their aggregate grain sizes. In order to produce concrete cladding plates with improved heat insulation value, it was proposed to produce the most suitable concrete by mixing these three raw materials in different aggregate sizes on different mixture proportions. The aim was selected to supply related sizes and proportion rations of selected raw materials to lead economic products which have improved heat insulation properties of construction.

Keywords: Concrete cover plates, Heat insulations, Pumice, Tuffs

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, enerji sarfiyatında çok önemli yere sahip olan ısı yalıtımlı beton kaplamaların, farklı hammaddelerin karışımı kullanılarak üretilmesi ele alınmıştır. Yaygın olarak kullanılan farklı konut ısı yalıtım yöntemleri gözden geçirilerek, bu çalışma için özellikle, yapıların dış duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kaplamaları ele alınmıştır. Beton esaslı dış kaplama levhalarının ısı yalıtım özelliklerini farklılaştıran harç hammadde karışım oranlarının iyileştirilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada desteğini esirgemeyen tez danışmanın Prof. Dr. M.Kemal Gökay’a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen Dr. Kemal Doğan’a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmayı hazırlamamda ve hayatımın her aşamasında, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve hep yanımda olan ailem ve dostlarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Anıl KOÇAŞ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. ISI YALITIMI VE FARKLI ISI YALITIM YÖNTEMLERİ	2
2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı	2
2.1.1. İletim (Kondüksiyon) ile Isı Transferi	3
2.1.2. Isı Taşınımı (konveksiyon) ile Isı Transferi	4
2.1.3. Isı Işınımı (radyasyon) ile Isı Transferi	5
2.1.4. Sıcak Yüzeylerde Isı Kaybı	6
2.1.5. Soğuk Yüzeylerde Isı Kaybı	6
2.2. Isı Yalıtımı	7
2.2.1. Yalıtımın Amacı	7
2.2.2. Yalıtımın Türleri	7
2.2.3. Isı Yalıtımı Tanımlaması	8
2.2.4. Dünyada ve Türkiye’de Isı Yalıtımı Gelişimi	10
2.2.5. Isı Yalıtım Uygulamaları	12
2.3. Isı Yalıtım Malzemeleri	15
2.3.1. Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)	15
2.3.2. Ekspande Polistren Köpük (EPS)	16
2.3.3. Cam Yünü	16
2.3.4. Taş Yünü	17
2.3.5. Poliüretan Sert Köpük (PUR)	17
2.3.6. Fenol Köpüğü (PF)	18
2.3.7. Cam Köpüğü (CG)	18
2.3.8. Genleştirilmiş Perlit (EPB)	19
2.4. Beton Plakalar İle Genel Bilgiler ve Yapılarda Kullanımı	19
2.4.1. Yapılarda Beton Plaka Uygulaması	21
2.4.2. Beton Plakaların Isıl İletkenlik Katsayıları	21
2.4.3. Doğal Lifli Çimento Levhalar	23
2.4.4. İnorganik Lifli Çimento Levhalar	23
2.5. Yapı Malzemelerinin Isı Kapasitelerini Belirleme Yöntemleri	24
2.5.1. Isıl İletkenlik Ve Isı Geçirim Katsayılarının Tanımı	24
3. BETON PLAKA YAPIMI VE KULLANILAN MALZEMELER	28
3.1. Tüfler	28
3.1.1. Tüflerin Oluşumu	28
3.1.2. Tüflerin Genel Özellikleri	29
3.1.3. Tüflerin Kimyasal Yapısı	30
3.1.4. Tüflerin Arazideki Özellikleri	31
3.1.5. Türkiye’de Tüflerin Dağılımı	31
3.2. Pomza Taşı	32

3.3. Kullanılan Çimento Özelliği.....	33
3.4. Kullanılan Kireç Özelliği.....	34
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
4.1. Beton Plaka Üretim Yöntemi.....	35
4.1.1. Dökme Tekniği ile Beton Plaka Üretimi	35
4.1.2. Presleme Tekniği İle Plaka Üretimi.....	38
4.2. Isı Geçirim Kapasitesinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar	41
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	44
5.1. Isı Geçirim Sonuçları Ve Yorumlanması.....	44
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	Santigrad
g	Gram
mm	Milimetre
cm	Santimetre
°K	Kelvin
λ	Isıl İletkenlik Katsayısı
BP	Beton Plakalar
PP	Preslemiş Plakalar
dk	Dakika
km	Kilometre

1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınma, refah ve gelişmelerini sağlamada birincil derecede önemli olan enerji, son yüzyılda uluslararası ticaret sisteminin en stratejik araçlarından biri haline gelmiştir. Bilindiği üzere ülkemiz enerji ihtiyacının büyük kısmını ithal eden ülkeler arasında olup, bu enerjinin daha verimli kullanılması ve en yüksek seviyede tasarrufunun sağlanması gerekmektedir. Ülkemizde kullanılan enerji kaynaklarının bir kısmı yapılarda ortam sıcaklığını (ısıtma/soğutma) ayarlamak için kullanılmaktadır. Bu nedenle farklı amaçlar için kullanılan yapıların ısınma veya soğutma (iklimleme) giderlerinin azaltılması enerji tasarrufu sağlamak için çok önemlidir.

Yapılarda ısı yalıtımını sağlamak adına çeşitli malzemeler ve farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı ise yapıların dışarıdan ısı yalıtım malzemesi ile kaplanmasıdır. Ülkemizde yapılan yapılarda beton kaplama plakaları çoğunlukla yapının dış görünümünü düzenlemek amacıyla kullanılmaktadır. Beton kaplama plakaları, uygulandıkları yapılara farklı bir dış görsellik katarken, uygulanma aşamalarının (işçilik) kolaylığı konusunda da avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında normal beton harç malzemesinden yapılan kaplama levhalarının ısı yalıtım özelliklerinin istenilen seviyede olmadığı da fark edilmektedir. Bu nedenle ülkemizde yapılan binalarda yekpare betonarme yapılan binaların (bina hacim ayırma duvarlarının beton olduğu konutlar) ısı ve ses geçirme özelliklerinin fazla olması nedeniyle sağlam olmasına rağmen tercih edilmedikleri bilinen bir durumdur.

Bu çalışmada; Konya, Aksaray ve Nevşehir yöresinde doğal olarak bulunan ve yıllardır konut yapımında kullanılan volkanik kayalar (tüf ve pomza taşları) beton kaplama plakası üretilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışma hammadde çalışması niteliğindedir. Amaç hedefe uygun hammadde karışımını elde ederek, madenciligi yapılan ve satışa sunulan sınırlı rezervlere sahip volkanik kayalardan en fazla faydayı sağlamaktır. Bu yörelerdeki volkanik kayaların beton kaplama plaka yapımında kullanılabilirliği, farklı hammadde karışım oranlarıyla üretilen beton kaplama plakalarının ısı yalıtım özelliklerindeki farklılaşmalar laboratuvar deneyleri yapılarak incelenmiştir.

2. ISI YALITIMI VE FARKLI ISI YALITIM YÖNTEMLERİ

2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı

Isı; maddeler arasında sıcaklık farkı olmasından dolayı, maddeler arası geçiş yapan bir enerjidir. Isı, sıcaklığı yüksek olan maddeden sıcaklığı düşük olan maddeye doğru geçer bu olay ısı geçişi olarak adlandırılır. Sıcaklık hissedilen bir ölçü olup ölçmeye yarayan santigrat termometresi suyun donma sıcaklığı ile kaynama sıcaklığının arasındaki sıcaklık seviye farkının 100 eşit parçaya bölünmesiyle oluşturulmuştur, (Karakaş, 2018). Bir maddenin sıcaklığı arttıkça iç yapısındaki titreşim artmaktadır.

Sıcaklık; maddeyi oluşturan moleküllerin ortalama kinetik enerjisini ifade etmektedir. Bu enerjinin değeri büyükse madde sıcak, küçükse madde soğuktur. Maddelerin sıcaklığı, aldıkları veya verdikleri ısı enerjisine bağlıdır.

Yapı endüstrisinde, ısı yalıtımını etkileyen en önemli parametreler, sıcaklığın belirli seviyede tutulmaya çalışıldığı hacimlerin büyüklüğü, bu hacimleri çevreleyen duvarların nitelikleri ve dış ortam sıcaklığıdır. İklimleme olarak da isimlendirilen bu faaliyetlerde enerji kayıplarının en aza indirilmesinin önemi büyüktür. Isı geçişlerinin yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olduğu göz önüne alındığında, sıcaklığı korunmak istenen bir oda sıcaklığının (20 °C), ülkemiz şartlarında yüksek dış ortam sıcaklığına (yaz aylarında, en fazla 40-45 °C), göre soğutulması, veya düşük dış ortam sıcaklıklarına göre (kış aylarında, en düşük -20 °C), ısıtılması gerekecektir. Oda sıcaklığının belirli bir seviyede tutulabilmesi için harcanan enerji, odayı çevreleyen duvarların ısıyı geçirme katsayılarına göre, odayı dış ortamla kaç kere temasa geçirildiğine (Kapı, pencere açılarak odanın havalandırılması gibi) göre de değişecektir. Bu açıdan bakıldığında özellikle yapıları çevreleyen dış duvarların ısı yalıtım özellikleri önem taşımaktadır. Isı yalıtım işlemleri bazen yapılarda yapılacak yalıtım işlemlerinin getirisine göre (ekonomik olma durumu) veya ısı yalıtım uygulamasının ekonomikliğine bakılmaksızın yüksek enerji tasarrufuna göre yapılabilmektedir.

Yapılarda sıcak yüzey yalıtım yapılmasındaki amaç, ısı kaybını minimum seviyelere getirmektir. Soğuk yüzey yalıtımında hedef biraz daha farklıdır. Bu tür yalıtım çalışmalarında ısı kazancının yanı sıra, terleme ve donmanın olumsuz etkilerinden yapıyı korumak asıl amaçlardandır. Soğuk ve sıcak yüzey yalıtımlarında ısı

kaybı veya kazancı taşınım ve ışınlımla gerekleştėđi için ısı durumlarının incelenmesinde bunların toplamı etkisi hesaba katılarak incelemelerde bulunulur (Karakaş, 2018).

Isı, sıcak taraftan soğuk tarafa bir madde üzerinden geçerken o maddenin kalınlığına ve ilgili maddenin fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişen ısı iletim katsayısına göre bir dirençle karşılaşır. Bu direncin yüksek olduğu malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Termodinamik kurallar düşünüldüğünde maddeler arasındaki ısı transferi  yolla gerçekleşmektedir, bunlar; iletim, taşınım ve ışınlımdır. Maddelerin ısı geçirgenlik veya yalıtkanlık özelliklerini etkileyen bu ısı geçiş yolları aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1.1. İletim (kondüksiyon) ile ısı transferi

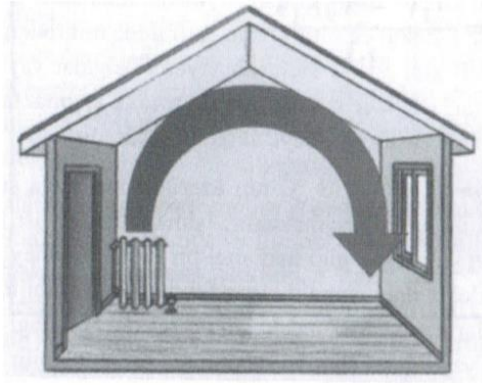
Enerji seviyesi yüksek olan parçacıkların enerji seviyesi düşük olan parçacıklara enerji aktarması sonucu kondüksiyonla ısı geçişi oluşmaktadır. Her malzemenin kendine özel ısı iletim katsayısı bulunmakta olup bu durum birim kalınlıktaki ısı geçiş hızını ifade etmektedir. Isı iletim katsayısı, malzemelerin yoğunlukları ile doğru orantılı olmakla beraber, malzemelerin gözeneklilik oranı ile ters bir ilişkisi vardır. Sıvıların ısı iletim özelliği moleküller arası mesafesi fazla olan gazlardan daha yüksektir (Altınışık, 2006).

Bu tür (iletim yöntemi) ısı yayılması katı maddelerde görülen ısı transferi türüdür. Bir katı maddenin herhangi bir molekülü ısı enerjisi kazandığı zaman bu enerjinin bir kısmını yanındaki moleküle iletir. Isı aktarılmış olan bu molekül de aynı şekilde bağlı olduğu diğer moleküllere ısıyı aktararak iletim (kondüksiyon) yoluyla ısı transferini tamamlamış olur. Katılar sıvılara göre, sıvılar da gazlara nazaran daha yüksek iletkenliğe sahip maddelerdir. Bu açıdan bakıldığında, molekül yapısı sık ve yoğun olan maddeler ısı iletimi konusunda daha verimlidir (Karakaş, 2018).

2.1.2. Isı taşınımı (konveksiyon) ile ısı transferi

Hareket edebilen sıvı veya gaz moleküllerin ısı enerjisini aktarma yoludur. Hava gibi akışkan ortam içerisinde hareketler vasıtasıyla ısı transferi gerçekleşir. Isı transferi akışkan içindeki farklı sıcaklıklar ve bunların madde içinde oluşturduğu yoğunluk farklılaşması nedeniyle gerçekleşir. Isınan akışkan madde de “yoğunluk” azalırken sıvı maddenin hacmi de artar. Oluşan bu yoğunluk farkı, akışkan ortam içinde moleküllerin hareket etmesine sebep olur. Bu hareket sonucunda ısınmış haldeki ve ısı enerjisi taşıyan moleküllerin yer değiştirmesiyle ısı da yer değiştirmiş olur. Isı taşınma yönü yüksek ısı enerjisi olan taraftan düşük olan tarafa doğrudur (Karakaş, 2018).

Taşınım; sıcaklıkları farklı hareketli bir ortam ve bu ortamı sınırlandıran yüzey arasında gerçekleşmektedir. Isı taşınım katsayısını hesaplamak kolay olmamakla beraber, deneysel olarak bulunan formüller yardımıyla hesaplanabilir. Isı taşınım katsayısını etkileyen faktörler, ısı iletim katsayısı, yoğunluk, viskozite, akışkan hızı ve akış özellikleridir. Mühendislik genelindeki hesaplamalarda, ortalama ısı taşınım katsayısı kullanılmaktadır (Altınışık, 2006) .



Şekil 2.1. İç hacimde ısı taşınımı (Topçuoğlu, 2017)

Isı taşınımı iki şekilde gerçekleşmektedir bunlar; doğal taşınım ve zorlanmış taşınımdır. Doğal ısı taşınımı akışkanlar içerisinde bulunan farklı sıcaklıklardaki moleküllerin farklı etkileşimlerle yaptıkları hareketleri sonucu oluşur. Şekil 2,1’de görüldüğü gibi radyatörün üzerinde ısınan havanın odanın diğer kesimlerine ulaşması ve soğuyan havanın yoğunluğunun artarak yerçekimi etkisiyle aşağıya doğru inmesi doğal taşınıma verilebilecek örnekler arasındadır (Karakaş, 2018).

Zorlanmış taşınımında, ısıнын taşınabilmesi için özel bir tertibat kurulup akışkan maddenin hareket etmesi için bir dış etki olması gerekmektedir. Yapılarda kullanılan sıcak suyun ısıtılması ve borular içinde kalorifer peteklerine doğru pompalanması, ısıнын ısıtma lokasyonundan, kazandan, yapı içinde farklı katlara ve hacimlere (odalara, salonlara, koridorlara) taşınması, uygulanan “zorlanmış ısı taşınım” örneklerindendir. Kısaca, bir dış etki sonucu ortamdaki akışkan madde hareket ettiriliyorsa, bu işlem “zorlanmış ısı taşınımını” oluşturmaktadır. Ortamdaki ısı taşınımı, ortamın içinde bulunan maddelerin yoğunluk farkları sonucu yerçekimi etkisiyle oluşuyorsa, bu işleme “doğal ısı taşınımı” denilmektedir (Karakaş, 2018).

2.1.3. Isı Işınımı (radyasyon) ile Isı Transferi

Elektromanyetik dalgalar yardımıyla hareket eden ısı, fiziksel bir ortama ihtiyaç duymamaktadır. Elektromanyetik dalgalar katı, sıvı veya gaz formunda bulunan bir maddeyle temas kurması halinde enerjilerinin bir kısmını bu cisimlere aktarır, bir kısmı cisimlerden yansır ve bir kısmı da cismi geçerek yoluna devam eder (Altınışik, 2006). Işınım yoluyla ısı transferi, belirli bir sıcaklık seviyesinde olan maddelerin elektromanyetik dalgalar yaymasıyla oluşur. Bu yolla gerçekleşen ısı yayılım veya iletimine, termal radyasyon ya da ısınım denir. Bir başka açıdan açıklırsa, sıcaklığı 0°K 'den yüksek olan her cismin içerisinde bulunan moleküller titreşir. Bu cisimler içlerinde depolanmış kinetik enerji nedeniyle radyo dalgaları, mikrodalga, infrared ve ultraviyole gibi dalgalar yayarlar. Işıma yoluyla ısı transferi oluşabilmesi için herhangi bir katı, sıvı veya gaz ortama ihtiyaç duyulmamaktadır. Uzay boşluğundan geçerek Dünyaya ulaşan ve ısıtan güneş ışınları, ısınım ile ısıнын yayılmasına verilebilecek en güzel örnektir (Temel, 2013).

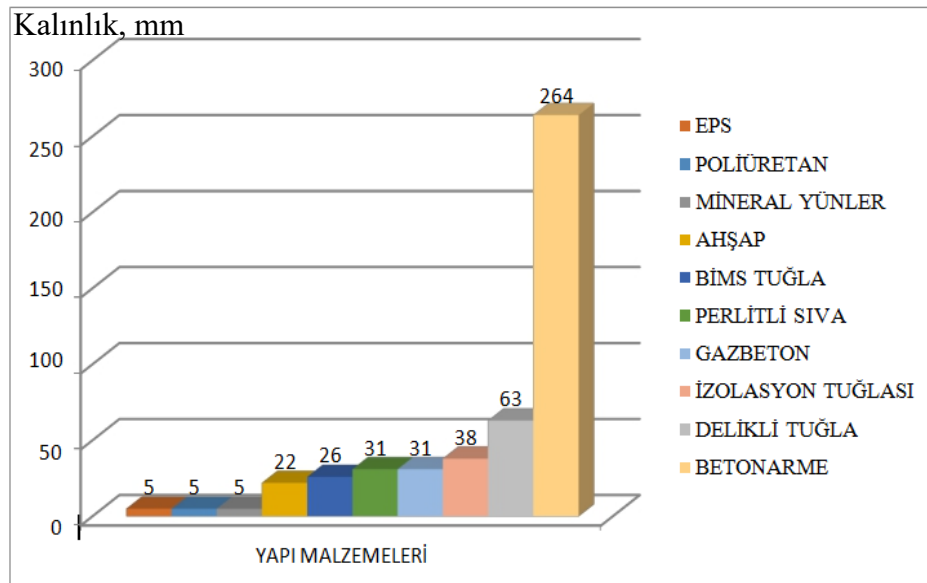
Işınım ile ısı geçişinde ısı, ortamda madde olmasına ihtiyaç duymaksızın elektromanyetik dalgalar aracılığıyla gerçekleşir ve cisimler bu dalgalar yardımıyla enerjiyi yayar veya yutarlar. Stefan- Boltzmann yasasına göre bir cismin birim zamanda birim yüzeyinden ısınım yayma gücü, yüzeyin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır (Temel, 2013).

2.1.4. Sıcak Yüzeylerde Isı Kaybı

Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı sıcak ortamdan soğuk ortama doğru geçiş yapar. Yapılarda uygulanan yalıtım malzemelerinde, yalıtım malzemelerinin içinde ve yüzeylerinde ışıınım ve taşınım yoluyla ısı transferi gerçekleşmektedir (Karakaş, 2018).

2.1.5. Soğuk Yüzeylerde Isı Kaybı

Düşük sıcaklıklı ortamların yalıtımında amaç mühendislik açısından hedef alınan ortama ısı girişini önlemektir. Sıcaklık seviyesi ayarlanmak istenen hedef ortamın, dış ortamdan sıcak olması istenen durumlarda, yapılması gereken, düşük iç hacim sıcaklıkta hedeflenen durumun tersidir. Soğuk ortam yalıtımında dış ortam iç ortama göre daha sıcaktır. Termodinamiğin 2. yasası uyarınca sıcak ortamdan soğuğa doğru ısı geçer. Düşük sıcaklık ortamı ayarlamaları için yapılan yalıtım hesaplamalarında, yüksek sıcaklık ortamı oluşturmak için yapılan yalıtım hesaplamalarında kullanılan eşitlikler kullanılabilir. Sıcaklık seviyesi ayarlanmak istenen hacimleri çevreleyen duvarların yapımında kullanılan yapı elemanlarının, sıvalarının ve kaplamalarının ısı geçirgenliklerini anlamak için Şekil 2.2’de verilen grafikler malzemelerin ısı geçirgenlik / yalıtkanlık değerleri için fikir verecektir.



Şekil 2.2. Malzemelerin aynı ısı yalıtım değerini sağlaması için olması gereken kalınlıklar (Topcuoglu, 2017)

2.2. Isı Yalıtımı

2.2.1. Yalıtımın Amacı

Bir yapının, yapılış amacı, kullanıcılarına hizmet vermesi ve değerini yıllarca muhafaza edebilmesidir. Ancak yapıların bu özelliklerini sürdürmesi, yapıların iç ve dış olumsuzluklara karşı iyi korunması ile olabilir. Yapıları olumsuz etkileyebilecek iç ve dış etkenlerden korunabilmesi yapıda ısı yalıtım uygulaması olup olmaması ile ilgilidir. Yalıtım; yapıların taşıyıcı sistemleri ve tüm yapı bileşenlerinin, tüm bu iç ve dış etkenlerden korumayı, sağlıklı ve konforlu yaşam alanları yaratmayı amaçlar. Yalıtım, yapı ile birlikte yapı sakinlerini de korumayı hedeflemektedir. Yapıların ömrünün uzaması, bakım maliyetlerinin düşürülmesi, yapı sakinleri için sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarının yaratılması yalıtımın temel amacıdır.

2.2.2. Yalıtımın Türleri

Yapılarda uygulanan yalıtım farklı tür ve amaç içinde incelenebilir. Bunlar, ısı yalıtımı, su yalıtımı, ses yalıtımı ve yangın yalıtımıdır.

Isı yalıtımı: Bütün ekonomileri etkileyen 1974 dünya petrol krizi sonrası, enerji ve enerji fiyatları dünya gündeminin en önemli konusu olmuştur. Enerjinin tasarruflu kullanımı ele alındığında, özellikle yapılar söz konusu olduğunda ısı yalıtımı önemli bir yer teşkil etmektedir.

Su yalıtımı: Yapıların, su ve nemden oluşabilecek olumsuzluklara karşı korunması gerekliliği gün geçtikçe yeni örnekler ile karşımıza çıkmaktadır. Su yalıtımı ile yaşamakta olduğumuz yapıların yapısal özelliklerinin korunması ve ömürlerinin uzatılması ana amaçtır.

Ses yalıtımı: Günümüz dünyasının içinde bulunduğu gürültü kirliliğindeki artış, insanoğlunun ruh ve beden sağlığını tehdit etmektedir. Bu durumda yaşama ve çalışma ortamlarının sese karşı yalıtımı ihmal edilemeyecek kadar önemlidir.

Yangın yalıtımı: Yapının herhangi bir yerinde yangın çıkarsa, bu yangının kısa sürede diğer kısımlara yayılması kuvvetli muhtemeldir. Çıkacak yangının zararlarını aza

indirmek için yapı elemanlarında yapılan uygulamalara yangın yalıtımı denmektedir (Çomaklı ve ark., 2005).

2.2.3. Isı Yalıtımı Tanımlaması

Isı Yalıtımı insanların yaşam ortamlarında konforlu ve kaliteli bir hayat geçirmeleri; ortamın 20-25°C sıcaklık ve %50 bağıl nem değerine sahip olması ile mümkün olmaktadır. Kış mevsiminde genellikle dış ortam sıcaklıkları 20°C'nin oldukça altında olmaktadır. Yaz aylarında ise sıcaklıklar 20°C'nin oldukça üstünde olmaktadır. Bu nedenle yapılarda; kışın enerji kayıpları, yazın ise istenmeyen enerji kazançlarına sebep olmaktadır. Yapı içinde istenen konforun oluşabilmesi için kış aylarında kaybedilen ısıнын tercih edilen bir ısıtma sistemiyle sağlanması ve yaz aylarında kazanılan ısıнын bir soğutma sistemiyle iç ortamdaki arındırılması gerekmektedir. Isıtma ve soğutma işlemleri için yüksek seviyelerde enerji harcanır. Bir yapıda ısı kazanç ve kayıplarının sınırlandırılması; ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tüketilmesi beklenen enerji miktarının azaltılması demektir.

İklimlendirme süreçleri; sıcak veya soğuk akışkan, tercih edilen ısıtma veya soğutma sisteminin tesisatları aracılığıyla taşınması gerekmektedir. Bu süreçte enerji verimini düşüren ısı transferleri meydana gelmektedir.

Yapılarda ve tesisatlar da ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme ısı yalıtımı denir. Teknik olarak ısı yalıtımı, farklı sıcaklıktaki iki ortamın birbirleri arasında ısı geçişini azaltmak için uygulanır. Günümüzdeki enerji sorunu göz önünde bulundurulduğunda, yapı konforunun minimum enerji kullanarak sağlanması büyük bir önem arz etmektedir.

Ülkemiz başta olmak üzere diğer ülkelerde de enerji ihtiyaçları gelişen teknoloji ve sanayiyle beraber gün geçtikçe artmaktadır ancak; enerji kaynaklarımız ve enerji üretimimiz gün geçtikçe azaldığı da unutulmamalıdır. Bilindiği üzere yapılarda; dış duvarlar, tavanlar, merdivenler, pencereler, ısıtılmayan hacimler üzerindeki döşemeler, zemin döşemeleri ve açık geçitler üzerindeki döşemeler ısı kaybı yaşanan lokasyonlardır (Şekil 2.3). Bu lokasyonların yalıtılmaması durumunda enerji tüketimi artmaktadır. Yapılardaki toplam ısı kayıplarının; % 10'u döşemelerde (temeller), % 10-25'i pencerelerde, % 20'si tavanlarda, % 15-35'i dolgu duvarlarda, % 50'si dış cephede oluşmaktadır (Ekinçi, 2003).



Şekil 2.3. Yapılarda ısı kayıpları (Yaman ve ark., 2015)

Isı yalıtımı sayesinde yapılarda ki ısı kayıp ve kazançlarının önüne geçilmesinin yanı sıra yapılarda; nem, rutubet ve korozyona karşı da büyük ölçüde korunma sağlanmaktadır. Yani bir yapıya uygulanan ısı yalıtımı; yapının ömrüne pozitif etki ederek yapı ömrünün artmasını sağlar. Isı yalıtımı sayesinde yapılarda, taşıma ve destek görevi gören yapı elemanlarının iç ve dış cephelerinde meydana gelen ısı farklılıkları ile orantılı olarak gerçekleşen termal gerilmelere karşı bir kalkan oluşur. Bu sayede bu elemanlarda termal gerilmeye bağlı oluşabilecek olası yapı bozulmalarının önüne geçilir. Ülkemizin deprem kuşağında olan ülkeler arasında olması göz önüne alınırsa, taşıyıcı elemanların yapılarda dikkatlice korumaya alınması özel öneme sahiptir.

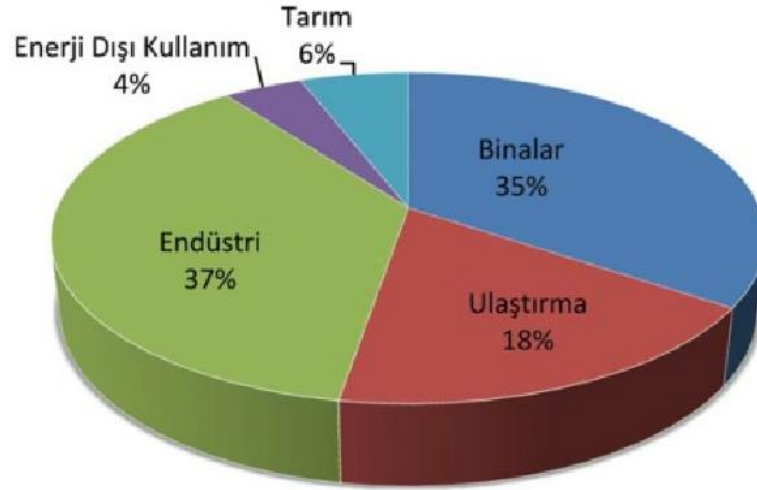
Bunların yanı sıra ısı yalıtımı yapılmasının birçok açıdan yapıların korunmasına ekonomik katkılar sağladığını söylemek mümkündür. Yapıya zarar veren dış etmenlerin etkilerini uzun dönemde de olsa görmek mümkündür. Ancak, ısı yalıtımının tasarrufa olan etkisi, kısa dönemde de açıkça görülebilir. Isı yalıtımı için harcanan maliyetler; az yakıt kullanımıyla beraber yapılan tasarrufla, kendini 1–2 sene gibi bir zaman sürecinde amorti etmektedir.

Sağladığı birçok faydadan dolayı gelişmiş ülkelerde ısı yalıtımı devlet tarafından teşvik edilmekte ve bağlayıcı yönetmeliklerle uygulama sağlanmaktadır. Örneğin Almanya’da, İngiltere’de, Fransa’da ve İsveç’te içerisinde bulunduğu yapıya ısı yalıtımı yaptıracak kişilere, yapının sahibi olsun olmasın gerekli ısı yalıtımı malzemelerinin alımı için kredi verilmekte ve uzun vade fırsatı tanınmaktadır. Bu sayede; ülkenin döviz ile alınan enerji miktarının azaltılması, kişilerin yakıt masrafları ve hava kirliliğinde düşüşler sağlanması amaçlanmıştır (Yaman ve ark., 2015)

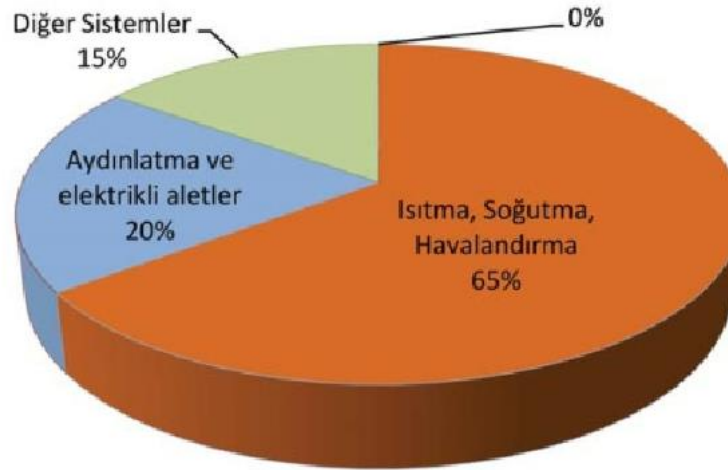
2.2.4. Dünyada ve Türkiye’de Isı Yalıtımı Gelişimi

Dünyada enerji kaynaklarına erişim; ülkeler arasında gerçekleşen savaşların, siyasi ve ekonomik ilişkilerin ana konusu haline gelmiştir. Ülkelerin artan nüfusuyla birlikte orantılı olarak enerjiye olan ihtiyacı artmaktadır. Günden güne artan enerji ihtiyacını karşılamak ve enerji ithalatını azaltmak için, çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş vb.) geliştirilerek enerji tasarruf çalışmalarına önem verilmesi önemlidir.

Gelişmiş ülkelerde petrol krizi olarak da bilinen enerji krizi yıllarından sonra uygulanan enerji politikaları enerjinin korunumu konusunda farklılıklar oluşturmuştur. Bu aşamada 1975-2005 yıllarını kapsayan yıllar içinde uygulanan enerji verimliliği kararları ile harcanan enerjide %55 seviyesinde tasarruf başarısı yakalanmıştır. Enerji verimliliğine 90’lı yıllarda daha çok önem verilmiş, bunun sonucunda dünyada toplam enerji tüketimi, sanayileşme ve büyümeye paralel olarak artmamıştır. Şekil 2.4 incelendiğinde yapılarda tüketilen enerjinin, toplam enerji tüketiminin % 35’lik bir kısmını oluşturduğu görülecektir. Türkiye enerjide yaklaşık % 75 dışa bağımlı durumdadır. Enerji ithalatı yıllık 55 milyar USD seviyelerine ulaşmakta bu değer de ülkemizin ekonomik olarak cari açık vermesindeki en önemli etkiler arasındadır. Türkiye’de yıllık enerji tüketimi ortalama 75 milyar USD olarak düşünüldüğünde, bunun % 35’i yani 26,5 milyar USD gibi bir kısım yapılarda tüketilmektedir. Şekil 2.5 incelendiğinde binaların ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi yapı iklimine harcadığı enerji % 65’le 17 milyar USD civarında olmaktadır. Doğru bir ısı yalıtımı yapıldığında % 50 enerji verimi elde edilmesiyle yaklaşık 8,5 milyar USD enerji tasarrufu yapılabilir (Yaman ve ark., 2015).



Şekil 2.4. Türkiye enerji dağılımı (Yaman ve ark., 2015; ETKB, 2010a)



Şekil 2.5. Yapılarda enerji tüketim dağılımı (Yaman ve ark., 2015; ETKB, 2010b)

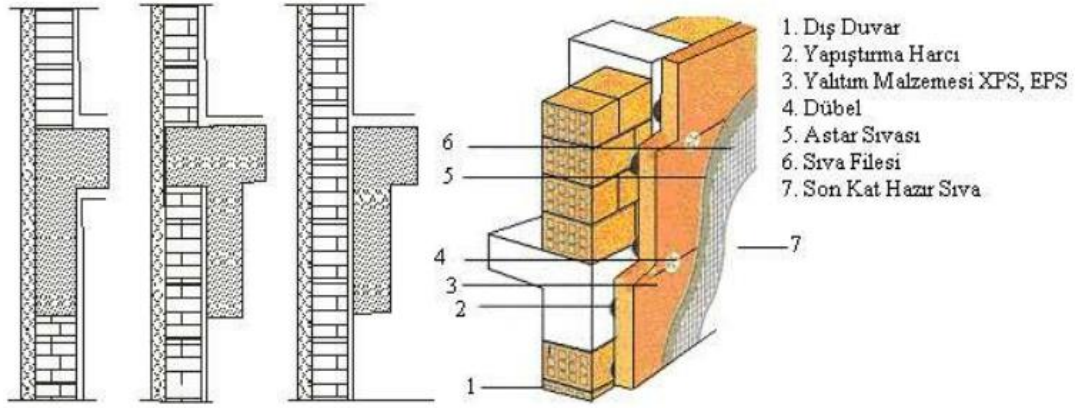
Ülkemizde halen (%85 oranında) yapılarda ısı yalıtım bulunmamaktadır. Başbakanlık 10. Kalkınma Planı çerçevesinde “*Enerji Verimliliği*” üzerinde durulmuş, %15 olan yalıtımlı bina oranının, 2019’a kadar %26’ya çıkartılması amaçlanmıştır (Yaman ve ark., 2015).

Almanya’da bir binayı ısıtmak ve soğutmak için yıllık enerji miktarı ortalama 30-60 kwh/m² iken, Türkiye’de 250-350 kwh/m²’dir. Kısacası Türkiye, daha soğuk bir iklime sahip Almanya’dan binaları ısıtmak için ortalama 7 kat daha fazla enerji tüketmektedir (Yaman ve ark., 2015).

2.2.5. Isı Yalıtım Uygulamaları

Yapılardaki ısı kaçakları en çok; döşeme, pencere, çatı, duvar ve ısı köprüleri gibi yapıyı oluşturan unsurlardan kaynaklanmaktadır. Bu yapı unsurlarında oluşan ısı kayıp oranları; yapının ısı yalıtım durumuna, yapının mimarisine, konumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterir. Genel olarak, yapıda kat yüksekliği arttıkça dış duvarlardan oluşan ısı kayıp oranı da artmaktadır. Son zamanlarda binalarda olduğu gibi konutlarda da yapı yüksekliği göz önüne bulundurulduğunda, dış duvarlara yapılan ısı yalıtımı uygulanmasının önemi anlaşılmaktadır. Gelişen teknoloji ile günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi, bünyesinde yalıtım malzemesi de bulunduran, birden fazla katmandan oluşan kaplama sistemi olarak da ele alınabilmektedirler. Yalıtım katmanları özellikle yapının su, ısı ve yangına karşı korumasını sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Yapılarda kullanım yerinin özelliklerine göre yalıtım malzemelerinin seçimi yapılarak uygulamalar yapılması doğru bir uygulama şekli olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde sıklıkta kullanılan ısı yalıtım malzemeleri genellikle lifli malzemeler (taş ve cam yünü gibi mineral yünler ve ahşap yünü) ve köpük malzemelerdir (genleştirilmiş polistren köpük (EPS), haddeden çekilmiş polistren köpük (XPS) ve poliüretan köpükler), (Sezer, 2005).

Dış duvarlarda kullanılacak yalıtım malzemelerinin su ve nemle temas durumunda ısı yalıtkanlık özellikleri değişmeyen malzemelerden seçmek önemlidir. Ülkemizde dış duvar ısı yalıtım malzemeleri duvardaki konumlarına göre dört farklı uygulama yöntemiyle uygulanmaktadır (Şekil 2.6). Bu uygulamalar; a) Duvarların dış yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları (mantolama), b) Duvarların iç yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları, c) Çift duvar arası ısı yalıtım uygulamaları (sandviç duvar), d) Havalandırılmalı dış duvar yalıtım uygulamaları (giydirme cephe sistemleri), (Sezer, 2005).



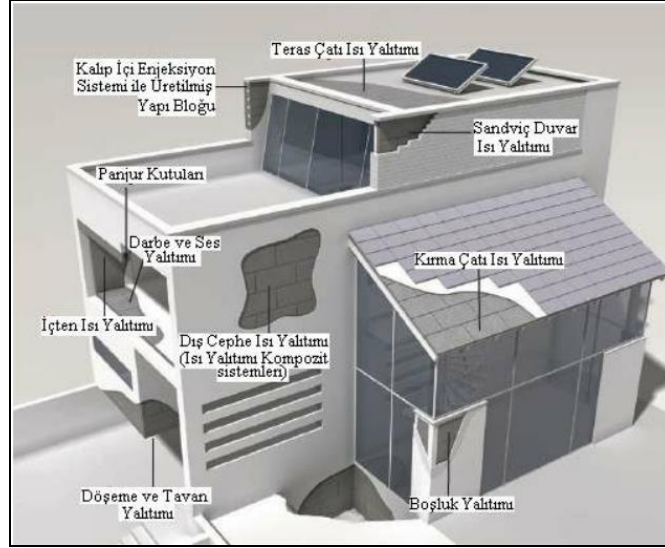
Şekil 2.6. Dış duvarlardaki ısı yalıtım uygulamaları (Aksöz, 2009)

2.2.5.1. Yapı Duvarlarının Dış Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları

Dünyada yaygın olarak kullanılan dışarıdan yalıtım yöntemi; ülkemizde son zamanlarda daha sık olarak tercih edilmeye başlamıştır. Dıştan yalıtım sistemi, yapı mimarileri açısından en çok kabul gören yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemde yalıtım yapıyı bir manto gibi sarmakta ve oluşabilecek ısı köprülerini en düşük seviyede tutmaktadır. Böylece sıcaklık değişimlerinden yapıda ve yalıtım malzemesinde oluşabilecek bozuşmalar önlenmekte, havalandırma sayesinde yapı konstrüksiyonunun sürekli kuru kalması sağlanmaktadır (Şekil 2.6).

Dışarıdan yalıtım sistemi, yeni yapılara uygulanabileceği gibi, mevcut yapılarada uygulama imkanı verir. Kullanılmakta olan yapılarda, uygulama esnasında tüm işlemler yapının dışında gerçekleşmekte olup; bunun için de tüm cepheye bir iskele kurulması yeterli olmaktadır. Yapıların dış duvarlarına dışarıdan uygulanan yalıtım sistemlerinin (Şekil 2.7) uygulama maliyeti diğer sistemlere göre yüksek olmasına rağmen konut gibi uzun süreli kullanılan mekanları için en uygun yalıtım yöntemlerindendir.

Duvarlara dıştan yapılan ısı yalıtımı uygulanması ile, yapının bakım ve onarım masrafları azalır, bina ömrü artmaktadır. Bu avantajlarına karşılık sistemin diğer yalıtım sistemlerine oranla daha yüksek maliyetli olması, yağmur, rüzgâr ve dış atmosferik olaylara karşı koruyucu gerektirmesi ve yalıtım malzemesinin uygulama işlemleri sırasında iskele kurulmasına ihtiyaç duyması, dış yüzeyden yalıtım uygulamasının dezavantajları arasında gösterilebilir.



Şekil 2.7. Dış duvarlarda, dışarıdan yalıtım uygulamaları ve detayı (Aksöz, 2009)

2.2.5.2. Dışarıdan Yalıtım

Yapıların dış yüzeylerine, dışarıdan uygulanan yalıtımın yararları ve sakıncaları incelendiğinde aşağıdaki parametrelerle karşılaşılabilmektedir (Aksöz, 2009). Uygulamanın yararları;

- Yalıtım kesintisizdir, manto gibi binayı sarar,
- Isı köprüleri minimum seviyededir, hatta pratik olarak yok kabul edilebilir,
- Tüm yapı elemanları dış etkilerden korunur; yapının ömrünü uzatır,
- Yapının taşıyıcı elemanlarını korozyona karşı korur,
- Isıtma sisteminin kısa süreli kapatılması durumunda, iç ortam sıcaklığının düşmesini önler (konut, ofis vb. gibi sürekli veya kısa aralıklarla sürekli kullanılan binalarda bu özellik önemlidir),
- Yazın aşırı ısınmayı büyük oranda önler,
- Su buharının kesit içinde yoğunlaşma riski en alt seviyededir (ısı yalıtım malzemesinin buhar direncinin düşük olması tercih sebebidir),
- Yapı fiziki hasarlarının önemli bir bölümü, dışarıdan ısı yalıtımı uygulamaları ile engellenebileceği gibi; mevcut hasarların onarımında da en etkin ve kalıcı uygulama olmaktadır.

Benzer şekilde dışarıdan uygulanan yalıtımın sakıncaları ele araştırıldığında da;

- Uygulama için tüm cepheye iskele kurulması gerekir,
- Kalifiye ve bu konuda tecrübeli işçi ekipleriyle uygulanması uygundur,
- Maliyeti diğer uygulamalara göre daha yüksektir.

2.3. Isı Yalıtım Malzemeleri

Piyasada birçok ısı yalıtım malzemesi bulunmaktadır. Isı yalıtım malzemesini tanımlamak gerekirse ISO ve CEN Standartlarına göre yapılan sınıflandırmada; ısı iletkenlik katsayısı (λ) 0,065 W/mK'den daha küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmektedir (Yaman ve ark., 2015).

Isı yalıtım malzemeleri, bitişik yapı malzemelerinin ısı iletim direncini artırmak veya dışarıya kaçan ısı miktarını en düşük seviyeye indirmek amacı ile kullanılırlar. Isı yalıtımında kullanılan başlıca ısı yalıtım malzemeleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.3.1. Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)

Bu ısı yalıtım malzemesi; “Homojen hücre yapısına sahip, ısı yalıtım amacıyla üretilen ve kullanılan köpük bir malzemedir. Polistren hammaddesinin ekstrüzyon (haddeleme) yöntemiyle üretilen ortak çeperli kapalı hücre yapısına sahip bir üründür. Pürüzsüz (ciltli), pürüzlü veya pürüzlü-kanallı yüzey biçimleri bulunmaktadır. Değişik yoğunluklarda ($\geq 25 \text{ kg/m}^3$), levha veya boru biçiminde üretilirler. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,030-0,040 W/m.K'dir. Yangına karşı dayanımı veya tepki sınıfı D veya E'dir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.8. Ekstrüde polistren köpük (XPS), (Yaman ve ark., 2015)

2.3.2. Ekspande Polistren Köpük (EPS)

Farklı bir ısı yalıtım levhası olarak üretilen EPS; “Küçük tanecikler halinde bulunan polistren hammaddesi ön şişirmeden sonra kalıp içinde Blok veya levha şeklinde üretilir. EPS levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun $15-30 \text{ kg/m}^3$ olması gereklidir. Malzemenin % 98’i hareketsiz havadır; %2’si ise polistirendir. Isıl iletkenlik hesap değeri $0,035 - 0,040 \text{ W/m.K}$ ’dir. Yangına tepki sınıfı D veya E’dir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.9. Ekspande polistren köpük (EPS), (Yaman ve ark., 2015)

2.3.3. Cam Yünü

Ülkemizde birçok kişi tarafından bilinen cam yünü, ısı yalıtım işlemlerinde ilk akları gelen malzemelerdendir. “İnorganik hammadde olan silis kumunun, yüksek basınç altında $1200^{\circ}\text{C}-1250^{\circ}\text{C}$ de ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda ($14-100 \text{ kg/m}^3$) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilirler. Isıl iletkenlik hesap değeri $0,035-0,050 \text{ W/m.K}$ ’dir. A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.10. Cam yünü,(Yaman ve ark., 2015)

2.3.4. Taş Yünü

Cam yünüyle karıştırılmasına rağmen, taş yünü ısı yalıtım plakaları cam yününden üretilenlere göre hammadde kullanımı açısından farklılıklar göstermektedir. “İnorganik bir hammadde olan bazalt ve diabez taşlarının 1350°C-1400°C sıcaklıklarda ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (30-200 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilbilirler. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,035-0,050 W/m.K’dir. A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.11. Taş yünü, (Yaman ve ark., 2015)

2.3.5. Poliüretan Sert Köpük (PUR)

Uygulama kolaylığı olan bir başka ısı yalıtım malzemesi de PUR’dur. “Poliüretan köpükler, poliol sistem ile izosiyanatın belli oranlarda karışımı ve bu karışımın bir kabartıcı (köpürtücü) yardımıyla genişlemesinden oluşur. Poliüretan kullanım yerine göre sıvı haldeki hacminin 100 katına kadar genişletilebilir. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,025-0,040 W/m.K’dir. Yangına tepki sınıfı D, E veya F’dir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.12. Poliüretan sert köpük, (Yaman ve ark., 2015)

2.3.6. Fenol Köpüğü (PF)

“Fenol-Formaldehit bakalitine: anorganik şişirici ve sertleştirici maddeler katılarak elde edilir. Muhtelif yoğunluklarda levha ve boru biçiminde alüminyum folyo, metal vb. kaplamalar ile donatılabilmektedir. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,030-0,045 W/m.K’dir. Yangına tepki sınıfı; kaplamasız ürünler için B, Alüminyum folyo kaplamalı ürünler için C ‘dir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.13. Fenol köpüğü (PF), (Yaman ve ark., 2015)

2.3.7. Cam Köpüğü (CG)

“Cam köpüğü; hücresel dolgu malzemesi ile birleştirilmiş atık cam kırıklarından oluşur. Bu iki bileşen bir kalıba yerleştirilerek yaklaşık 510°C’ye kadar ısıtılır, malzemenin ayrışması sonucunda karışım genişip kalıbı doldurur. Değişik yoğunluklarda (100-150 kg/m³) cam köpüğü elde edilir. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,045-0,060 W/m.K’dir. A sınıfı yanmaz bir malzemedir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.14. Cam köpüğü (CG), (Yaman ve ark., 2015)

2.3.8. Genleştirilmiş Perlit (EPB)

“Ham perlitin kırılıp, yüksek ısıda genleştirme (patlatma) işlemlerinden geçirilmesiyle elde edilir. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,045-0,065 W/m.K’dir. A sınıfı yanmaz bir malzemedir”, (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.15. Genleştirilmiş perlit (EPB), (Yaman ve ark., 2015)

2.4. Beton Plakalar

Beton plakaların günümüzdeki mevcut haline gelme süreci incelendiğinde; bu plakaların üretim süreci, geçmişte karşımıza çıkan ilk örneklerinde olduğu gibi odun parçaları ve liflerinin çimento ile karıştırılması sonucu yapılan “çimentolu odun plakalar” ile başlamaktadır.

Çimentolu odun kompozit plakalar Avusturya’da 1930’larda ilk defa Heraklith adı altında üretilmiş ve ambalaj talaşı şeklindeki materyalden yararlanılmıştır. Bağlayıcı olarak ise magnezit kullanılmıştır. Daha sonra magnezit yerine portland çimentosu kullanılmıştır (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

Odun lifi, su ve çimento kullanılarak çimentolu odun yünü plaka (WWCB) üretimi ilk defa 1880’de Almanya’da gerçekleştirilmiş ve patenti alınmıştır. Yine Avusturya’da 1900 yılında Schmid adında bir marangoz tarafından ilk kimyasal içerikli plaka üretilmiştir. Üretilen plakanın yapımında alçıtaşı ve odun talaşı kullanılmıştır. Daha sonra Viyana’da (Avusturya), 1908 yılında Robert Scherer tarafından magnezit çimentolu plakanın patenti alınmıştır (Van Elten, 2006).

Odun yünü ve magnezyum kullanılarak üretilen ilk plaka 1910 yılında Heraklith adı altında üretilmiştir. Avusturya’da 1920 yılında, Josef Oberleitner Portland çimentosu kullanarak ilk çimentolu plakayı üretmiştir (WWCB). Farklı şirketlerin Avrupa’da bu yöntemi kullanarak plaka üretmesiyle, bu yöntem Avrupa içinde yaygınlaşmıştır. Bu konuda karşılaşılan uygulamalara göz atıldığında; Woerd Barneveld, Hendrik’de (Hollanda), 1930 yılında, WWCB’den lata destekli çatı levhası elde ederek çimentolu plaka üretmiştir. Bir başka uygulayıcı olan, Franz Brandsteiner, Avusturya’da (1950) iri odun yongaları ve çimento kullanarak ilk defa “Velox board” adında bir plaka üretmiş olup markalaşmanın ilk örneklerinden olmuştur (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

Almanya’da Brown ve Schneider isimli iki makine üreticisi 1960 yılında karıştırıcı ve dozajlayıcı makine ekipmanlarını geliştirmişlerdir. Canali firması tarafından çimentolu odun kompozitlerinin üretim akışı tamamlanmıştır. Hollanda’da Gery Van Elten sonsuz çift vidalı karıştırıcıyı geliştirmiştir. Bu gelişmeler plaka üretiminin artmasının önünü açmıştır. Hans Knöpfel tarafından 1970 yılında “Duripanel” diye adlandırılan çimento destekli yonga plaka (CBPB) Durisol İsviçre’de üretilmiştir. Almanya’da 2000 yılında geliştirilen “Eltomotion” mekanik dağıtım makinası ile odun yünü ve çimento katkılı plakaların, otomatik olarak üretimi gerçekleşmiştir (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

Tarihte ilk çimentolu yonga levha fabrikası 1967’de İsviçre’de kurulmuştur. Türkiye’de ilk tesis 1987’de Arhavi’de faaliyete başlamıştır. Ancak bugün sadece Ankara’da Betopan ismi ile üretim devam ettirilmektedir. Üretilen levhalar ise sadece TEPE inşaat tarafından kullanılmaktadır. Çimentolu odun kompozitleri; ağaç yonga veya tarımsal bitkilerin, çimento, su ve kimyasal maddelerin uygun oranlarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan düzgün yüzeyli malzemelerdir. Bu levhalar ahşabın; hafiflik, elastikiyet ve işlenebilirlik özelliklerini, çimentonun; su, rutubet, yanma ve çürümeye karşı direnç değerlerini birleştirdiklerinden daha iyi özelliklere (yapısal özelliklere) sahiptirler (Kalaycıoğlu ve ark., 2012).

2.4.1. Yapılarda Beton Plaka Uygulaması

Günümüzde beton plakalar çeşitli ebatlarda kullanıcısına ulaşmaktadır. Yapılarda oldukça talep görmesinin en büyük nedenleri arasında boya tutması, çeşitli desenlerde imal edilebilmesi ve kolay şekil verilebilmesi sebebiyle yapının dış görseelliğinin iyileştirilmesi, bunun yanı sıra çimento esaslı olması sebebiyle yangına, suya, neme, karşı dayanıklı olması gösterilebilir.

Doğal agregaların çimento ile karışımından elde edilen beton plakalarının ısı iletkenlik katsayılarının 1.50-2.10 W/mK arası olduğunu belirtmiştir (Konuk, 2003) (Çizelge 2.1). Çeşitli agregaların kullanımı ile üretilen beton plakaların ısı iletkenlik katsayıları 0,19 W/mK'a düşebilmektedir ama bu ısı iletkenlik seviyesi yapılarda uygulanması zorunlu yönetmeliklerce belirlenmiş ısı iletkenlik değerinden fazladır. Bu sebeplerden dolayı beton plakalar yapı dış cephelerine tek başlarına uygulanamamaktadır. Karkas yapıda beton plaka uygulaması yapılmadan önce, yapının beton plaka ile birlikte uygulanabilecek bir ısı yalıtım malzemesi (cam yünü, taş yünü, XPS vb.) ile kaplanması gerekmektedir. Yapıda ısı yalıtım çalışması yapıldıktan sonra çeşitli profil ve vida gibi yardımcı elemanlarla yapılan statik kaplama yöntemiyle beton plaka kaplama işlemi tamamlanmaktadır.

2.4.2 Beton Plakaların Isıl İletkenlik Katsayıları

Isı yalıtımlı beton plakalar ve normal beton plakaların ısı iletkenlik katsayıları incelendiğinde; beton plakaların birim ağırlıkları ve üretildiği hammadde cinslerinin ısı iletkenlik katsayısına önemli ölçüde etki ettiği görülmektedir. Çizelge 2.1'de farklı hammaddelerle üretilmiş beton plakaların ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir. Bu Çizelgeden de anlaşılacağı gibi farklı hammaddelerin karıştırılmasıyla yeni beton kaplama ürünlerinin, farklı ısı iletkenlik değerleri için üretilmesi mümkündür.

Çizelge 2.1. Normal beton ve çeşitli hafif betonlara ait ısı iletkenlik katsayıları (Konuk, 2003).

Malzemenin veya bileşenin çeşidi	Birim Ağırlık kg/m ³	Isı İletkenlik Katsayısı W/mK
Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	2400	2.10
Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatısız)	2200	1.74
Gözenekli hafif agregalar kullanılarak ve kuvars kumu katılmaksızın yapılmış betonlar (TS 1114'e uygun agregalarla)	800	0.39
"	900	0.44
"	1000	0.49
"	1100	0.55
"	1200	0.62
"	1300	0.70
"	1400	0.79
"	1500	0.89
"	1600	1.00
"	1800	1.30
"	2000	1.60
Yalnız genleştirilmiş perlit kullanılarak ve kuvars kumu katılmaksızın yapılmış betonlar (TS 3649'a uygun)	300	0.10
"	400	0.13
"	500	0.15
"	600	0.19
"	700	0.21
"	800	0.24
"	900	0.27
"	1000	0.30
"	1200	0.35
"	1400	0.42
"	1600	0.49
Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	1600	0.81
"	1800	1.10
"	2000	1.40
Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvarz kumu katılmadan yapılmış betonlar	600	0.22
"	700	0.26
"	800	0.28
"	1000	0.36
"	1200	0.46
"	1400	0.57
"	1600	0.75
"	1800	0.92
"	2000	1.20
Yalnız doğal bims kullanılarak ve kuvars kumu katılmadan yapılmış betonlar (TS 3234'e uygun) (TS 2823'e uygun yapı elemanları dahil)	500	0.15
"	600	0.18
"	700	0.20
"	800	0.24
"	900	0.27
"	1000	0.32
"	1200	0.44
Ahşap testere veya plânya talaşı betonu	400	0.14
"	600	0.19
"	800	0.25
"	1000	0.35
"	1200	0.44
Çeltik kapçığı betonu	600	0.14
"	700	0.17
Buharla sertleştirilmiş gaz betonlar (TS 453'e uygun yapı elemanları dahil)	400	0.14
"	500	0.16
"	600	0.19
"	700	0.21
"	800	0.23

2.4.3. Doğal Lifli Beton Plakalar

Bu plakalar, iklim şartlarına dayanıklı olup selüloz elyaf takviyeli çimento ve silikat esaslı otoklavlı plakalardır. İşlenmesi kolay olup, uygulanmaları sırasında ahşap aletlerinin kullanılması yeterli olmaktadır. Bakım gerektirmeyen ve uzun ömürlü malzemeler olmakla beraber çevreyi ve doğayı kirletmeyen doğal malzemelerden üretilmektedir. Haşere barındırmayan bir yapıya sahiptir, ayrıca ahşaba zarar veren haşerelerden de etkilenmemektedir. Yapımında kullanılan çimento ve silika nedeniyle normal yapılarda uygulanan plastik iç cephe boya ve akrilik dış cephe boya ile boyanabilmekte olup sudan etkilenme değerleri düşüktür. Uygulama sonrası sıva gerektirmemesi nedeniyle büyük bir tasarruf sağlamakta ve nemden etkilenmemektedir. Ses ve ısı yalıtım değeri yüksektir. Yapımında kullanılan maddelerden dolayı, ayrıca ürünün otoklavlanmış olması sayesinde atmosfer şartlarına karşı oldukça dayanıklıdır. Mevcut kullanımda olan ısı yalıtım malzemelerine (Polistren köpük vb.) çok iyi bağlanabilen bu ürün, çeşitli amaçlar için sandviç panel olarak da kullanımı mümkündür. Bu beton plakalara istenilen boyut ve desen verilebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, prefabrik bina üretiminde, hazır konut üretiminde, betonarme ve çelik yapılarda, dış ve iç duvar paneli, tavan kaplaması, taban döşemesi, çatı örtüsü alt kaplaması, dış cephe kaplamalarında ve giydirme cephelerin altında kullanılabilmektedir (Özer, 1984).

2.4.4. İnorganik Lifli Beton Plakalar

Düz ve oluklu şekilde üretilen bu plakalar çatı kaplamasında sıklıkla kullanılan krizolitli çimentodan üretilmektedir. Boyanarak renkli olarak da üretilen bu plakaların farklı formları mevcuttur. Renkli olarak üretilen oluklu plakalar boya kabarmasına, renk solmasına oldukça dayanıklıdır.

Üretiminde çimento kullanılan düz veya oluklu plakalar genellikle panel formundadır. Homojen gözenekli bir yapıya sahip olan bu plakalar, enjeksiyon kalıp yöntemiyle üretilmektedir. Kapalı hücre yapısında olması sebebiyle plakalar düşük su emme yüzdesine sahiptir. Bu plakaların kenarları iç içe geçebilen profil şekillerle üretildikleri için, ısı kaçış köprülerinin oluşumuna engel olmaktadır. Bu paneller genellikle zamana karşı dayanıklıdır, bu nedenle de çürümezler ve zaman içerisinde yalıtım değerini kaybetmezler.

İnorganik lifli plakalar, polistren taneciklerinin şişirilmesi ve kalıp sistemiyle kaynaşması yöntemiyle üretilmektedir. Isı yalıtım özelliği yüksek olarak üretilen bu plakalar yapıların bodrum, çatı ve duvarlarında kullanılmasıyla beraber tüm yapıyı adeta bir mont gibi sarmaktadır. Bu tür plakalar ısı yalıtımında yüksek verim verdiği gibi iyi bir ses yalıtımı da sağlar. Yapılarda bulunan asansör, merdiven gibi sesin çok olduğu yerlerde, özellikle oluşan darbe seslerinin yalıtımında kullanılabilir. Genel açıdan incelendiğinde, ısı yalıtımlı lifli beton plakalar, duvarların içten ve dıştan yalıtımında, toprak altı duvar yalıtımında, teras çatı yalıtımında kullanılabilir (Özer, 1984).

2.5. Yapı Malzemelerinin Isı Kapasitelerini Belirleme Yöntemleri

Günümüzde nüfusun artışına paralel olarak inşaat sektörü de büyümesini devam ettirmektedir. Bu büyüme ile birlikte yapı sektörü konut kullanıcılarına daha rahat ve daha konforlu yaşam alanları vadetmektedir. Konutlarda konforlu bir yaşam alanı oluşturulmasında yapı içi iklim koşulları ön plana çıkmaktadır. Bu amaca ulaşmak için inşaat şirketleri ve yapı elemanı üreticileri kendi AR-GE çalışmalarına ciddi zaman ve kaynak ayırmaktadırlar.

Isı yalıtım plakalarının üretildiği hammadde sağlayıcılarının, sattıkları malzemelerin ekonomik ve işlevsel olması konusunda hassas çalışmaları gerekmektedir. Üreticilerin, yapı ve yalıtım malzemeleri için 8/9/2002 tarihli ve 24870 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği ve 9/10/2008 tarihli 27019 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan, Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği çerçevesinde, Yapı ve Yalıtım Malzemelerinin CE veya G uygunluk işareti ve uygunluk beyanı veya belgesi alması zorunludur. Bu sektörde, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği uyarınca üretilen malzemelerin TS 825 standardında olması gerektiği belirtilmiştir (TSE, 1998).

2.5.1. Isıl İletkenlik ve Isı Geçirim Katsayılarının Tanımı

2.5.1.1. Isıl İletkenlik Değeri

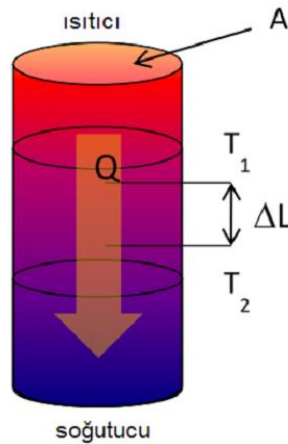
Homojen yapıya sahip 1 m kalınlıktaki bir yapı elemanının, “birbirine paralel iki yüzeyi arasında 1°C sıcaklık farkı olduğunda 1 m alan ve bu alana dik 1 m kalınlıktan geçen ısı miktarına” ısı iletkenliği, λ , denir (Köse ve ark., 1997). Bu değer, bir malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak, ısıyı ne kadar iletmediğini belirten

bir sayıdır. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri ne kadar küçük ise o malzemenin ısı yalıtım performansı o kadar yüksektir. Malzemelerin ısı iletkenliği aşağıda Sözbir (2014) tarafından da verilen bağıntı ile tanımlanır;

$$\lambda = \frac{Q/A}{\Delta T/\Delta L}$$

Burada Q, A kesitinden geçen ısı gücü, ΔT , ΔL kalınlığında oluşan sıcaklık farkını ifade eder. (Q/A) , $\Delta T/\Delta L$ sıcaklık gradyenti tarafından oluşturulan ısı akısıdır.

Her bir maddenin kendisine özgü ısı iletkenlik değeri vardır. Isı iletkenlik ölçüm yöntemleri iki ana gruba ayrılmıştır. Bunlar sürekli ve geçici ısı ortam (rejim) yöntemleridir (Şimşekli, 2018). Sürekli ısı ortamında, numunenin her bir noktasına sabit sıcaklık verilir, yani zamanın bir fonksiyonu değildir. Geçici rejim yöntemi, numunelerin ısıtılması ve soğutulması işlemi esnasındaki ölçümleri kaydetmek için kullanılır. İki yöntemde de ölçüm yönteminin içeriği aynı olup, numunelere uygulanan ısı verme şekli ve süresi farklı olmaktadır. Her iki yöntemde de ana prensip numunelerde ısı transferini gerçekleştirmek amacıyla numune yüzeylerinde sıcak-soğuk ortam oluşturulmasıdır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Isı iletkenlik deney prensibi (Sözbir, 2014)

Bir ısı transferi oluşturmak için uygulanan ısı verilme şekli sürekli rejimde malzemenin her bir noktasından sabit bir sıcaklık iken, geçici rejim yönteminde kısa süreli ısıtma-soğutma işlemi ile olmaktadır. Sürekli rejim yönteminde ölçüm süresi 1 saat civarında olmakta iken bu süre geçici rejim yönteminde birkaç dakikadır. İki

yöntemde de farklı ölçüm cihazları kullanılmakta olup Şekil 2.17 ve 2.18’de bu cihazlara örnekler verilmiştir.



Şekil 2.17. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı (Hot box) genel görünüm (Jeong ve ark., 2017)

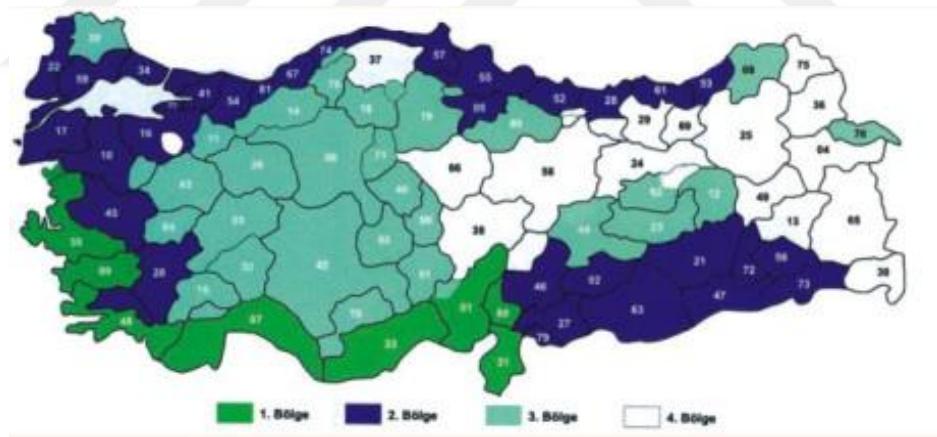


Şekil 2.18. Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm cihazları (TUAM, 2019)

2.5.1.2. Isıl Geçirgenlik Değeri

Belirli bir (m) kalınlıktaki yapı elemanının birbirine paralel yüzeyleri arası sıcaklık farkı 1°C olduğunda birim zamanda birim kare alandan yüzeylere dik olarak geçen enerji miktarına o yapı elemanının ısı geçirgenlik değeri (U) denir (Köse ve ark., 1997). Bir yapı elemanına ait ısı iletkenlik katsayısının, (λ), malzemenin kalınlığına, (d), bölünmesi sureti ile yapı elemanının ısı geçirgenliği ($U = \lambda/d$) bulunur. Çok tabakalı yapı elemanının U değeri her tabakanın λ/d değerlerinin toplamına eşittir (Aksoy, 2008).

Yapı ve yalıtım malzemeleri için 9/10/2008 tarihli ve 27019 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan, Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği’nde bir malzemenin TS 825 standardınca ısı iletkenlik katsayısı (λ) 0,065 W/mK den düşük ise ısı yalıtım malzemesi, bu değerden yüksek ise, yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Aynı yönetmelikte yapıya uygulanacak olan malzemenin uygunluk durumu ise ısı geçirgenlik değerleri ile belirtilmekte olup bu değer yapının hangi ısı bölgesinde (Şekil 2.19) olduğuna göre değişiklik göstermektedir;



Şekil 2.19. Türkiye ısı bölgeleri haritası (TSE, 1998)

1. Isı Bölgesi ; $U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$
2. Isı Bölgesi ; $U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
3. Isı Bölgesi ; $U \leq 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. Isı Bölgesi ; $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

3. BETON PLAKA YAPIMI VE KULLANILAN MALZEMELER

Beton kaplama plaka uygulamasına örnek hazırlamak için bu çalışma kapsamında farklı karışımlarla beton harcı hazırlanmıştır. Bu harçların beton plakalar halinde kalıplanması sonucunda elde edilen kaplama plaka örneklerinin ısı geçirim durumu önemlidir. Isıyı en az ileten, bir başka deyişle ısı yalıtkanlığı sağlayan beton plakaların üretilmesini sağlayacak harç karışımlarının elde edilmesi bu çalışmanın ana hedefi olarak seçildiği için, deneylerde kullanılacak hammaddelerin ısı yalıtımı olan tüfitik yapı malzemelerinden seçilmesine özen gösterilmiştir.

Günümüzde beton plakalar çimento esaslı olup çeşitli hammadde cinslerinin farklı agregalarla karıştırılmasıyla hazırlanan beton harçlarından üretilmektedir. Hammadde seçimine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada beton plaka üretimi için; farklı yörelerden alınmış doğal inorganik malzeme olan volkanik kayalar (tuf ve pomza), çimento ve kireç kullanılmıştır. Seçilen bu hammaddeler Çizelge 4.1 ve 4.2’de belirtilen karışım oranlarıyla elde edilen beton harcı kullanılarak üretilmiştir. Üzerlerinde laboratuvar denemeleri yapılan beton plakalar; hazırlanan beton harcının kalıplara dökülerek üretildiği gibi, farklı agregaların iyice karıştırıldıktan sonra hidrolik preste yüksek basınç altında sıkıştırılmasıyla da üretilmiştir. Kullanılan hammaddelerin genel özellikleri aşağıda açıklanarak ısı yalıtım plakalarında kullanılmalarının nedenleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1. Tüfler

3.1.1. Tüflerin Oluşumu

Tüfler volkanik faaliyetler sonucu, volkanların püskürttüğü kayalardandır. Birçok eski medeniyet tüflerin oluşturduğu tarım arazilerinin verimliliğinden dolayı, bu malzemelerle kaplı veya karışık topraklara yakın olmayı tercih etmiştir. Tüflerin oluşturduğu kalın kayaç katmanları birçok yerde insanların kolayca kazıp içine boşluk açabildiği kayalar olduğundan, yeraltı şehirlerinin kurulduğu lokasyonlar olmuşlardır. Tüfler magmatik kayalardan yüzeye yakın veya yüzeyde katılan kayalar sınıfındadır. Bu kayaların jeolojik oluşumunu bilmek kayacın karakterini ve bozulma morfolojisini anlamaya yardımcı olur. Yanardağ patlamaları sırasında volkan kraterinden çıkan çok sıcak ve sıvı haldeki kayalara veya çıkan magmanın soğuyarak katılmış oluşumlarına “Lav” adı verilir. Volkanik patlama sırasında lav harici farklı

katı maddeler de atmosfere yayılmaktadır. Volkan külü denilen bu ince tanecikli maddelerin yamaçlarda, göl veya denizlerde birikmesi neticesinde meydana gelen oluşuma da tuf adı verilmektedir, (Sayar ve Erguvanlı, 1955).

Volkan bacalarından yeryüzüne akan lavlar, farklı kayaçların oluşumuna neden olurken soğumaları esnasında farklı türde gazlar da yaymaktadırlar. Bir diğer volkanik malzeme çeşidi olan “prolastik” malzemeler ise çeşitli büyüklükteki magma parçalarından oluşmuştur. Prolastik kayaç döküntülerine (malzemelere) büyük kütleler halinde rastlanıldığı gibi, mikron boyutlarında da olabilmektedir. Prolastik malzemenin volkan bacasından çıkarken sahip olduğu sıcaklığı ve sonrasında ki soğuma hızı, oluşan proklastik malzemenin büyüklüğündeki ana etkidir. Yüksek sıcaklığı sahip olan malzemenin aniden soğumasıyla ince taneli malzeme oluşmaktadır. Soğuma şekli ve bünyesinde bulundurduğu gaz miktarı oluşan malzemenin bünyesinde değişik oranlarda boşluklar meydana gelmesini sağlar (Sayar ve Erguvanlı, 1955).

3.1.2. Tüflerin Genel Özellikleri

Kimyasal yapısında silis ve alüminyum bileşikleri bulunduran tüfler gevşek ve kırılğan yapıda olmaktadır. Doğada toz, kum ve çakıl formunda bulunabildiği gibi sıkışmış bloklar halinde, fazla gözenekli iri çakıl boyutlarında da rastlanabilmektedir. Tüflerin kolayca aşınmalarından dolayı, toz haline gelir ve birim ağırlığı düşük olduğundan su yüzeyinde dahi askıda kalabilirler (Arıcı, 1997).

Genellikle tuf ocaklarında, tüfitik malzemenin sertliği yeryüzüne yakın pozisyonlarda daha yüksek olmaktadır. Beton harcı uygulamalarında, tufün priz yapma özelliği ise; tufün içinde bulunan ince malzemenin çokluğuna ve malzemenin kimyasal yapısına bağlıdır. Arazide bazen tabakalar halinde görülen tüfler volkandan çıkan maddelerin volkan yakınlarında ki göl veya deniz diplerine ya da yamaçların üzerine birikerek oluşmaktadır (Uz, 2000). Tüflerin içerisinde volkan bacasından kopmuş olan parçalarda görülebilmektedir. Tüfler, gözenekli bir yapıya sahip olduğundan doğal hafif kayaçlardır. Tüflerin içerisinde fosillere rastlamak mümkün olmakla beraber bulunan fosiller, kayacın deniz veya gölde oluşmuş olduğu hakkında bilgi vermektedir. Örneğin, denizde oluşan tüflerin içerisinde deniz hayvanı kalıntıları (kabuk vs.) görülürken, göllerde biriken tüflerin içerisinde genelde bitki dalı, yaprak veya göl hayvan fosilleri görülmektedir. Bazı tüfler içinde büyük parçalar halinde idokraz, lösit, ojit ve hornblend

mineralleri de görülmektedir. Türkiye’de bulunan tüm volkanik alanlarda tüfitik kayalar görülmekte olup, kayalar andezit, dasit ve trakitler arasında ya da sıklıkla birlikte bulunurlar (Uz, 2000).

3.1.3. Tüflerin Kimyasal Yapısı

Tüfler kimyasal yapı açısından genellikle aynı maddelerden oluşmaktadır. Tüfler ve puzolanların kimyasal içeriğinde SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O ve H_2O bulunmaktadır. Bu kimyasal bileşikler içerisinde tüfler de en çok rastlanan SiO_2 dir. Tüflerde SiO_2 bulunma oranı genellikle % 46-80 arasında değişmektedir. Tüfler içindeki CaO ve MgO oranları genellikle %10’un altında olmaktadır. Alkali bileşik miktarı tüflerde oldukça yüksektir ve % 8’in altına düşmemektedir (Doruk, 1974). Çizelge 3.1’de Türkiye’de ve Dünyanın değişik yerlerinde kimyasal bileşikleri için örneklenen tüflerin ortalama değerleri sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Bazı yörelerdeki tüflerin kimyasal analiz sonuçları (% oran olarak), (Ören, 1996).

	Gölcük Yöresi	Nevşehir Yöresi	Van-Bitlis Yöresi (Ahlat Dağı)	Dünyanın 80 değişik Yöresinin Ortalaması
SiO_2	61.55	68.50	69.00	70.38
AlO_3	15.50	14.00	14.65	15.82
Fe_2O_3	6.05	3.00	2.50	1.50
CaO	2.24	1.50	1.10	1.56
MgO	2.40	1.40	0.53	0.48
Na_2O	3.30	3.25	3.50	3.70
K_2O	3.43	3.50	3.50	4.10
TiO_2	0.40	0.25	0.38	-
SO_3	0.94	0.002	0.40	-
Kızdırma Kaybı	1.40	3.90	4.63	3.62

3.1.4. Tüflerin Arazideki Özellikleri

Volkanizma magmanın yeraltından hareket ederek yüzeye çıkması veya yeryüzüne yakın derinliklere kadar gelerek soğuması olayıdır. Volkanizmanın hareketli olması sebebiyle belirli bir püskürme sonucu ortaya çıkan volkanik malzeme yatağı, eski erozyon yüzeyleri ile sınırlanabilmektedir. Belirli bir zaman zarfında gerçekleşen volkanik aktifiteelerde, tüflerin kaynağı olan proklastik malzemeler özellikle düşey katmanlarda değişik olarak sınırlanabilmektedir (Arıcı, 1997). Proklastik malzeme yeryüzüne çıkan kıvamlı lav akıntılarında ziyade özel şartlarda gerçekleşen patlamalar sonucu oluşmaktadır. Tüfün oluşmasına kül boyutunda olan prolastik malzeme neden olmaktadır. Kül boyutundaki malzeme içerisinde her çeşit volkanik kayaç veya kaya parçacıkları barındırabilir. Volkanik kayaç ve parçaların bu malzemeler içerisinde miktarının fazla olması halinde tüf “breş” haline dönüşebilir (Arıcı, 1997).

3.1.5. Türkiye’de Tüflerin Dağılımı

Tüfler ülkemizin volkanik aktivite görülen yerlere yakın olarak gözlenen kayaçlardandır. İç Anadolu Bölgesi basta olmak üzere Türkiye’nin birçok yerinde tüf katmanlarına rastlamak mümkündür. Ülkemizdeki birçok sedimanter rezervin madenciliği sırasında (kömür, bor tuzu vb.) geçmişte oluşan volkanik aktivitelerden dolayı oluşan tüf katmanların kalınlıkları gözlenebilmekte, volkanik aktivitenin büyüklüğü konusunda ipuçları sağlamaktadır. Özellikle, Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya, Niğde, Nevşehir’de tüf rezervleri yeryüzüne yakın seviyelerde bulunup işletilmektedir (Duran, 2009).

Anadolu’nun karasal oluşumu sırasında, volkanik faaliyetlerden dolayı toptan yükselmelerin meydana gelmesiyle birlikte, derin ve sürekli kırılmalar da meydana gelmiştir. “Ülkemizdeki önemli volkanik etkiler sıralanırsa; Kuzey Anadolu’da, özellikle Samsun-Çorum arasındaki dağ kitleleri içinde volkanik malzeme çok yaygındır. Bunlar daha çok anglomera-volkanik breş görüntüsünde, özellikle bazaltik veya andezitik lavlardan oluşmuşlardır” (Duran, 2009).

“Toroslardan, Anadolu’nun tabanında kalan eski masif sahalara doğru olan geçiş bölgelerinde volkanik kayaçlar bulunur. Erciyes, Melendiz, Hasandağı ve Karacadağ ile bunların etrafına meydana gelmiş bulunan küçük volkanik koniler burada yer alır. Bu

küçük konilerin pek çoğu tuf ve cüruftan oluşmuşlardır. Göreme, Kayseri, Ihlara, Afyon ve Isparta tuf alanları bu yörededir” (Duran, 2009).

“Batı Anadolu’da biri Kula yöresinde diğeri Aşağı Gediz vadisinde olmak üzere iki volkanik saha vardır. Burada sekiz küçük koni ile 53 volkan merkezi tespit edilmiştir. Ayrıca, aşağı Gediz Vadisi kesiminde İzmir-Bergama-Akhisar arasındaki bölgede Dumanlı Dağ Krateri içinde dışa doğru meyilli lav, tuf ve cüruflar ara tabakalı bir vaziyette bulunurlar. Foça-Eski Foça arasındaki Şaphane Dağı dışa doğru meyilli lav ve tuf tabakalarından oluşmuşlardır” (Duran, 2009).

3.2. Pomza Taşı

Pomza, kızgın haldeki magmanın ihtiva ettiği gazların ani soğuma esnasında kütleden ayrılmasıyla oluşan çok gözenekli camsı yapıda volkanik bir taştır. Pomza volkanik bir kayaç türü olup, gözenekler çoğunlukla birbirleri ile bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler göz ile görülebilecek boyutlardan mikroskobik boyutlara kadar sayısız olup, her biri camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayaçtır (Ulusoy, 2004). Bu durumda katılaştan volkanik kayaç içinde barındırdığı boşluklar nedeniyle çok hafiftir. Bu kayaçların porozite değerleri bu nedenle çok yüksek çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kullanılmak üzere seçilen Nevşehir ve Aksaray yörelerine ait olan pomza taşları 4-20 mm boyutunda seçilmiştir. Nevşehir yöresinden alınan malzeme asidik pomza olup, Aksaray yöresinden alınan malzeme de bazik pomzadır. Testler için seçilen pomza taşının boyutu beton harç agregası özelliği taşıması için farklı boyutlara sahip olacak şekilde kırıcıyla küçültülmüştür. Kırma işleminden sonra pomza taşı agregası içerisinde ki nemi uzaklaştırmak için, malzeme 105 °C’lik fırında bekletilerek nemin örnek pomza taşı içinden uzaklaşması sağlanmıştır. Kurutma işlemi sonrasında pomza agregası boyutu -2.2 mm olacak şekilde elekten geçirilerek beton harç karışına eklenecek duruma getirilmiştir.

Çizelge 3.2. Pomza taşı birim ağırlıkları, (Gündüz, 2005)

Pomza	Pomza Taşı Tane Boyutu (mm)	Tane Birim Hacim Ağırlığı Hava Kurusuna Göre (kg/m^3)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m^3)
Nevşehir	4-20	516	230
Aksaray	4-20	1019	520

3.3. Kullanılan Çimento Özelliği

Beton kaplama plaka örneği hazırlamak için kullanılan çimentonun genel özelliği, 42,5 cinsi Portland çimentosudur. Bu çimentonun ortalama özgül ağırlığı; 3125 kg/m^3 'tür. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan Portland çimentosunun genel fiziksel özellikleri sıralanırsa (Konuk, 2003);

- Blaine özgül yüzeyi (cm^2/g) : 3270
- 90 μ 'luk elekte kalan % : 6.3
- 200 μ 'luk elekte kalan % : 0.21
- Özgül ağırlık (kg/m^3) : 3125
- Priz başlangıcı : 1 saat 45 dakika
- Priz sonu : 3 saat 45 dakika

Bu çimentonun genel kimyasal bileşimi, aşağıda verilmiştir (Konuk, 2003);

- SiO_2 (çözünen) : % 20.37
- SiO_2 (çözünmeyen) : % 0.31
- Al_2O_3 : % 5.94
- Fe_2O_3 : % 3.49
- CaO : % 63.92
- MgO : % 1.29
- SO_3 : % 2.48
- Kızdırma kaybı : % 1.39
- Ölçülemeyen : %0.81
- Karmaşık Bileşikler:
- C_3S (trikalsiyum silikat) : % 47.33
- C_2S (dikalsiyum silikat) : % 22.81
- C_3A (trikalsiyum alüminat) : % 9.94
- C_4AF (tetrakalsiyum alüminoferrit) : % 10.72

Beton kaplama plakalarının hazırlanması sırasında, harçların karışına eklenen çimento miktarları, genel beton imalatında kullanılan oranlar doğrultusundadır. Beton kaplama plakalarının üretim maliyetlerinde önemli bir etkisi bulunan çimentonun farklı oranlarda kullanılması, ortaya çıkacak ürünlerin dayanım değerlerini etkileyecektir.

3.4. Kullanılan Kireç Özelliği

Doğada kireçtaşı veya kalker (CaCO_3) olarak adlandırılan kayaçların ufalanarak yüksek dereceli (900-1000°C) fırınlarda ısıtılması (pişirilmesi) sonucu elde edilen bir inşaat malzemesidir. Eski uygarlıklar tarafından da bilinen kireç birçok eski harç malzemesi içinde birleştirici özelliğinden dolayı kullanılmıştır. Çimento yerine sadece kireç kullanılarak yapılan harçların yıllar sonra hala birleştirici özellik taşıdığı birçok eski yapıda görülebilmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar kirecin inşaat sektöründeki yerinin belirlemek için kullanılmaktadır (Çiçek, 1999).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Beton Plaka Üretim Yöntemi

Bu tez çalışmasında yapıların dış duvarlarına uygulanan ısı yalıtım uygulamaları ele alınarak beton kaplama plakalarının ısı özellikleri incelenmiştir. Bu tez araştırmasında ulaşılmak istenen hedef, ülkemiz inşaat sektöründe mevcut, kullanıma sunulmuş beton plakalarının yerine geçebilecek, ısı yalıtım özelliği daha iyi olan beton plaka üretimidir. Isı yalıtım özellikleri açısından farklı beton plakalar bu tez çalışmasında kullanılan üç farklı yöreden temin edilen volkanik kayaçların (tüf ve pomza) farklı oranlarda karışımlarından (Çizelge 4.1 ve 4.2) elde edilen beton harcı kullanılarak üretilmiştir. Üzerlerinde laboratuvar denemeleri yapılan beton plakalar harç hazırlanarak kalıplara dökme uygulamasıyla üretildiği gibi, farklı agregaların iyice karıştırıldıktan sonra hidrolik preste yüksek basınç altında sıkıştırılmasıyla da üretilmiştir. Üretim yöntemi farklı olan bu iki uygulamada, hammaddeler çimento hariç aynı olup agregaların her deney numunesi için karışım oranları hacimsel olarak sabit tutulmuştur.

Araştırmalar sırasında üretilen beton plaka numunelerinin, yapılan deneylerde inşaat sektöründe kullanılan 3 farklı beton plaka ile kıyaslaması yapıldığı gibi iki farklı yöntemle üretilen plakaların kendi aralarındaki ısı geçirim oranları kıyaslanmıştır. Böylece beton plaka üretim yöntem farklılığının etkisi gözlenmek istenmiştir. Çalışmalar sırasında numuneler arasındaki ısı geçirim özellikleri birbirleriyle karşılaştırılarak, ısı yalıtımı konusunda hammadde karışım oranı olarak diğerlerinin önüne geçen “ısı yalıtım plakası” uygulamalarının belirlenmesi sağlanacaktır.

4.1.1. Dökme Harç Tekniği İle Beton Plaka Üretimi

Deneylerde kullanılan hammaddelerden Aksaray ve Nevşehir yöresine ait olan volkanik kayaçlar, Konya’da beton yapı elemanları üretimi yapan bir firmadan sağlanmıştır. Diğer tüfitik hammadde ise Konya-Hatunsaray’da düşük blok verimi ile çalışması beklenen bir başka tüf ocağından temin edilmiştir. Bu kayacın beton plakalarda kullanımının olumlu sonuçlar vermesi durumunda, ilgili ocağın atıkları değerlendirilmiş olacaktır.

Deneylerde kullanılan hammadde kayaç malzemelerinin farklı tane boyutuna göre sınıflandırılması amacıyla bir dizi işlem uygulanmıştır. Piyasadan sağlanan volkanik kayaçların ortalama tane boyutları 5-18 mm arasında bulunmaktadır. Numuneler ilk başta öğütme işlemine tabii tutulmuş, öğütme işleminden sonra malzeme içerisinde ki nemin uzaklaştırılması için bir gün 105 °C sıcaklıkta fırında bekletilmiştir. Deneylerde kullanılan volkanik kayaçların tane boyutu -2,2 mm'dir. Isı plakalarının hazırlanmasına geçilmeden önce, nemden arındırılmış hammaddeler istenilen tane boyutuna göre sınıflandırılmaları için elenmiştir.

Dökme harç yöntemi ile üretilen BP kodlu, ısı yalıtım özellikli, beton plaka numunelerin üretildiği kalıplar 200x200x20 mm boyutunda hazırlanmıştır. Bu kalıp işlemler sırasında gerekli mukavemeti göstermesi için 0,3 mm kalınlığında demir saçtan yapılmıştır. Deneme numuneleri için seçilen bu boyut, beton plakaların ısı geçirgenliğinin ön testlerinin yapılacağı, bir anlamda ısı odası gibi davranması beklenen fırın kapağına uygun olarak seçilmiştir. Numune kalıpları içine dökülen harçların kalıplara yapışmaması için kalıp iç kenarları her dökümden sonra temizlenerek bir sonraki döküm işlemine hazır hale getirilmiştir.

4.1.1.1. Test Numunelerinin Hazırlanması

Denemelerin yapılacağı numunelerin (BP numuneleri), hazırlanmasında kullanılacak hammaddeler öncelikle Çizelge 4.1'de belirtilen oranlarda karıştırma kabına ayrı ayrı konulmuştur. Test numuneleri 3 farklı hammaddenin 2'şerli karışımlarının hazırlanmasıyla elde edilmiştir. Karıştırma kabına test öncesinde belirlenen oranlara uygun olarak konulan hammaddelere ilave olarak, bunların toplam ağırlıklarının % 10'nuna tekabül edecek şekilde kireç tozu da karışıma ilave edilmiştir.

Bu haliyle, harç hammaddeleri karıştırma teli ile iyice karıştırdıktan sonra karışımın toplam ağırlığının % 15'ine tekabül eden miktarı kadar çimento ve su eklenmiştir. Eklenen suyun ardından harç karışımı, karıştırma kabının içinde homojen hala gelinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Hazırlanan harcın döküm kalıplarına dökülmeden önce homojen olarak karıştırıldığından emin olunmuştur. Homojen hale gelen karışım taneli harç şeklindedir. Harcın döküleceği kalıbın alt yüzeyi ve kalıbın iç yüzeyleri önceden, numunelerin prizlenme sırasında kalıba yapışmalarını önlemek için, yağlanmıştır. Kalıba dökülen

harç spatula yardımı ile kalıba homojen olarak dağıtılmış olup sonrasında harç içerisinde boşluk kalmaması için silindir rulo yardımı ile harcın üzerine baskı uygulanarak harçta hem boşluk kalmaması sağlanmış, hem de numunenin üst yüzeyi düzeltilmiştir. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra test numuneleri prizlenmesi ve sağlamlaşması için kalıpta 24 saat bekletilmiştir. Bu bekleme süresi içerisinde prizlenme reaksiyonlarına yardımcı olmak için (betonun su ihtiyacını karşılamak için) numuneler eş zaman dilimleri dahilinde sulanmıştır. Kalıplarda bekleme süresini tamamlamış numuneler kalıptan zarar görmeyecek şekilde çıkarılmıştır.

Çizelge 4.1. Test numunelerinin hazırlanmasında kullanılan hammadde türleri ve karışım oranları.

Numuneler	Kuru karışım için kullanılan malzeme miktarları (% Hacim)			Hazırlanan kuru karışıma sonradan eklenenler (% Ağırlık)		Toplam kuru karışıma eklenen (% Ağırlık)
	Aksaray Tüfü	Konya Tüfü	Pomza Taşı	Çimento	Kireç	Su
BP 1	25	-	75	15	10	15
BP 2	50	-	50	15	10	15
BP 3	75	-	25	15	10	15
BP 4	100	-	-	15	10	15
BP 5	-	25	75	15	10	15
BP 6	-	50	50	15	10	15
BP 7	-	75	25	15	10	15
BP 8	25	75	-	15	10	15
BP 9	50	50	-	15	10	15
BP 10	75	25	-	15	10	15
BP 11	-	-	100	15	10	15
BP 12	-	100	-	15	10	15

Hazırlanan BP test numunelerinin boyutları, döküm yapılan kalıp boyutunun (200x200x20 mm) aynı olmasından dolayı hemen hemen aynı olup kalıbın hacmi 0,0008 m³'tür. Test numuneleri prizlenmelerini tamamladıktan sonra, oda sıcaklığı ortamında saklanmıştır. Test numunelerinin harç döküm işleminin üstünden 1 ay geçtikten sonraki tartımda gelen ağırlığı ve yoğunluğu Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. BP test numunelerine ait ağırlık ve yoğunluk değerleri.

Numuneler	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m ³)	Numuneler	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m ³)
BP 1	1,17	1,46	BP 7	0,94	1,17
BP 2	1,33	1,69	BP 8	1,11	1,38
BP 3	1,49	1,87	BP 9	1,29	1,61
BP 4	1,66	2,07	BP 10	1,47	1,84
BP 5	0,99	1,25	BP 11	1,01	1,26
BP 6	0,96	1,20	BP 12	0,92	1,15

4.1.2. Presleme Tekniği İle Plaka Üretimi

Isı plakası hazırlanması işlemi için kullanılan ikinci yöntem, farklı oranlarda karıştırılarak hazırlanan karışımların yüksek basınç altında preslenmesiyle elde edilen plakalardır. Bu amaçla hazırlanacak numune hammaddeleri karışım öncesinde bazı işlemlerden geçirilmiştir. Denemelerde kullanılan volkanik kayaların ortalama tane boyutları 5-25 mm arasında bulunmaktadır. Numune hazırlama işlemi, ilk başta hammaddelerin laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırma işlemine tabii tutulmasıyla başlamıştır. Daha sonra malzemeler laboratuvar tipi çubuklu değirmen kullanılarak öğütülmüştür. Bu işlemden sonra elenen hammaddeler -200 mikron boyutuna getirilmiştir. İçlerindeki nemin azalması için laboratuvar ortamında (20-22 °C) bir süre bekletilen hammaddeler daha sonra suyun tamamen uçurulması için laboratuvar fırınında (105 °C) bir gün tutulmuştur.

Kuru hammaddeler Çizelge 4.3'de verilen oranlarda birbirleriyle karıştırıldıktan sonra presleme işlemi uygulanmıştır. Presleme işleminin yapıldığı kalıp 180 mm boyunda 150 mm eninde 50 mm derinliğinde ve basıncı ileten bir üst kapaktan oluşan çelik malzemeden yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda belirlenen PP ısı plakalarının boyutu 180x150 mm olarak belirlenmiş olup, plaka kalınlığı ise 20 mm'ye ayarlanmıştır. Presleme işleminde, uygulama sonunda elde edilecek ısı plakalarının

düzgün bir şekilde pres kalıbından çıkarılabilmesi için pres kalıbının iç yüzeyleri ve presleme sırasında basıncı aktaracak olan üst baskı plakasının ilgili yüzeyleri çok az miktarda yağlanmıştır. Her presleme işleminden sonra ilgili kısımlar temizlenerek, yağlama işlemi tekrarlanmıştır. Isı plakası test numune üretiminde kullanılacak olan malzemeler Çizelge 4.3’de belirtilen oranlarla karıştırma kabına konulmuştur. Numuneler 3 farklı hammaddenin 2’şerli karışımları ile yapılmıştır. Karıştırma kabına test öncesi belirlenen oranlara uygun olarak hammaddeler konulmuş sonrasında konulan hammaddelerin ağırlıklarının % 15’nuna tekabül edecek şekilde kireç konulmuştur. Bu haliyle kuru hammaddeler, karıştırma teli ile iyice karıştırdıktan sonra karışımın toplam ağırlığının % 15’ine tekabül eden miktarı kadar su eklenmiştir. Eklenen suyun ardından karışım, karıştırma kabının içinde homojen hala gelinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Bu işlemlerden sonra elde edilen karışım ince harç şeklindedir. Karışımın döküleceği kalıbın alt yüzeyi, iç yüzeyleri ve kalıbın üst kısmı önceden çok az miktarda yağlanmıştır. Kalıba dökülen harç spatula yardımı ile kalıba homojen olarak dağıtılmış olup sonrasında karışımın içerisinde boşluk kalmaması için ağır silindir rulo yardımı ile harcın üzerine baskı uygulanarak harçta hem boşluk kalmaması sağlanmıştır hem de üst yüzeyi düzenlenmiştir.

Çizelge 4.3. Test numunelerinin hazırlanmasında kullanılan hammadde türleri ve karışım oranları

Numuneler	Kuru karışım için kullanılan malzeme miktarları (% Hacim)			Hazırlanan kuru karışıma sonradan eklenenler (% Ağırlık)	Toplam kuru karışıma eklenen (% Ağırlık)
	Aksaray Tüfü	Konya Tüfü	Pomza Taşı	Kireç	Su
PP 1	25	-	75	15	15
PP 2	50	-	50	15	15
PP 3	75	-	25	15	15
PP 4	100	-	-	15	15
PP 5	-	25	75	15	15
PP 6	-	50	50	15	15
PP 7	-	75	25	15	15
PP 8	25	75	-	15	15
PP 9	50	50	-	15	15
PP 10	75	25	-	15	15
PP 11	-	-	100	15	15
PP 12	-	100	-	15	15

Hidrolik pres kalıbına homojen olarak yerleştirilmiş ve tesviyesi yapılmış karışımın üstüne basıncı aktaracak kalıba ait olan üst kısım hassas bir şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra presleme işlemi yapılarak kalıpta bulunan karışıma 200 psi

basınç uygulanmıştır. Böylece kalıp içindeki karışım preslenmiş ısı plakası halini almıştır. İşlem tamamlandıktan sonra kalıp pres makinesinden tezgaha alınmış olup önce üst kısmı, sonrasında kalıbı oluşturan diğer dört bölme hassas bir şekilde çıkarılmıştır. Çıkarılan ısı plakalarının içindeki nemin normale gelmesi ve preslenmiş plaka içindeki kireçli hammadde içindeki diğer reaksiyonların tamamlanması için numuneler sarsmadan 24 saat oda sıcaklığında (laboratuarda) bekletilmiştir (Şekil 4.1).

Hazırlanan PP test numunelerinin boyutları hemen hemen aynı olup, presleme işleminden sonra, üretilen numunelerin hacmi, kullanılan kalıbın hacmiyle ($0,00054 \text{ m}^3$) uyumludur. Presleme işlemiyle hazırlanan PP numuneleri, oda sıcaklığında bekletilerek iyice katılaşmaları sağlanmıştır. Presleme işleminden 1 ay sonra yapılan ağırlık ölçümlerinde bulunan sonuçlar Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.1. PP ve BP numuneleri.

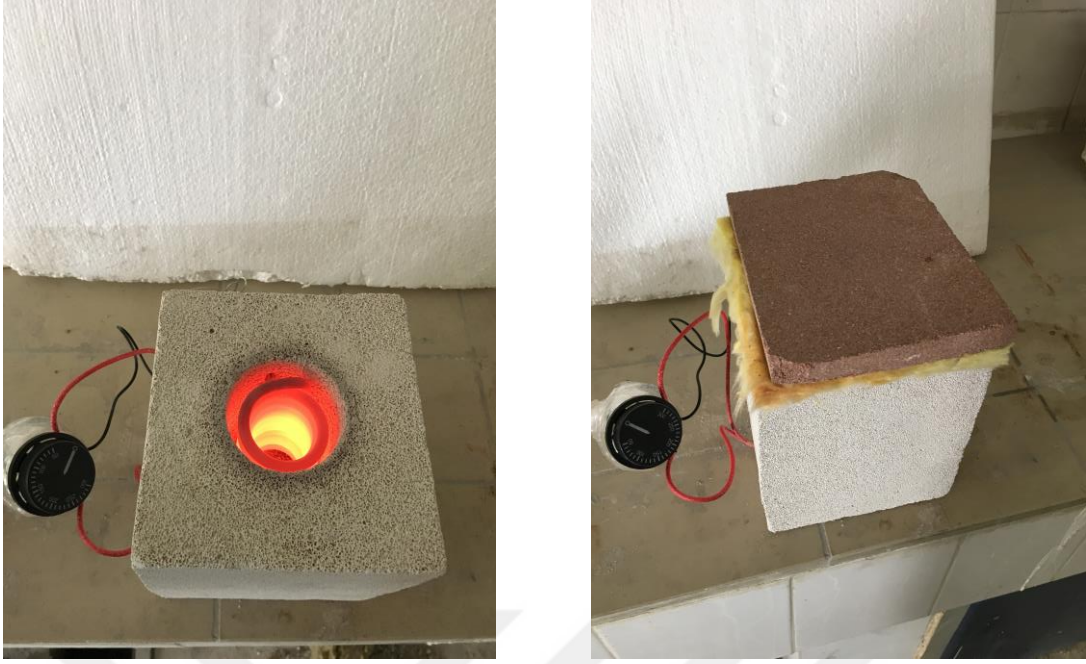
Çizelge 4.4. PP test numunelerine ait ağırlık ve yoğunluk değerleri.

Numuneler	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m^3)	Numuneler	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m^3)
PP1	0,59	1,09	PP7	0,47	0,87
PP2	0,67	1,23	PP8	0,55	1,02
PP3	0,74	1,38	PP9	0,65	1,20
PP4	0,82	1,53	PP10	0,74	1,37
PP5	0,49	0,91	PP11	0,51	0,94
PP6	0,50	0,93	PP12	0,46	0,86

4.2. Isı Geçirim Kapasitesinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Isı bir enerji aktarım yolu olup, maddeler veya ortamlar arasında sıcaklık farkından dolayı alınan ya da verilen enerji olarak adlandırılır. Isı ölçülebilen bir enerji türüdür. Isı aktarımı farklı şekillerde olabilir. Bu araştırmada üretilen laboratuvar boyutlu test plakalarında olduğu gibi katı maddelerde ısı geçirimi, iletim yolu ile gerçekleşmektedir. İletimle ısı geçişi deneysel çalışmalarla belirlenen Fourier kanunu ile tanımlanır. Fourier kanununa göre bir yönde geçen ısı miktarı, o yönde ki sıcaklık değişim miktarı ve ısı geçiş yönüne dik olan alan ile orantılıdır (Sözbir, 2014).

Isı yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenliğinin tayin edilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Isı yalıtım özelliği olan kaplama plakaları üretmek için yapılan bu araştırmada ısı yalıtımlı beton plakalarının (BP) ve preslenmiş ısı plakalarının (PP), ısı geçirim sürelerinin kıyaslanması için, “ısı odası” kavramına uygun kapalı ve yüksek sıcaklığa sahip bir ısı hacmi hazırlanmıştır (Şekil 4.2). Hazırlanan bu test düzeneğinin amacı hazırlanan BP (beton plakalar) ve PP (preslenmiş plakalar) kodlu plakaların iki yüzünde farklı sıcaklık farklılığı oluşturularak, plaka kalınlığından (20mm) ısı geçişinin sağlanmasıdır. Hazırlanan bu ısı hacmi düzeneğine yerleştirilen ısı plakalarının (test numunelerinin), her iki yüzeydeki ortam sıcaklığının farklı ama aynı tutulduğu bu düzenekte, ısı yüksek sıcaklık seviyesinden düşük olan tarafa doğru geçiş yapmak isteyecektir. Bu ısı geçişi deneyler için hazırlanan plakaların özellik farklılıklarından dolayı (hammadde karışım oran farklılıkları) değişiklikler gösterecektir. Bu tez çalışmasındaki amaç, hazırlanan bu düzeneğe ısı geçişine en fazla direnç oluşturan deney plakasını belirlemektir. Belirlenecek o plaka hazırlanan test numuneleri içinde ısı yalıtkanlığı en fazla olan test plakası olarak nitelendirilecektir. Bu test aşamaları sırasında plaka numuneleri sırayla, ortam sıcaklığı 20 °C olan laboratuvar ortamında 200 °C sıcaklığa ayarlanmış olan kapalı bir ısı odacığının üstüne konularak, plakaların ısı geçirim özelliklerindeki farklılıklar belirlenmiştir. Teste tabii tutulan her plakanın bir yüzeyi 20°C sıcaklık seviyesindeki oda sıcaklığıyla diğer yüzeyi 200°C sıcaklıktaki ısı odacığı ortam sıcaklığıyla temas halindedir, deney düzeneğiyle ayarlanan bu 10 kat sıcaklık seviye farkı, test plakaları içinden geçen ısıya daha hızlı geçişini sağlamak amacıyla uygulanmıştır.



Şekil 4.2. Hazırlanan ısı odacığı ve test numunesinin odacık üzerine ısı geçirimini ölçmek için yerleştirilmesi.

Hazırlanan ısı plakası test numunelerinin ısı geçirgenlik özelliklerinin birbirinden ayırt edilmesi amacıyla yapılan ısı odacığı düzeneği, ana gövdesi gaz beton içinde açılmış sadece bir tarafı açık 5 cm çaplı silindirik bir haznedir. Bu hazne içine, özel olarak imal edilmiş elektrikli bir ısıtıcı rezistans yerleştirilmiştir. Hazne içindeki sıcaklığın belirlenen seviyelerde sabit tutulması için, (sistemin istenilen sıcaklıkta sabit tutulması amacıyla) hazne içine yerleştirilen bu elektrikli ısıtma sistemine gazlı termostat eklenmiştir.

Çalışmada uygulanacak olan sıcaklık değeri 200 °C olarak belirlenmiştir. Termostat bu derece için ayarlandığında, oda sıcaklığından başlayan hazne içi ilk sıcaklık değeri 5,5 dk'da istenilen değere ulaşmaktadır. Test numuneleri ısı geçirgenlikleri için test edilirken, hazırlanan bu ısı haznesinin üstüne sıkıca tutturulmaktadır. Böylece test haznesi kapalı bir ısı odacığına dönüşmekte, iç sıcaklık seviyesi de 200 °C ayarlandığı için, ayarlanan bu seviyede bir ısı kaynağı gibi davranmaktadır. Bu ortamın odayla bağlantısını sağlayan hazne çıkışını kapatan plakalar, hazne içindeki ısının dışarıya sızdırılmasına engel olmalıdır. Plakaların hazne ağzını uygun bir biçimde kapatılması için cam yünü kullanılarak contalama işlemi ile sıkıştırılması, plakaların sıkılanırken hazneye ve plakalara zarar verilmeden testin yapılmasına özen gösterilmesi bu araştırmada özellikle üzerinde durulan konular arasında olmuştur.

Isı odacığı deney düzeneğiyle ulaşılmak istenen, test plakaları yüzeyleri arasında oluşturulan yüksek sıcaklık farklılığından dolayı, plakalardaki ısı transferinin net bir şekilde görülmesidir. Farklı karışımlar kullanılarak iki farklı yöntemle üretilen BP ve PP numuneleri, 200°C iç sıcaklık seviyesinde tutulmak üzere ayarlamaları yapılmış ısı haznesi (odacığı) üst kısmına, cam yünüyle contalama işlemi de yapılarak sıkıca yerleştirildikten sonra, 90 dakika süresince, her 10 dakikada bir plakaların odaya bakan, (20 °C sıcaklık tarafı), tarafında plakanın hazne orta noktasına denk gelen lokasyonundan sıcaklık ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü uzaktan sıcaklık ölçümü yapabilen lazerli bir sıcaklık termometresiyle yapılmıştır. Bu test basamakları hazırlanan bütün test numuneleri için aynı şartlarda uygulanmış ve hazırlanan her ısı plaka numunesi için dış yüzey sıcaklık değişimleri belirlenmiştir.

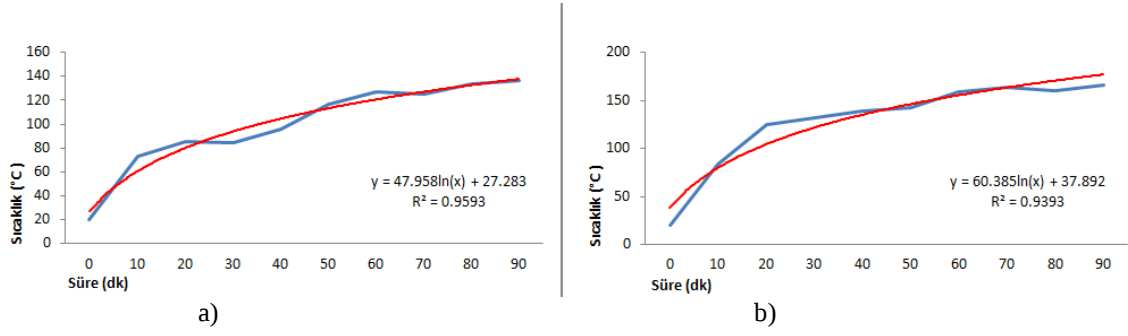


5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Isı geçirgenliği, maddelerin kimyasal ve fiziksel bazı özelliklerine göre değişmektedir. Yapıların dış duvarlarına uygulanan beton kaplama plakaları, yapı dış cephelerinin güzel bir görsellik katması için kullanılmaktadır. Beton kaplama plakaları yapıya estetik bir görsellik katarken, bir yandan da ısı izolasyonuna katkı sağlaması hem ekonomiklik, hem de zaman açısından büyük katkılar sağlayacaktır. Bu amaca ulaşmak için bu çalışma kapsamında hazırlanan hammadde karışımları, iki farklı yöntem ile ısı plakası numunelerine dönüştürülmüştür. Bu tez çalışması sırasında karışımda kullanılan üç farklı volkanik kayaç, hem düşük yoğunluklarıyla hem de ısı izolasyon özellikleri ile dikkat çekmişlerdir. Beton plaka numunesi hazırlama işleminde kullanılan bu hammaddelerden elde edilen numunelerin ısı geçirgenliği konusunda yapılan ısı iletme test sonuçları bu bölümde incelemeye alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bütün BP ve PP numunelerinin hazırlanması sırasında kullanılan hammadde karışım oranları Çizelge 4.1 ve 4.3 'de verilmiştir. İncelenen sonuçlara ait, sıcaklık (°C) - test süresi (dakika) grafiklerinde, (Şekil 5.1 ile Şekil 5.15 arasındaki grafikler), ölçüm değerleriyle uyumlu logaritmik eğilim eğrileri ve bunlara ait eşitlikler de gösterilerek değerlendirmeler yapılmıştır.

5.1. Isı Geçirim Sonuçları ve Yorumlanması

a) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-1 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-1 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Isı geçirim deneyine tabii tutulan 1 numaralı BP ve PP numunelerinde ilk 10 dk'lık ölçümde, PP-1 numunesi BP-1 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. Bunun etkisi odaya dönük plaka yüzeyinden okunan sıcaklık değerlerindeki fazlalıktan anlaşılabilmektedir. Bu konuda yapılan inceleme sonucunda, PP-1 numunesinde deneyin ilk 10 dk'sında daha fazla ısı geçirmesinin temel sebebi; presleme



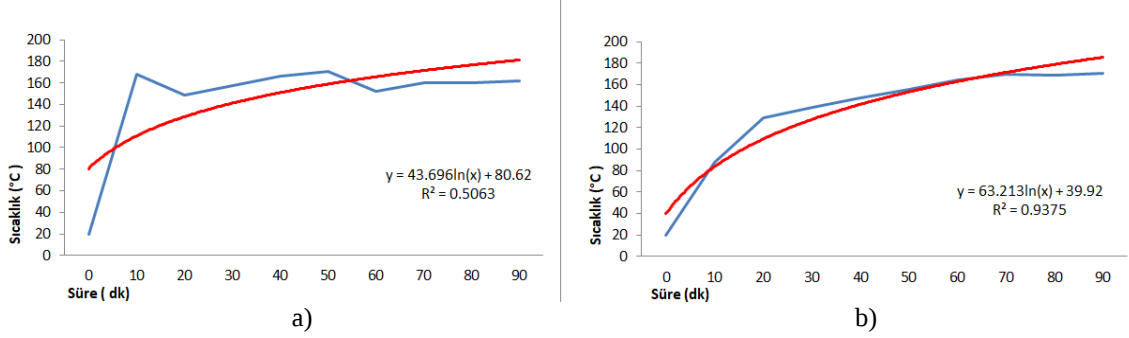
Şekil 5.1. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-1 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-1 numunesinin ısı geçirir durumu.

yöntemi uygulanırken, beton plaka üretiminde kullanılan hammaddelerin tane boyutunun küçük olması ve küçük taneli yapıya sahip katı maddelerinde ısı iletiminin daha hızlı olduğu kanaatidir.

Sabit kapalı ortam sıcaklığını (200 °C), oda sıcaklığından (20 °C) ayıran BP-1 plakası göreceli olarak PP-1 plakasına göre daha yavaş ısı geçişi göstermiştir. Bu nedenle yapılan 90 dk'lık ısı geçişi izleme deneyi sırasında oluşan grafikte sert sıcaklık artışları izlenmemiş, dış yüzey sıcaklık artışı 80 °C den sonra daha fazla ani iniş-çıkışlar olmadan (yumuşak) ilerlemiştir. PP-1 plakası ise daha çabuk ısınarak, ısı geçişindeki yumuşak artış eğimine 120 °C den sonra başlamıştır.

Bu sonuca göre, 1 numaralı numunelerin 90 dk'lık ısı geçirir deney sonucunda, beton dökme yöntemi ile üretilen BP-1 plakası, presleme yöntemine göre üretilen plakadan (PP-1) daha yavaş ısı geçirme özelliğine sahiptir.

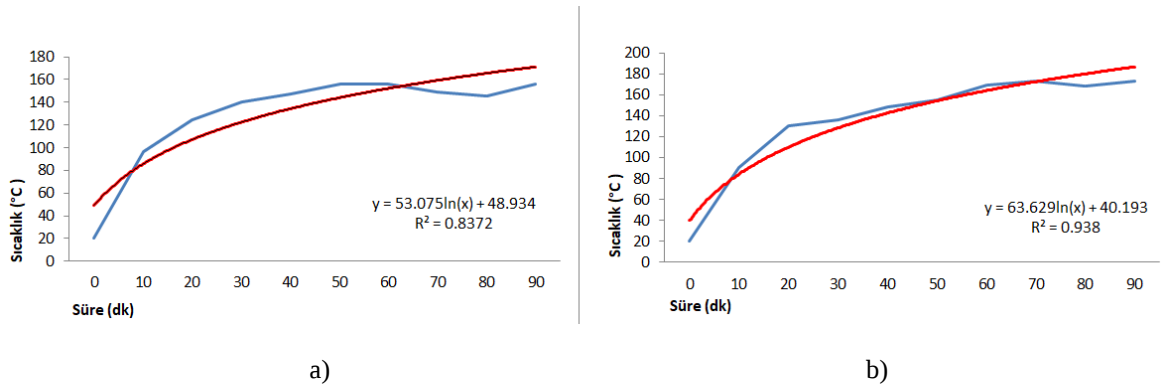
b) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-2 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-2 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-2 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-2 numunesinin ısı geçirim durumu.

Isı geçirim deneyi tabi tutulan Numune 2’de ilk 10 dk’lık ölçümde, dökme yöntemi ile üretilen BP2 numunesi presleme yöntemi ile üretilen PP2 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. Bunun temel sebebini dökme yöntemi uygulanırken karışıma eklenen çimentonun betonlaşması sonucu plakada bir tür ısı köprüsü oluşmasıdır. Aksaray tüfü hammaddesinin kimyasal yapısında metal içeriğin fazla bulunması sebebiyle her iki numunede de ısı geçirimi çok hızlı gerçekleşmiştir.

c) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-3 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-3 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.3’de gösterilmektedir.

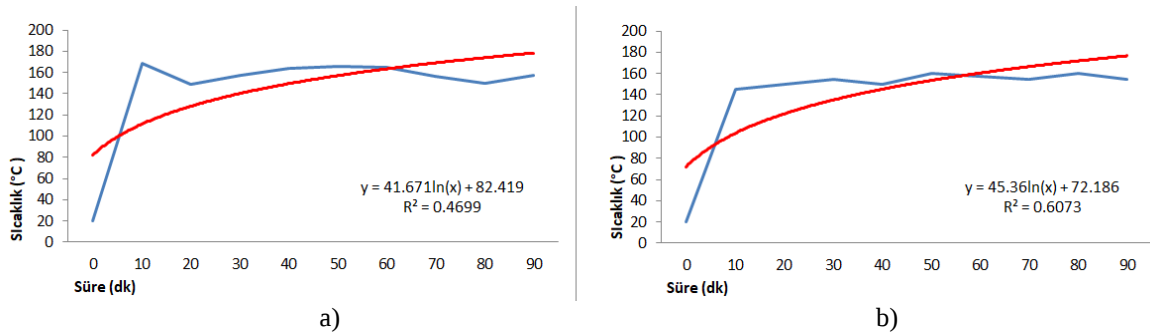


Şekil 5.3. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-3 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-3 numunesinin ısı geçirim durumu.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan Numune 3’de ilk 10 dk’lık ölçümde, dökme yöntemi ile üretilen BP-3 numunesi, presleme yöntemi ile üretilen PP-3 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. Bunun temel sebebini dökme yöntemi uygulanırken karışıma eklenen çimentonun plakada bir tür ısı köprüsü oluşturmasıdır. Isı geçirme deneyinin toplam süresi olan 90 dk’lık deney süresince, beton dökme yöntemi ile üretilen BP-3 plakası, presleme yöntemi ile üretilen PP-3 plakasından daha fazla ısı geçirimine sahip olduğunu Şekil 5.3a’ da oluşturduğu grafikte göstermiştir.

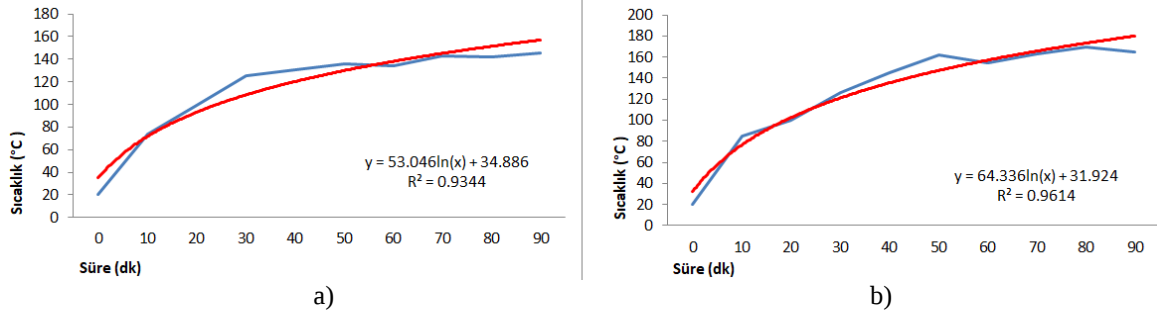
d) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-4 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-4 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.4’de gösterilmektedir.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan 4 numaralı numuneler, deneyin ilk 10 dk’lık ve deneyin tamamı olan 90 dk’lık ölçümlerde numunelerin gösterdikleri performans değerlendirildiğinde; beton dökme yöntemi ile üretilen BP-4 numunesi presleme yöntemi ile üretilen PP-4 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. Her iki yöntemle üretilen plakada da ısı geçiriminin fazla olmasının temel sebebi Aksaray tuffünün kimyasal yapısında metal içeriğinin fazla olmasıdır. Aksaray tuffü olarak nitelenen, Aksaray pomza taşı ile yapılan BP-4 ve PP-4 deney numunelerinde plakamukavemet sorunu gözlenmiştir.



Şekil 5.4. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-4 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-4 numunesinin ısı geçirim durumu.

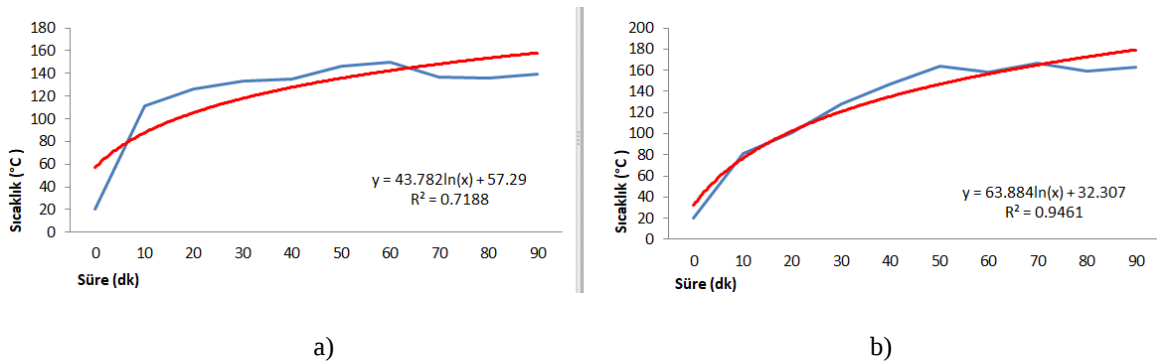
e) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-5 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-5 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-5 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-5 numunesinin ısı geçirim durumu.

Isı geçirim deneyi tabi tutulan 5 numaralı numunelerin ilk 10 dk'lık ölçümlerinde ve deneyin tamamı olan 90 dk'lık ölçümlerde gözlenen ısı geçişinin benzer özellik gösterdiği görülmüştür. BP-5 numunesi deneyin 10. dk'dan sonraki süreçte, 30. dk'ya kadar sabit bir şekilde ısı geçirimine devam edip sonrasında grafik eğiminden de görüleceği gibi (Şekil 5.5a) ulaşılan sıcaklıkta yataya yakın pozitif bir eğimde ilerleme vermiştir. PP-5 numunesi ise 20. dk'dan sonra, ısı geçirimine belirli bir seviyede 50. dk'ya kadar devam edip sonrasında ısı geçişinin hızı azaldığı için dış sıcaklık artışında yataya yakın pozitif bir eğimle ilerlemiştir. Genel olarak deneyde PP-4 numunesi, BP-4 numunesine göre daha fazla ısı geçirim özelliğine sahiptir.

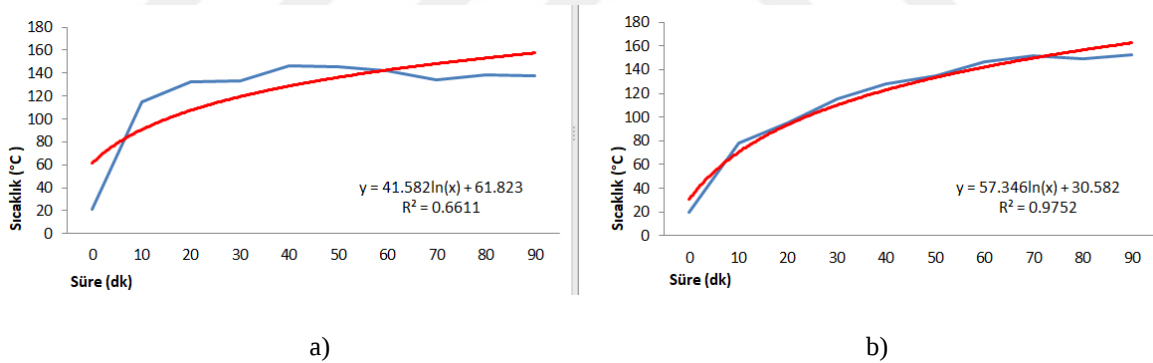
f) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-6 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-6 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-6 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-6 numunesinin ısı geçirim durumu.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan 6 numaralı numunelerde, deneyin ilk 10 dk'lık ölçümlerinde, dökme yöntemi ile üretilen BP-6 numunesi presleme yöntemi ile üretilen PP-6 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. Bunun temel sebebi numune içindeki ısı köprülerinin fazlaca oluşmasıdır. İlk ölçümden sonra belirli bir seviye de ısı geçirimine devam eden BP-6 numunesi 60. dk'da en yüksek ısı geçirim değerine ulaştıktan sonra ısı geçirimini azaltıp belirli bir seviyede ısı geçirimine devam etmiştir. PP-6 numunesi ise ilk ölçümden 50. dk'ya kadar belirli bir seviyede ısı geçirimine devam etmiştir. Daha sonra ısı geçirimindeki düşüş nedeniyle daha yatay yakın pozitif bir eğime sahip olmuştur. Isı geçirim seviyesini belirlemek amacıyla 6. numuneler üzerinde yapılan testlerde, deneyin toplam süresi olan 90 dk düşünüldüğünde, BP-6 numunesi, PP-6 numunesine göre daha fazla ısı geçirim özelliğine sahiptir.

g) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-7 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-7 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

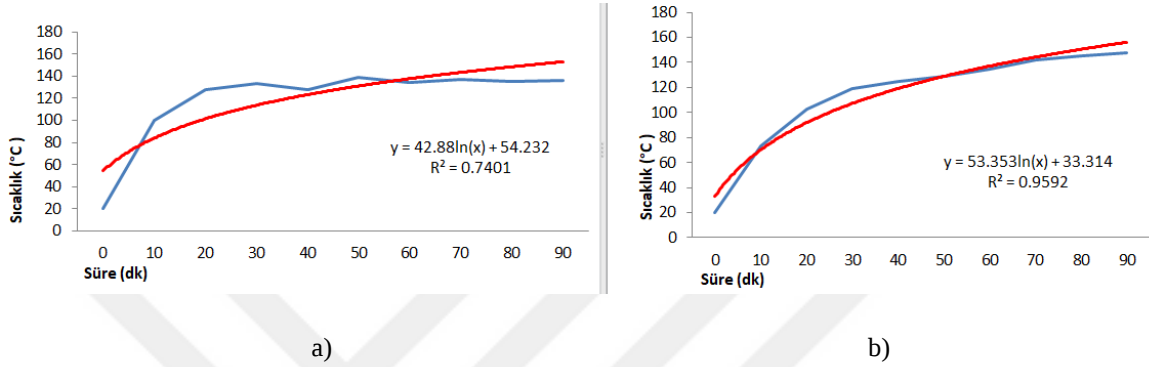


Şekil 5.7. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-7 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-7 numunesinin ısı geçirim durumu.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan 7 numaralı numunelere ait ölçüm sonuçlarında, deneyin ilk 10 dk'lık ölçümlerinde, dökme yöntemi ile üretilen BP-7 numunesi presleme yöntemi ile üretilen PP-7 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. Bunun temel sebebini numune içindeki ısı köprüleridir. En yüksek ısı geçirimini 40. dk'da gerçekleştiren BP-7 plakası sonrasında ısı geçirimi belirli bir seviyede tutarak ısı geçirimine devam etmiştir. PP-7 plakası ise ilk ölçümden sonra 70. dk'ya kadar ısı geçirimine belirli bir seviyede yükselerek devam etmiş sonrasında ise yataya yakın

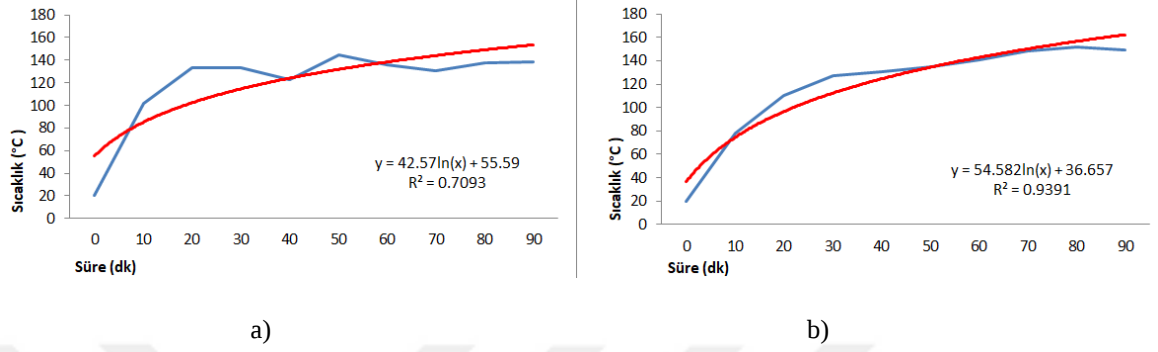
pozitif bir eğimle ısı geçişi devam etmiştir. Bu deney sonucunda, PP-7 numunesi, BP-7 numunesine göre daha fazla ısı geçirime özelliğine sahiptir.

h) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-8 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-8 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



Isı geçirim deneyine tabi tutulan 8. numuneler, deneyin ilk 10 dk’lık bölümünde farklı ısı geçirime özelliği göstermişlerdir. Deneyin bu ilk aşamalarında; BP-8 numunesi, presleme yöntemi ile üretilen PP-8 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. BP-8 plakası deneyin 20. dk’dan sonra, ısı geçirimini fazla değiştirmeden yataya yakın pozitif bir eğim elde edilmesini sağlamıştır. Diğer numune, PP-8 plakası ise 30. dk’dan sonra ısı geçirimini belirli bir seviyede tutarak eğimi BP-8’e göre (Şekil 5.8a) daha fazla olan bir eğri (Şekil 5.8b) oluşturmuştur. Deneyi yapılan 3 numaralı numunelerde; deneyin 90 dk’lık toplam süresince; PP-8 numunesi, BP-8 numunesine göre daha fazla ısı geçirim özelliği göstermiştir.

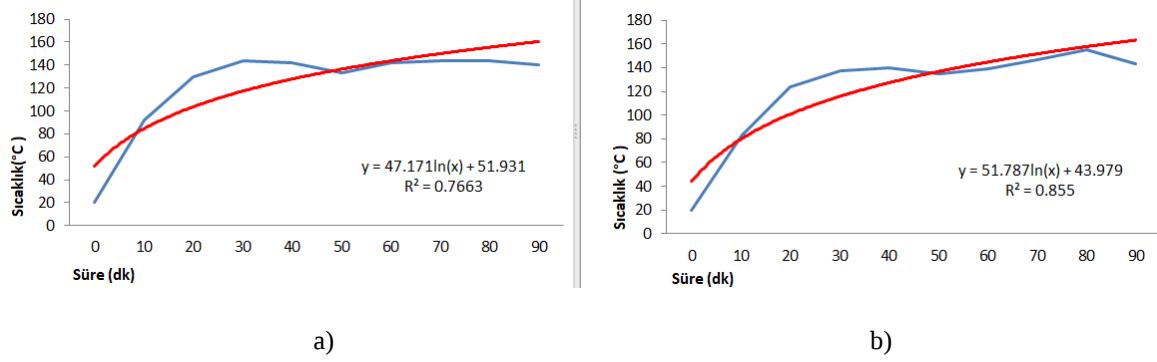
ı) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-9 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-9 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-9 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-9 numunesinin ısı geçirim durumu.

Üzerlerinde ısı geçirim deneyi yapılan 3 numaralı deney numunelerinin performansları Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Deneyin ilk 10 dk'lık kısmında, BP-9 numunesi, PP-9 dan daha hızlı bir ısı geçişi göstererek Şekil 5.9a'da görülen sıcaklıklara yükselmiştir. BP-9 plakası en yüksek ısı geçirim değerini 50. dk'da yapmış olup sonrasında ısı geçirimini belirli bir seviyede, yataya yakın pozitif eğim vererek tamamlamıştır. PP-9 numunesi ise 30. dk'dan sonra ısı geçirimini belirli seviyede pozitif artırarak deneye devam etmiştir. Bu deney sonucuna göre BP-9 numunesi, PP-9 numunesine göre daha fazla ısı geçirim özelliğine sahiptir.

i) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-10 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-10 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

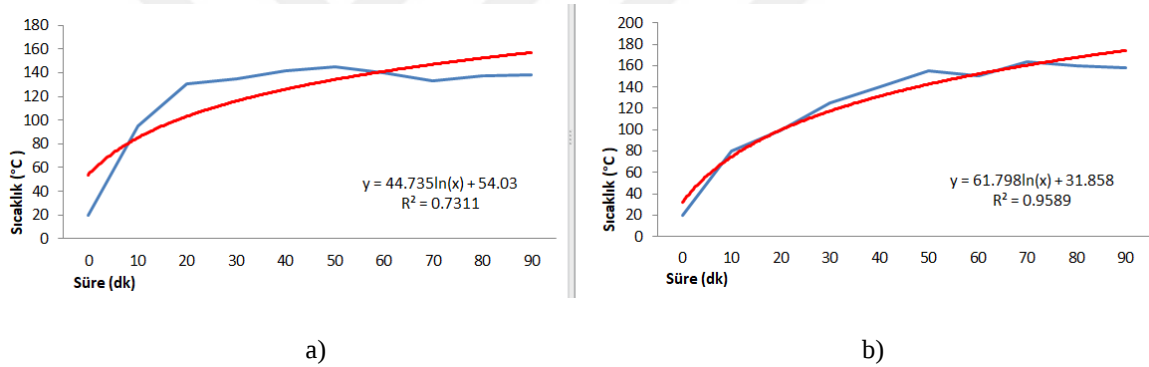


Şekil 5.10. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-10 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-10 numunesinin ısı geçirim durumu.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan 10 numaralı numunelerde, deneyin ilk 10 dk'lık ölçümlerinde, beton dökme yöntemi ile üretilen BP-10 numunesi, presleme yöntemi ile üretilen PP-10 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. BP-10 en yüksek ısı geçirimini 30. dk'da gerçekleştirmiş olup sonrasında belirli bir seviyede ısı geçirimine devam etmiştir. PP-10 ise 80.dk'ya kadar belirli bir seviyede ısı geçirimi sağlarken 80. dk'da en yüksek ısı geçirim değerine ulaşmış ısı geçirim seviyesini düşürerek deneye devam etmiştir. Genel olarak deneyin tamamında BP-10 numunesi, PP-10 numunesine göre daha fazla ısı geçirimine sahiptir.

j) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-11 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-11 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.11’de gösterilmektedir.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan 11 numaralı numunelerin performansları Şekil 5.11’de görülmektedir. Deneyin ilk 10 dk’lık kısmında, beton dökme yöntemi ile üretilen BP-11 numunesi presleme yöntemi ile üretilen PP-11 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. BP-11 numunesi en yüksek ısı geçirimini 50. dk’da gerçekleştirmiş olup, sonrasında ısı geçirimine belirli bir seviyede yataya yakın pozitif artışla devam etmiştir. PP-11 numunesi ise ilk ölçümden 50. dk’ya kadar belirli bir seviyede ısı geçirimine devam etmiş ve en yüksek ısı geçirim değerine 70. dk’da ulaşmıştır. Bu deneyde, PP-11 numunesi, BP-11 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi göstermiştir.

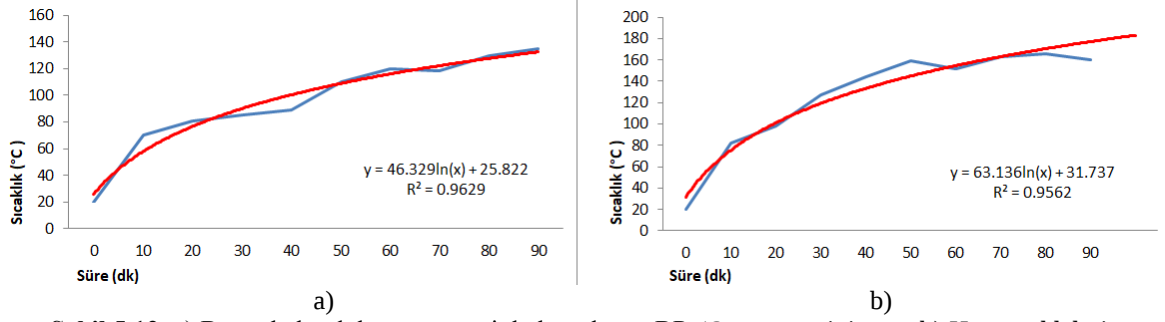


Şekil 5.11. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-11 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-11 numunesinin ısı geçirim durumu.

k) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP-12 numunesine ve preslenerek hazırlanan PP-12 numunesine ait ısı geçirim durumları Şekil 5.12’de gösterilmektedir.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan 12 numaralı deney numunelerinin performansları Şekil 5.12’de görülmektedir. Bu deneyin ilk 10 dk’lık ölçümlerinde, presleme yöntemi ile üretilen PP-12 numunesi beton dökme yöntemi ile üretilen BP-12 numunesine göre daha fazla ısı geçirimi yapmıştır. BP-12 numunesi ilk ölçümden sonra ısı geçiriminin kademeli olarak yükseldiği gözlenmiş olup son ölçümde en yüksek ısı geçirim değerine ulaşmıştır. PP-12 numunesi ise 50. dk’da en yüksek ısı geçirim değerine ulaştıktan sonra ısı geçirimi belirli bir seviyede kalarak devam etmiştir.

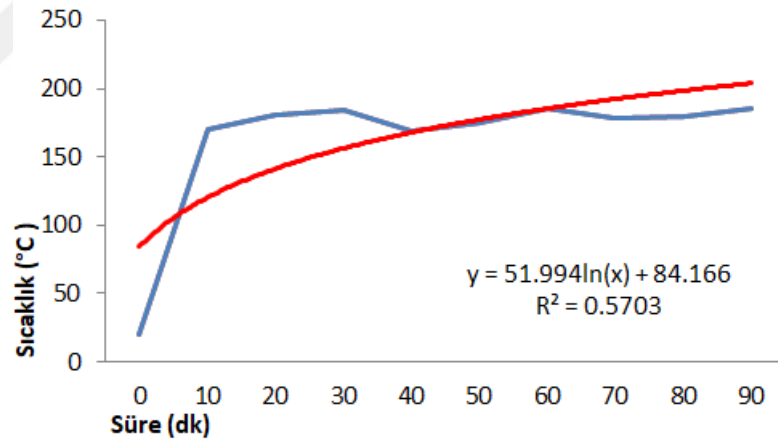
Deneyleri yapılan 12 numaralı numunelerde, deneyin toplam süresi olan 90 dk'lık ısı geçiririr deney sonuçlarına göre; PP-12 numunesi, BP-12 numunesine göre daha fazla ısı geçiriririme özelliğı göstermiştir.



Şekil 5.12. a) Beton kalıp döküm yöntemiyle hazırlanan BP-12 numunesinin ve, b) Hammaddelerin hidrolik preste, preslenmesiyle hazırlanan, PP-12 numunesinin ısı geçiririr durumu.

İ) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP ve PP numunelerinin standart beton plakalar ile karşılaştırmasını yapabilmek için, kullanımda olan bir kaplama plakasından (a) numune alınarak ısı geçirim deneyi uygulanmıştır. “kaplama plakası” numunesi olarak isimlendirilen bu numunenin ısı geçirim özellikleri grafiği Şekil 5.13’de verilmiştir.

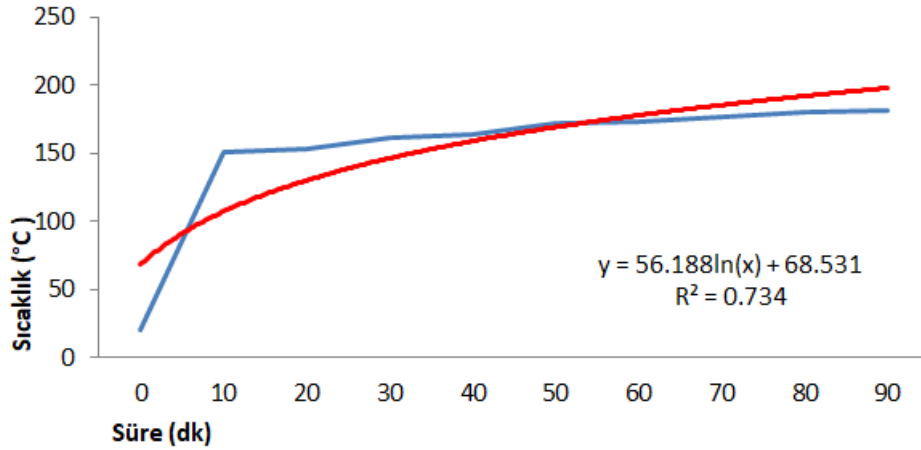
Isı geçirim deneyine tabi tutulan ilk beton kaplama plakasına “kaplama plakası (a)” denilmiştir, kaplama plakası (a) dökme yöntemi ile elde edilen bir plaka olup 20x20x2 cm boyutunda, 1,980 gr ağırlığında ve yoğunluğu 2,47 ton/m³’tür. Plaka içerisinde beton elyafı olduğu gözlemlenmiştir. Deneye tabi tutulan kaplama plakası (a), ilk 10 dk’lık ölçümde, yüksek sıcaklığa (200 °C) sahip kapalı hacimden kendisine ulaşan ısının % 85’lik kısmını üst yüzeye vermiş olup, bu aşamadan sonra yataya yakın pozitif bir eğimle deneye devam ettiği gözlenmiştir. Ölçüm sonucunda ölçülen en yüksek dış yüzey sıcaklığı, kapalı hacim sıcaklığı olan 200 °C’nin % 92’sine tekabül etmektedir.



Şekil 5.13. Deneyi yapılan kaplama plakası (a) numunesinin ısı geçirim durumuna göre ölçülen dış yüzey sıcaklıkları.

m) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP ve PP numunelerinin standart beton plakalar ile karşılaştırmasını yapabilmek için, kullanımda olan bir kaplama plakasından (b) numune alınarak ısı geçirim deneyi uygulanmıştır. “kaplama plakası” numunesi olarak isimlendirilen bu numunenin ısı geçirim özellikleri grafiği Şekil 5.14’de verilmiştir.

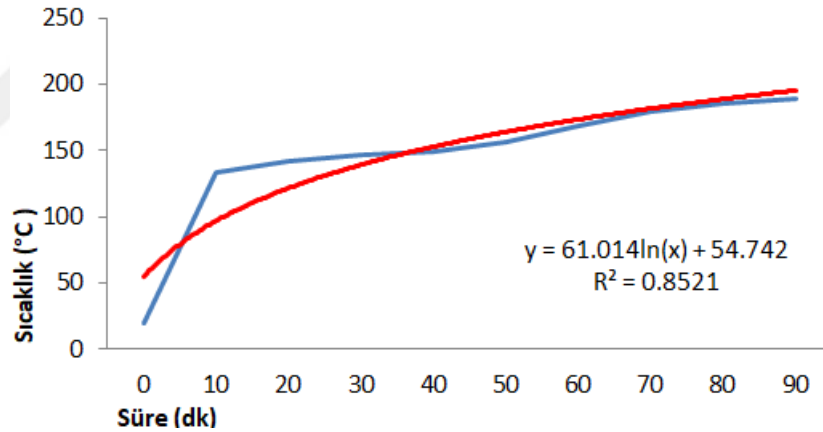
Isı geçirim deneyine tabi tutulan ikinci beton kaplama plakasına “kaplama plakası (b)” denilmiştir, kaplama plakası (b) presleme yöntemi ile elde edilen bir plaka olup 15x20x2 cm boyutunda, 780 gr ağırlığında ve yoğunluğu 1,3 ton/m³’tür. Plaka içerisinde cam yünü olduğu gözlemlenmiştir deneye tabi tutulan kaplama plakası (b), ilk 10 dk’lık ölçümde, yüksek sıcaklığa (200 °C) sahip kapalı hacimden kendisine ulaşan ısıнын % 75’lik kısmını üst yüzeye vermiş olup, bu aşamadan sonra yataya yakın pozitif bir eğimle deneye devam ettiği gözlenmiştir. Ölçüm sonucunda ölçülen en yüksek dış yüzey sıcaklığı, kapalı hacim sıcaklığı olan 200 °C’nin % 91’ine tekabül etmektedir.



Şekil 5.14. . Deneyi yapılan kaplama plakası (b) numunesinin ısı geçirim durumuna göre ölçülen dış yüzey sıcaklıkları.

n) Hazırlanan beton karışım harcından döküm yapılarak yapılan BP ve PP numunelerinin standart beton plakalar ile karşılaştırmasını yapabilmek için, kullanımda olan bir kaplama plakasından (c) numune alınarak ısı geçirim deneyi uygulanmıştır. “kaplama plakası” numunesi olarak isimlendirilen bu numunenin ısı geçirim özellikleri grafiği Şekil 5.15’de verilmiştir.

Isı geçirim deneyine tabi tutulan üçüncü beton kaplama plakasına “kaplama plakası (c)” denilmiştir, kaplama plakası (c) presleme yöntemi ile elde edilen bir plaka olup 15x20x2 cm boyutunda, 750 gr ağırlığında ve yoğunluğu 1,22 ton/m³’tür deneye tabi tutulan kaplama plakası (c), ilk 10 dk’lık ölçümde, yüksek sıcaklığa (200 °C) sahip kapalı hacimden kendisine ulaşan ısıнын % 67’lik kısmını üst yüzeye vermiş olup, 40 dk’lık süreden sonra malzemenin yataya yakın pozitif bir eğimle deneye devam ettiği gözlenmiştir. Ölçüm sonucunda ölçülen en yüksek dış yüzey sıcaklığı, kapalı hacim sıcaklığı olan 200 °C’nin % 94’üne tekabül etmektedir.



Şekil 5.15. . Deneyi yapılan kaplama plakası (c) numunesinin ısı geçirim durumuna göre ölçülen dış yüzey sıcaklıkları.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Isı yalıtımı, enerji kaynaklarının hızla tükendiği günümüzde gün geçtikçe daha da önemli bir konuma gelmekte olup gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke, konutlarda ısı yalıtımını zorunlu hale getirmekte hatta bazı ülkelerde maddi teşvikler verilmektedir. Isı yalıtımının önemli bir konuma geldiği günümüzde, bu işlemler başlı başına bir sektör haline gelerek farklı uygulama yöntemleri ve çeşitli ısı yalıtım malzemeleri ile kullanıcıların beklentilerine hitap edecek, farklı tercihte bulunulabilecek geniş bir çeşitlilik sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, çeşitli avantajlarından dolayı genellikle tercih edilen dışarıdan yalıtım uygulaması üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Isı yalıtımı konusunda göreceli olarak kullanımı artmaya başlayan beton kaplama plakalarının ısı yalıtım özellikleri araştırılarak, bu plakaların hazırlanmasında kullanılan hammaddelerin, sonuçta elde edilen plakaların ısı geçirgenliğine etkisi vurgulanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, bu araştırma seçilen 3 farklı volkanik kayacın beton kaplama plakası yapımında kullanılmasının araştırıldığı bir çalışmadır. Beton kaplama plakalarının üretimi için kullanılan hammaddeler, bu malzemelerin sağlandığı maden ocakların asıl satış ürünü veya bu ocakların artık/atıkları olma özelliği taşımaktadır. Bu açıdan incelendiğinde bu tez çalışmasıyla kullanımı araştırılan Evliyatekke tüfü, Aksaray pomzası ve Nevşehir Pomza taşı maden ocakların farklı amaçlar için satışı zor olan atıklarının doğaya uygun olarak, kullanımı mümkün olan bir formata, beton kaplama plakalarına çevrilmesi doğanın korunması kapsamında da yararlı olacaktır.

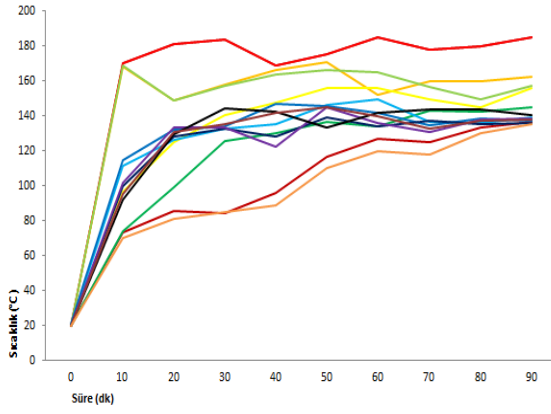
Bu kapsamda Konya, Aksaray ve Nevşehir illerindeki maden ocaklarından sağlanan volkanik kayalar farklı karışım oranlarıyla (eklenen çimento ve/veya kireç gibi katkı maddeleriyle birlikte) karıştırılarak üretim hammadde karışımları elde edilmiştir. Bu karışımlar; beton harcı dökümü ve hidrolik presleme yöntemleri uygulanarak, 12 farklı karışım basamağında, toplam 24 adet ısı yalıtım plakası üretilmesinde kullanılmıştır. Üretilen bu numuneler ısı geçirim deneyine tabi tutulmuş olup, deneyler sırasında ölçülen sıcaklık verileri kaydedilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen verilerin toplu olarak gösterimi Şekil 6.1 - 6.3’de verilmiştir. Bu grafiklerde, hazırlanan BP ve PP ısı plaka numunelerinden elde edilen ısı geçiş deney sonuçları gösterilmektedir. Hazırlanan test numunelerinden elde edilen ısı iletim deney sonuçları halihazırda mevcut ve kullanımda olan “a”, “b”, ve “c” ısı plakası örneklerinden elde edilen grafiklere göre (kırmızı eğri ■) karşılaştırılarak değerlendirmeye alınmıştır.

Deneye tabii tutulan BP ve PP numunelerine ait grafiklerin Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3’ de gösterilen renk kodları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

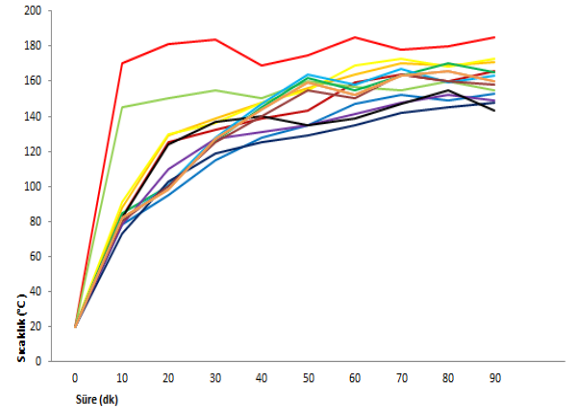
Tablo 6.1. Numunelere ait renk kodları.

	N1		N4		N7		N10
	N2		N5		N8		N11
	N3		N6		N9		N12

Bu çalışmada 90 dk’lık deney süresince, ısı geçirim zorlamasına tabii tutulan BP ısı plakalarından en yüksek verimi BP-12 numunesi (ısı geçişine en fazla direnç gösteren numune) sağlamıştır. BP numuneleri arasında, yapılan bu denemeler sırasında en düşük verim BP-4 ve BP-2 numunelerinde (ısı geçişine en az direnç gösteren numuneler) gerçekleşmiştir. Isı geçirim deneyinde preslenmiş numunelerden, en yüksek verim PP-8 numunesinden alınmış olup en düşük verim ise PP-4 numunesinde gerçekleşmiştir.

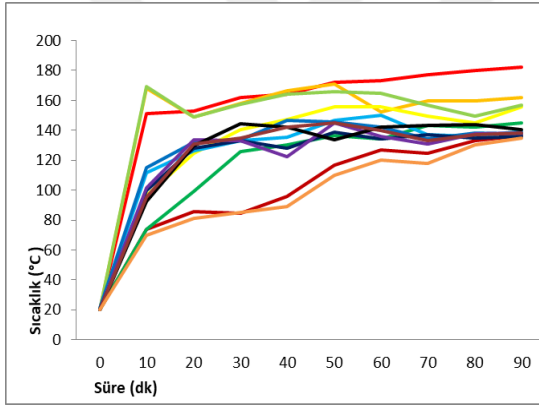


a)

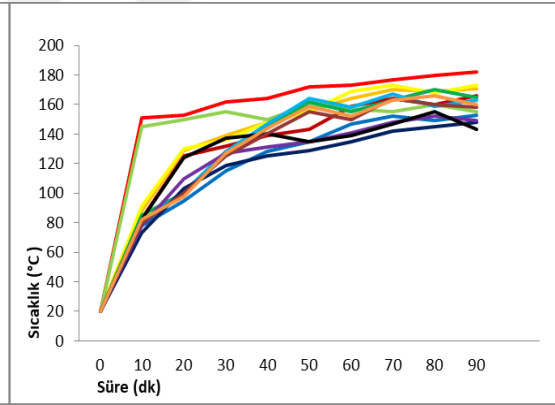


b)

Şekil 6.1. a) BP numunelerinin beton kaplama plakası (a) ile kıyaslaması, b) PP Numunelerinin beton kaplama plaka (a) ile kıyaslanması.

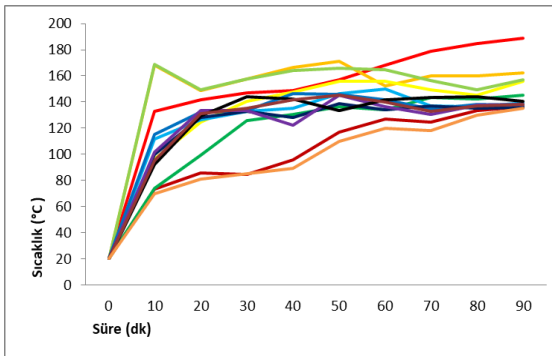


a)

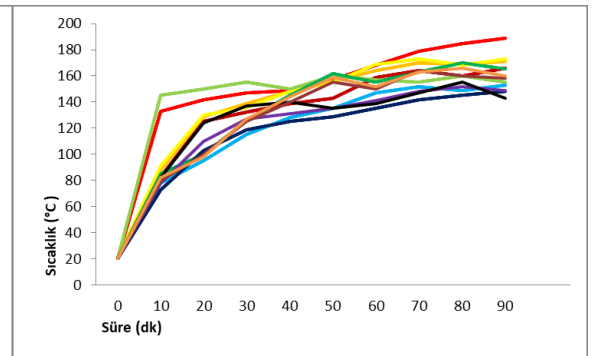


b)

Şekil 6.2. a) BP numunelerinin beton kaplama plakası (b) ile kıyaslaması, b) PP Numunelerinin beton kaplama plaka (b) ile kıyaslanması.



a)



b)

Şekil 6.3. a) BP numunelerinin beton kaplama plakası (c) ile kıyaslaması, b) PP Numunelerinin beton kaplama plaka (c) ile kıyaslanması.

Yapılan ısı geçirim deneylerinde yapı sektöründe kullanılmakta olan örnek beton kaplama plakaları “a”, “b” ve “c” kodlarıyla verilmiş olup, “a” kodlu plaka döküm yöntemi ile üretilen bir plaka iken “b” ve “c” kodlu numuneler presleme yöntemi ile imal edilmektedir. Karşılaştırma için kullanılan bu üç adet örnek beton kaplama plakaları A1 sınıfı yanmaz malzemelerdir.

Yapıya uygulanacak olan ısı yalıtımının onaylanabilmesi için, yalıtım uygulamalarının; 8/9/2002 tarihli ve 24870 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan, “*Yapı Malzemeleri Yönetmeliği*” ve 9/10/2008 tarihli 27027019 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan, “*Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği*” içeriğine uygun olması gerekmektedir. Yönetmeliklerde yapılarda kullanılacak olan her malzemenin TS 825 (binalarda ısı yalıtım kuralları) standartlarını sağlaması gerektiği ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasında uygulanan ısı geçirim deneyleri, hazırlanan karışımlarla üretilen ısı plakası numunelerinin “ısı iletkenlik katsayılarının” bulunması öncesinde, bu plakaların ısı yalıtımına uygun olanlarının seçimine yönelik olarak ön test olarak yapılmıştır.

Bu hedefe ulaşmak için kullanılan hammaddelerden, verimliliği konusunda en iyi sonuçlar Konya tfnden yapılan numunelerden alınmıştır. En düşük verimin ise kimyasal yapısında diğer hammaddelere göre daha farklı mineraller (metalik elementlerin bileşikleri) içeren Aksaray pomza taşından alındığı gözlenmiştir. Hazırlanan test numunelerinin ısı odacığı şartlarında test edilmeleri, BP ve PP numuneleri arasında ısı geçirgenliği konusunda karar verilmesini kolaylaştırmıştır. Farklı içeriklerle hazırlanan bu numunelerin farklı ısı geçirim grafikleri vermesi, bunlar arasında en uygun numunenin seçilmesini kolaylaştırmış ve bu numunenin hazırlanış şekli ve içeriği konusunda değerlendirme yapılmasını sağlamıştır. şekil 5.1 ile şekil 5.15 arasında sunulan grafikler ilgili numunelerin ısı odacığında bulunan ısıyı deney süresi içerisinde geçirme davranışlarını göstermektedir. Hazırlanan ısı plakalarının yoğunlukları ele alındığında, beton döküm yöntemiyle hazırlanan numunelerin yoğunluk değerlerinin 1,15-2,07 kg/m³ değerleri arasında, presleme yöntemiyle hazırlanan numune yoğunluklarının da 0,86-1,53 kg/m³ değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Yoğunluk değeri birim hacimde ölçülen ağırlık olduğu için, ısı yalıtım test numunelerinin hammadde karışım oranlarına ve hazırlanış yöntemine göre numuneler

arasında yoğunluk farklılıkları oluşmuştur. Bu farklılıklara ve karışımında bulunan malzeme özelliklerine göre test numuneleri ısı geçirim özelliklerinde farklılaşmışlardır. Genel olarak incelendiğinde daha yoğun olan ısı plakalarının ısı geçirimine gösterdikleri direnç daha az olmaktadır.

Bu sonuçlar, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Mühendislik Hizmetleri İhtisas Grubu'nun TS 825:1998 yılı durumunu revize ederek hazırladığı ve TSE-Teknik Kurulu tarafından 22.05.2008 tarihinde kabul edilen Standard ekiyle de uyumludur. Uygulamaya konulan TS 825 standardına göre; yapılar için hazırlanacak ısı yalıtım projelerinde, yapıların yapımı ve yalıtımında kullanılan malzemeler için “ısı geçirgenlik değerlerinin” beyan edilmesi gerekmektedir. Bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan “ısı iletkenlik katsayıları”, aynı standardın ekinde, belirli malzeme başlıkları altında toplanarak, malzeme türüne, bileşenlerine ve yoğunluğuna göre verilmiştir. Hafif beton kaplama plakaları için sunulan değerler, TS 825 standart kılavuzunun ekinde (TSE 825, Ek-E), “Yapı Plakaları ve Levhalar” başlığı altında verilmiştir (Çizelge 6.2). Bu çizelgede sunulan ısı iletkenlik hesap değerleri, hafif agregalardan üretilen hafif beton ısı yalıtım plakalarının birim hacim değerlerindeki artışla yükselmektedir. Bir başka deyişle, ısı geçişine gösterilen direnç ele alındığında, daha fazla birim hacim değerine sahip “hafif betondan yapılmış duvar plakaları” daha düşük direnç değerine sahip olacak şekilde hesap değeri sunulmuştur. Bu değerler bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlarla uyumludur.

Çizelge 6.2. Malzeme yoğunluklarına göre ısı iletkenlik hesap değerleri, (TSE, 1998).

Sıra no	Malzemenin veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi (kg/m ³)	Isı iletkenlik hesap değeri, λ , (W/mK)
6.2	Hafif betondan duvar plakaları	800	0,29
		900	0,32
		1000	0,37
		1200	0,47
		1400	0,58

Presleme yöntemi ile üretilen numunelerde kullanılan hammaddenin tane boyutu diğer yöntemden daha küçük olup, deneylerde PP kodlu numunelerin davranışı birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi olarak -200 mikrometre tane boyutuna getirilen hammaddenin gözeneklilik (porozite) oranı düşerek fiziksel özelliklerini kaybetmiştir. Tane boyutu küçüldükçe kullanılan hammaddelerin fiziksel özelliklerinden ziyade kimyasal içeriğinin önemli olmaya başladığı söylenebilir.

Üretilen numunelerin tümü (BP ve PP numuneleri) 90 dk'lık ısı geçirim deneyleri sırasında, inşaat sektöründe kullanılan 3 farklı “beton kaplama plaka” örneğine göre daha verimli sonuçlar vermiştir. Presleme yöntemi ile üretilen PP numuneleri, görsel estetik ve işlenebilirlik açısından BP numunelerine göre daha avantajlı durumda olduğu gözlenmiştir. BP numuneleri ise PP numunelerine göre daha mukavemetli yapıda olduğu görülmüştür. İki üretim yönteminin birleştirildiği bir çalışmadan daha verimli sonuçlar alınabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Aksoy, U., 2008, Sandviç ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Dergisi*, Kayseri ,24 ,(2) , p.277-290.
- Aksöz, H., 2009, Betonarme binalarda uygulanan ısı yalıtım amaçlı duvar elemanlarının ısı ve ekonomik yönden analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Altınışık, K., 2006, Isı Yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, p.70-98.
- Arıcı, E., 1997, Van yöresindeki volkanik tüfün beton mukavemetine etkisi ve taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Çiçek, T., 1999, Kireç ve Kullanımı 3.*Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 14-15 Ekim, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, p.1-11.
- Çomaklı, K., Bakırcı, K., Erdoğan, S. ve Şahin, B., 2005, Enerji, çevre, sağlık ve güvenlik açısından yalıtım, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (89), 65-70.
- ÇŞB, 2015, Isı Yalıtım Uygulama Kılavuzu, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, Ağustos, 2015, <http://www.csb.gob.tr>, [Ziyaret Tarihi: 15. Ekim 2019].
- Doruk, M., 1974, Volkanik tüflerin karayolu yapımında kullanılması ile ilgili bir çalışma, *Karayolları Genel Müdürlüğü, Arastırma Fen Heyeti Müdürlüğü*, (40), p.23-50.
- Duran, F., 2009, Erciyes volkanizmasının oluşumu, Koçcağız Köyü (Kayseri) dolayının stratigrafisi ve tüflerin yapı - kaplama taşı olarak kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Ekinci, C. E., 2003, Yalıtım teknikleri: Isı, ses, su, tesisat, yangın, Atlas yayınları, Ankara, p. 102.
- ETKB, 2010a, Enerji Dengesi, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, <http://www.enerji.gov.tr>, Ankara.
- ETKB, 2010b, Genel Enerji Dengesi Raporu, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, <http://www.enerji.gov.tr>, Ankara.
- Gündüz, L., 2005, İnşaat Sektöründe Bimsblok, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları. Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, *Isparta*, p. 928.
- Jeong, Y., Koh, T-H., Youm, K. and Moon, J., 2017, Experimental Evaluation of Thermal Performance and Durability of Thermally-Enhanced Concretes, *Applied Sciences*, 7 (8), 811.
- Kalaycıoğlu, H., Yel H., Çavdar Dönmez, A., 2012, Çimentolu odun yünü kompozitleri ve kullanım alanları, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (1), 122-133.
- Karakaş, İ. Y., 2018, Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Maliyet Yönünden Karşılaştırması, Uzmanlık Tezi, *İller Bankası*, p.87.
- Konuk, H., 2003, Hafif Agregalı Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N. ve Seçer, T., 1997, Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları, 2.*Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 16-17 Ekim, *İzmir*, p.98-105.
- Ören, C. B., 1996, Pomzanın endüstriyel hammadde olarak değerlendirilebilirliği, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

- Özer, M., 1984, Yapılarda ısı-su yalıtımları, Özer Yayınları, *İstanbul*, p. 347 - 462.
- Sayar, A. M. ve Erguvanlı, K., 1955, Türkiye mermerleri ve inşaat taşları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, *İstanbul*, p. 142.
- Sezer, F. Ş., 2005, Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Bursa, 10 (2), 79-85.
- Sözbir, N., 2014, Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi Deney Föyü. *Sakarya Üniversitesi*. Sakarya.
- Şimşekli, A., 2018, Seramik Malzemelerin Isıl İletkenlik Değeri Bulunmasında Kullanılacak Pratik Test Yöntemi Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.
- Temel, O., 2013, Işınım ile Isı Geçişinde Bulunan Türbülanslı Akışların Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Topcuoğlu, K., 2017, Yalıtım Teknolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, *Ankara*, 2, p.176.
- TSE, 1998, Binalarda ısı yalıtım kuralları, TS825, Thermal insulation requirements for buildings. ICS 91.120.10, *Türk Standartları Enstitüsü*. Ankara, p.72.
- TUAM, 2019, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, <https://tuam.aku.edu.tr/termal-analiz>, [Ziyaret Tarihi: 15 Tem. 2019].
- Ulusoy, G., 2004, Pomzanın İzole Monolitik Malzeme İmalinde Kullanılması, *MTA Dergisi, Maden Tetkik Arama, Ankara*, (129), 89-96.
- Uz, B., 2000, Mineraller, Kristallografi-Mineraloji, Birsen Yayınevi, *İstanbul*, 3, p.436.
- Van Elten, G., 2006, Production of wood wool cement board and wood strand cement board (eltoboard) on one plant and applications of the products, *10th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference*, Nov 15-18th 2006, SaoPaulo, Brazil, 1-12.
- Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalikuş, O., Kara, İ., Erdem, Ş. ve Özgür, D., 2015, Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri, *İMO Yapı Malzemeleri Komisyonu*, 487 (4), 62-75.