KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DIŞ CEPHE ISI YALITIM SİSTEMLERİNDEKİ YÜZEY SICAKLIĞININ YALITIM LEVHALARI BİRLEŞİM DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN SIVA ÇATLAKLARI OLUŞUMUNA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS

Metalurji ve Malzeme Müh. Recep AŞKAR

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Ömer YILDIZ

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DIŞ CEPHE ISI YALITIM SİSTEMLERİNDEKİ YÜZEY SICAKLIĞININ YALITIM LEVHALARI BİRLEŞİM DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN SIVA ÇATLAKLARI OLUŞUMUNA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Recep AŞKAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09 MART 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 10 ŞUBAT 2010

Tez Danışmanı
Doç.Dr. Ömer YILDIZ
(.....)

Üye
Prof.Dr. Muzaffer ZEREN
(.....)

Üye
Doç.Dr. Faruk YILMAZ
(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ

Dış cephe ısı yalıtım sistemlerinin binalardaki uygulaması ülkemizde her geçen gün artmakta ve gelişmektedir. Bu sistemler yüksek seviyelerde ısı tasarrufu sağlamaktadır. Ancak bu sistemlerde bazı uygulama hatalarından ve yanlış malzeme seçimlerinden kaynaklınan birçok problemlerle karşılaşılmaktadır.

Isı yalıtım sistemlerinde değişik nedenlerden dolayı oluşan problemlerin en büyüklerinden birisi ısı yalıtım levhalarının birleşim düzlemlerinde sıcaklık farkından dolayı oluşan çatlaklardır. Bu çatlakların oluşumuna neden olan en önemli etken son kat boyanın doğru seçilmemesidir. Bu çalışmada yalıtım levhaları arasındaki çatlakların oluşumunu engellemek amacıyla son kat boyanın seçimi ve uygulaması üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Bu araştırmayı yaparken maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Ömer YILDIZ'a ve deneysel çalışmalarımı yaparken BETEK BOYA VE KİMYA A.Ş.'nin imkanlarından yararlanmamı sağlayan değerli insan sayın Özlem ÇINGIR GÜRDAL ve sayın Güneş İNAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bugünlere gelmemde çok büyük katkıları olan çok kıymetli anneme, babama ve abime ayrıca zor günlerimde beni yalnız bırakmayan sevgili eşime canı gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SEMBOLLER vi
ÖZET vii
İNGİLİZCE ÖZET viii
1.GİRİŞ 1
2. GENEL KISIMLAR 4
2.1. Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri (DCIYS) 4
2.1.1. Dikkat edilmesi gereken hususlar 5
2.1.2. Dış cephe ısı yalıtım sisteminin bölümleri 5
2.1.2.1. Genişletilmiş (Expanded) polistiren (EPS) ısı yalıtım levhaları 5
2.1.2.2. Haddelenmiş (Extrude) polistiren (XPS) ısı yalıtım levhaları 9
2.1.2.3. Taşyünü ısı yalıtım levhaları 10
2.1.2.4. Yapıştırıcı 10
2.1.2.5. Dübel 11
2.1.2.6. Sıva filesi 11
2.1.2.7. Yalıtım sıvası 12
2.2. Isı Yalıtım Levhaları 13
2.2.1. Genişletilmiş (Expanded) polistiren (EPS) 13
2.2.1.1. Expanded polistiren'nin dünyada ve Türkiye'deki gelişimi 15
2.2.1.2. Expanded polistiren ile ilgili standartlar 15
2.2.1.3. Isı iletkenlik 17
2.2.1.4. Su emme oranı 18
2.2.1.5. Üretim parametrelerinin EPS'nin yoğunluk ve ısı iletkenliğine etkisi 20
2.2.1.6. Boyut kararlılığı 21
2.2.1.7. Isı yalıtımında EPS kullanımının avantajları 22
2.2.2. Extrude polistiren (XPS) ısı yalıtım levhası 24
2.2.2.1. Extrude polistiren (XPS)'nin tarihçesi 25
2.2.2.2. Isı iletkenlik değerinin yoğunluk ve hücre yapısı ile ilişkisi 25
2.2.2.3. Su emme oranı 27
2.2.2.4. Mekanik özellikler 27
2.2.2.5. Yoğunluk- basma dayanımı ilişkisi 27
2.2.2.6. Boyutsal kararlılık 28
2.2.2.7. Su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) 28
2.2.2.8. Yangın dayanımı 30
2.2.2.9. Isıl özellikler 30
2.2.2.10. Kimyasal özellikler 31
2.3. EPS ve XPS Isı Yalıtım Levhaları Karşılaştırılması 31
2.3.1. Isı iletkenliği 31
2.3.2. Su buharı difüzyon direnç faktörü 33
2.3.3. Su alma durumu 34

2.4. Sıva ve Son Kat Boya 35
2.4.1. Sıva 35
2.4.2. Son kat boya 37
2.5. Isı Yalıtım Malzemelerinin Mikroskobik Analizi 41
2.6. Köpük Yalıtımı İçin Isı Transfer Eşitliği 44
3. MALZEME VE YÖNTEM 46
3.1. Çatlak Oluşumu İzlenecek Numunelerin Hazırlanması 47
3.2. Mukavemet Değeri Ölçülecek Numunelerin Hazırlanması 50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 54
4.1. Sıcaklık Değerlerinin Ölçülmesi 54
4.2. Üç Nokta Eğme Deneyi ile Mukavemet Değerlerinin Belirlenmesi 58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 61
5.1. Sonuçlar 61
5.2. Öneriler 62
KAYNAKLAR 64
ÖZGEÇMİŞ.....67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Dış cephe ısı yalıtım sistemleri kesiti.….....6
Şekil 2.2: EPS ısı yalıtım levha çeşitleri. (a) Beyaz Polistiren boncuktan üretilen EPS, (b) Beyaz ve karbon takviyeli siyah boncuktan üretilen EPS, (c) tamamen siyah boncuktan üretilen EPS……..……8
Şekil 2.3: XPS ısı yalıtım levhaları……9
Şekil 2.4: Taşyünü Isı yalıtım levhaları…….…..10
Şekil 2.5: Sıva filesi (donatı filesi)…….…..12
Şekil 2.6: Polistiren boncuklar……..…….……..…13
Şekil 2.7: EPS ısı yalıtım levhalarında ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi (+10°C'de)……..…..16
Şekil 2.8: EPS ısı yalıtım levhalarında ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi (d =20 kg/m^3)……... …..18
Şekil 2.9: Farklı yoğunluklardaki EPS levhaların tamamen suya batırılmış durumda su emme oranlarının zamanla değişimi……...…..19
Şekil 2.10: EPS levhalarda rötrenin zamanla değişimi……22
Şekil 2.11: Yoğunlukla ısı iletim şeklinin değişimi……...….26

Şekil 2.12: Yoğunlukla XPS'nin ısı iletkenlik değişimi…….....27
Şekil 2.13: XPS'nin yoğunlukla basma mukavemetinin değişimi……..….28
Şekil 2.14: Polistiren'in molekül yapısı…….…..31

Şekil 2.15: Yüzey sıcaklığının durumuna göre ısı yalıtım levhasının alacağı şekil……...40
Şekil 2.16: Isı yalıtım levhaları arası çatlaklar……..... 41
Şekil 2.17: Isı yalıtım levhaları arası oluşan çatlaklar…… 41
Şekil 2.18: Melamin köpüğün mikroskobik retikular yapısı……43
Şekil 2.19: 33 kg/m^3 XPS köpüğün yapısı ve hücrenin detayları (büyütme 100x) …….43
Şekil 2.20: 15 kg /m^3 EPS köpüğün hücre yapısı ve bir hücrenin detayları (100x büyütme)……..….44
Şekil 3.1: Sıva kalınlığının numune üzerinde her alanda aynı olmasını sağlamak amacı ile kullanılan alüminyum şeritlerin numune üzerinde görünüşü…… 48
Şekil 3.2: Sıvanın numune üzerine uygulanması……48
Şekil 3.3: Isı yalıtım sıvası uygulamış numuneler…….…49
Şekil 3.4: (a) Kırmızı ve (b) beyaz boya boyanmış numuneler……..……51
Şekil 3.5: Malzemeyi EPS den ayıma işlemi…….....51
Şekil 3.6: Mukavemet değerinin belirlemek için hazırlanan numuneler…… ….52
Şekil 3.7: Çekme basma cihazında üç nokta eğme deneyi ile mukavemet testi…….. 53
Şekil 3.8: Çatlama tespiti için test yöntemi…… ….53
Şekil 4.1: Tablo 4.1.'den alınan verilerden elde edilen grafik……57
Şekil 4.2: Tablo 4.2.'de verilen sıcaklık değerlerinden oluşturulan grafiktir……...58
Şekil 4.3: Tablo 8.4.'teki verilerden elde edilen grafik……...60

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Isı yalıtım amaçlı EPS levhalar için EN 13163'te belirtilen yoğunluklar ve yaklaşık ısı iletkenlikleri……..17
Tablo 2.2: Üretim parametreleri…….. 20
Tablo 2.3: Üretim parametresine göre aynı yoğunlukta ısıl iletkenlik değişimi…. 21
Tablo 2.4: Isı iletkenliği 0.040 W/mK olan 5 cm ısı yalıtım malzemesine eş değer kalınlıkta bazı yapı malzemeleri……... 23
Tablo 2.5: Isı yalıtım malzemeleri fayda/maliyet hesapları karşılaştırması…… 33
Tablo 2.6: EPS - XPS ısı iletkenliği karşılaştırma tablosu…….....35
Tablo 2.7: EPS - XPS teknik özelliklerin karşılaştırma tablosu…….....35
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan malzemeler ait bilgiler…….....50
Tablo 4.1: Ortama bırakılan numunelerden öğlen saatlerinde (11:30-12:30) ölçülen sıcaklık değerleri…….....56
Tablo 4.2: Günün akşam saatlerinde numunelerden ve ortamdan ölçülen sıcaklık değerleri……58
Tablo 4.3: Üç nokta eğme deneyi ile kırılan numunelerden alınan sonuçlar……. 60

SEMBOLLER

Kg :Kilogram
m :Metre
kN :Kilonewton
mm :Milimetre
W :Watt
K :Kelvin
d :Yoğunluk
μ :Buhar difüzyon direnç faktörü
λ :Isı iletkenliği
q :Isı akısı
ml :Mililitre
g :Gram
k :Kalınlık
cp :cantipoise

KISALTMALAR

DCIYS:Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri
EPS :Expanded Polistiren
XPS :Extrude Polistiren

DIŞ CEPHE ISI YALITIM SİSTEMLERİNDEKİ YÜZEY SICAKLIĞININ YALITIM LEVHALARI BİRLEŞİM DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN SIVA ÇATLAKLARI OLUŞUMUNA ETKİSİ

Recep AŞKAR

Anahtar Kelimeler: Yalıtım, EPS, XPS, Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri.

Özet: Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri (DCIYS), binalarda %50-60'a varan ısı tasarrufları sağlayan sistemlerdir. DCIYS'leri, geleneksel yapı malzemelerinden farklı olarak, farklı fiziksel özelliklere sahip katmanlardan oluşan kompozit bir sistemdir. DCIYS'lerini oluşturan bu farklı elemanlar (özellikle polimerik yapılı ve özgül ağırlığı oldukça düşük ısı yalıtım levhası ve bu levhanın üzerine kaplanan ağırlıklı olarak inorganik yapılı ve yüksek yoğunluklu sıva) çeşitli ısısal değişimler ve mekanik yüklenmeler karşısında çok farklı tepkiler vermektedirler. Bu farklı tepkiler, ısı yalıtım levhasının süreksiz olmasından dolayı, levhaların birleşim düzleminde yoğunlaşmakta ve bu düzlemde çoğunlukla doğrusal çatlamalara yol açmaktadır. Isı yalıtım levhalarının birleşim yerlerinde oluşan çatlakların önlenmesi için DCIYS'lerde hangi koşullarda çatlakların meydana geldiğini deneysel yollarla tespit edmek gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, DCIYS'lerinde malzemeden - özellikle ısı yalıtım levhası türü ve son kat boya renginden - kaynaklanan değişimlerin ısı yalıtım levhalarının birleşim düzlemlerinde meydana gelen çatlak oluşumuna etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada çatlamanın gözlenebilmesi için ısı yalıtım filesi kullanılmamıştır. Koyu renkli boyanmış DCIYS' leri çok fazla nem ve sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu yüzden açık renkli boyanmış DCIYS'leri ne göre daha hızlı yaşlanmaktadırlar.

THE EFFECT OF SURFACE TEMPERATURE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS ON THE FORMATION OF CRACKS AT THE JOINTS OF INSULATION BOARDS

Recep AŞKAR

Keywords: Insulation, EPS, XPS, cracks, External Thermal Insulation Composite Systems.

Abstract: External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) is one of the best means of providing energy efficiency to nowadays buildings. ETICS are composed of variety different materials, with dramatically different physical properties, which makes them prone to hygrothermal (water and temperature related) aging. Among others, cracking is the most common failure mode in ETICS. In this study, the cracking tendency and related flexural strength of a variety of ETICS were examined. It has been found that, ETICS painted with dark colors are subjected to more severe hygrothermal conditions and accordingly age more. The weather conditions in Gebze area and the aging period were unfortunately not sufficient for the formation of cracks on the surfaces of ETICS that involved no glass fiber mesh as reinforcement.

1. GİRİŞ

Binalarda ısı yalıtım birkaç çeşit olabilmektedir. İç cepheden ısı yalıtımı ve dış cepheden ıs yalıtımı olabilmektedir. En önemli ve en uygun olan ısı yalıtım sistemi Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri (DCIYS)'dir.

DCIYS' nin en önemli avantajı dış cepheden yapılarak iç mekandaki yer kaybına sebebiyet vermemesidir. Ayrıca ısı yalıtımını binanın betonarme kısmına gelmeden yapmaktadır. İç ortamın sıcaklık değeri ile betonarme duvarın iç yüzeyindeki sıcaklık değeri farkı çok küçük değerlerde kalmaktadır. Bu da kış aylarında iç mekanları ısısının düşmeyeceği, yaz aylarında ise iç mekanların ısı değerlerinin yükselmeyeceği sonucunu çıkarmaktadır.

Gelişmiş ülkeler enerji yönünden başka ülkelere bağımlı kalmamak veya zorunlu bağımlılığı en aza indirmek, çevre açısından karbondioksit emisyonunun azaltılmasında olduğu gibi uluslar arası anlaşmalara uymak, hava kirliliği v.b. sebeplerle enerji tasarrufuna çok önem vermektedirler [1].

Isı yalıtım sistemleri enerji harcamasını azalttığından doğaya zararlı gazların oluşmasını azaltmaktadır. Enerji elde etmek üzere yapılan çalışmalarda oluşan gazların (NO_x, CO_2 ...), küresel ısınmanın oluşumuna büyük etkisi olduğu uzmanlarca bildirilmektedir. Ayrıca kış aylarında iç mekanların ısı değerini yükseltmek için harcanacak maddi değerler ısı yalıtım sistemleri ile yaklaşık %50-60 oranında azalmaktadır. Bu da ısı yalıtım sistemlerinin binalar için ne kadar gerekli olduğunun göstergesidir.

Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemlerinde yapılan yanlış uygulamalar ve malzeme seçiminden kaynaklanan hatalara bağlı olarak bazı problemler oluşabilmektedir. Bu problemlerin çoğu ısı yalıtım levhalarının düzgün yapıştırılmamasından kaynaklanan problemlerdir. Ayrıca ısı yalıtım sıvasının arasına donatı filesinin yanlış

uygulanmasından kaynaklanan problemlerdir. Bu sorunların yanında son kat kaplama olarak uygun bir boya seçilmemesi de yapının sıhhatli olmasını engellemektedir.Binanın duvar yüzeylerine güneş ışınının direk geldiği bölgelerde son kat boyanın koyu olarak seçilmesi durumunda bu bölgede sıcaklık farkının neredeyse iki katına kadar çıktığı görülmektedir. Bu sıcaklık farkı ısı yalıtım levhalarının mikro düzeyde şekil değiştirmesine neden olmaktadır. Bu şekil değişikliği sonucunda ısı yalıtım levhalarının birleşim düzlemleri boyunca çatlaklar oluşabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için uygulamadan gelecek hataları minimuma indirmek ve Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri için kaliteli ve uygun ısı yalıtım sistemi seçiminin yanında çevre şartlarına uygun son kat boya seçiminin yapılması çok önemlidir.

Bu çalışmada Expanded Polystyren (EPS) ve Extrude Polystyren (XPS) ısı yalıtım levhaları ve piyasada en çok satılan ısı yalıtım sıvası ile birlikte, en çok kullanım alanına sahip beyaz ve koyu renkli (kırmızı) dış cephe boyası kullanılmıştır.

İki farklı yalıtım levhası ve iki farklı renkte dış cephe rengi kullanımının amacı bu farklı durumlarda DCIYS'nde ne gibi değişikliklerin oluşabileceğini araştırmaktır.

Çalışmada iki farklı sistem geliştirilmiştir;

Birincisi :
Tamamen gaz beton üzerinde bir DCIYS oluşturup bu numunelerin üzerinde bir levha birleşim noktası bırakılmıştır. Bu numuneler farklı iki yalıtım levhası ve farklı iki renk dış cephe boyası ile oluşturulmuştur. Bu numuneler beş ay süre ile dış çevre ortamında bekletilmiştir. Buradaki amaç, günün farklı saatlerinde ve mevsimlerin farklı dönemlerinde meydana gelen sıcaklık farkının çatlak oluşumuna etkilerini, ısı yalıtım levhasının ve son kat boyanın renklerinin farklı olmasının ısı yalıtım levhalarının birleşim düzlemlerinde her hangi bir çatlak oluşumuna sebep olup olmadığını araştırmaktır.

İkincisi :

15x30x5 mm ebatlarında aynı ısı yalıtım sıvası üzerine farkı iki renk boya uygulanmış ve diğer numuneler ile birlikte dış çevre ortamına bırakılmıştır. Daha sonra Şekil 7.14**.**'te görüldüğü gibi bu numunelere çekme basma cihazında eğme testleri uygulanmıştır. Burada alınan sonuçlar N (Newton) birimli değerlerdir. Bu işlemin amacı, farklı iki renkte boyanın, güneş ışınlarının boyanın rengine göre, ısı yalıtım sıvasında her hangi bir mukavemet değişikliğine neden olup olmadığını tespit etmektir.

DCIYS eski yapı binalara da uygulanabilmektedir. Restorasyon genellikle yeni yapımlardan daha zor olmaktadır ve sıklıkla farklı malzemelerin karışımından farklı kullanımlar yapılmaktadır. Eski ve yeni binalarda çok iyi enerji tasarrufu sağlamak için, binalarda DCIYS kullanılmalıdır [2].

DCIYS performans testleri yapılmıştır. Farklı sıcaklık ve nem değerlerinde yapılan testlerde binalarda DCIYS' nin üç günlük test takibinde %72'ye yakın ısı tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir [2].

2. GENEL KISIMLAR

2.1. Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri (DCIYS)

Yeni veya kullanılmakta olan yapılarda Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri (DCIYS) uygulandığında dış duvar yüzeyleri her zaman sıcak kalıyor. İç ortamdaki sıcaklık değeri ile dış duvarların iç yüzeyi arasındaki sıcaklık değeri farkı 2 °C'yi geçmiyor, nem dengesi korunuyor ve insanların rahat nefes alması sağlanıyor. Rutubet, nem, yoğuşma ve küflenme gibi etkiler ortaya çıkmıyor.

Isı yalıtımının amaçlarından bir diğerini de ısınma için kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan ve atmosfere zarar veren sera gazların oluşumunun en aza indirilmesi ile hava kirliliğinin azaltılması oluşturmaktadır. DCIYS hem üretim teknolojisi bakımından, hem de sistemin getirdiği çevresel avantajlar bakımından doğaya duyarlı bir sistem olma özelliği taşımaktadır.

Isı yalıtımı konusunda maksimum verimliliğe sahip DCIYS, mimari projeye, kullanılan sistemlere ve ısı yalıtım plakası kalınlığına bağlı olarak % 50-60 mertebelerinde yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Sistem kısa süre içerisinde yapılan ilk yatırımı amorti etmekte ve sonrasında bütçeye katkıda bulunmaya devam etmektedir.

DCIYS ısı ve ses yalıtımı sağlamakla birlikte mükemmel su buharı difüzyon kabiliyeti sayesinde binaların sınırsız nefes almasını sağlamaktadır. Yakıt ve işletme giderlerini büyük ölçüde düşürmekte, ısı köprülerini engellemekte, karbon emisyonunu azaltarak çevresel korumaya katkıda bulunmaktadır. Sağlıklı ve konforlu iç mekanlar oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu sistem çok çeşitli dış cephe tasarımlarının bir arada yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Yalıtımın dış cephede uygulanması nedeni ile iç mekandan tasarruf sağlanmaktadır.

Binalarda ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması, ısı yalıtımının yanında, ses yalıtımının sağlanmasını da sağlamaktadır. Isı ve ses yalıtımının verimliliğinin yüksek olmasında sistemlerde kullanılan malzemelerin özelliklerinin de çok iyi seçilmesi gerekmektedir [3].

2.1.1. Dikkat edilmesi gereken hususlar

Dışarıdan yapılacak ısı yalıtımı uygulamalarında, ısı yalıtım levhalarının yapıştırılacağı yüzeyler kir, toz, yağ, kabarmış boya, kalkmış sıva gibi levhaların yüzeye yapışmasını engelleyecek zararlı etkenlerden arındırılmış ve yapışmayı sağlayacak pürüzlülüğe sahip olmalıdır. Eski akrilik esaslı malzeme ile kaplı yüzeylerde çimento esaslı yapıştırıcı ile iyi bir yapışma sağlamak için eski yüzey kazınmalı veya yeni akrilik yüzeylere yapışma sağlayabilecek akrilik esaslı ısı yalıtım plakası yapıştırıcısı kullanılmalıdır.

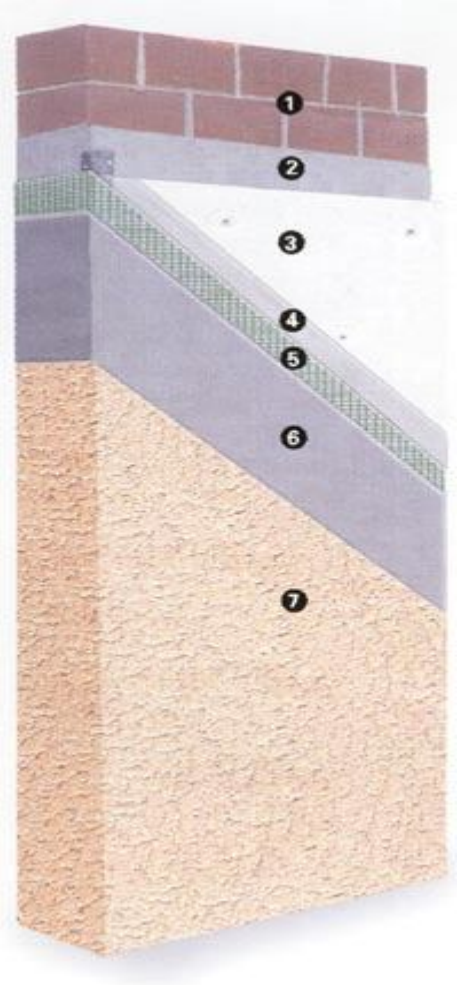
Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde son kat kaplamanın rengi, duvar kesitindeki sıcaklık dağılımını etkiler. Son kat dekoratif kaplamanın rengi, ısı yalıtım malzemesinin bozulmasına müsaade etmeyecek şekilde, üreticilere danışılarak tespit edilmeli, açık renkler tercih edilmelidir [4]. Şekil 2.1'de ısı yalıtım sistemlerinin bölümleri gösterilmektedir.

2.1.2. Dış cephe ısı yalıtım sisteminin bölümleri

Dış cephe ısı yalıtım sistemlerin genelde 7 katmandan oluşur. Bu katmanlar Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.

2.1.2.1. Genişletilmiş (Expanded) polistiren (EPS) ısı yalıtım levhaları

TS 7316 EN 13163 standardına göre TSE belgeli ve TS 825'e uygun kalınlıkta, yoğunluğu minimum 15 kg/m^3, kapalı ortamda boyutsal kararlılığı oluşuncaya dek blok halde dinlendirilmiş genleştirilmiş (expanded) polistiren (EPS) köpük levhalardır. Bu levhalarda şişirme gazı olarak pentan gazı kullanılmaktadır. Bu gaz EPS'nin üretimden sonra çok kısa bir sürede hava ile yer değişikliği yapmaktadır. Pentan gazının doğada her hangi bir tahribat a sebebiyet vermediği bilinmektedir [5].



Şekil 2.1: Dış cephe ısı yalıtım sistemleri kesiti.

Şekil 2.1'de gösterilen katmanlar aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

1. Duvar
2. Yapıştırıcı
3. Isı yalıtım levhası
4. Astar sıva
5. Donatı filesi
6. Sıva filesi gömülmüş yalıtım sıvası
7. Dış cephe kaplaması

EPS köpükler ısı yalıtımından başka bir çok alanda kullanılmaktadırlar. Eşyaların hasar görmemesi için ambalajlamada da kullanılmaktadır.

EPS geri dönüşümü olabilen bir malzemedir. Yeni üretimlere %10 oranında yedirilerek kullanılmaktadırlar. Beton malzemelerin içerisine de eklenebilir. Buradaki kullanım amacı yoğunluğu düşürmek ve ısı yalıtımı için malzeme içerisinde boşluklar oluşturmaktır [6]. 15-60 kg/m^3 arası yoğunluklarda üretilebilmektedirler. Isı yalıtımı için en uyun ısıl iletkenlik değerleri 25-45 kg/m^3 arası yoğunluk değerlerindeki levhalar sağlayabilmektedir. Şekil 2.2.' de EPS levhalar gösterilmektedir [5].

EPS levhalar karbon takviyesi ile Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi her iki şekilde de üretilebilir. Karbon takviyesi ile grafitin yalıtkanlığından yararlanıp ısıl iletkenliği düşürülebilmektedir. Karbon takviyeli levhaların direk olarak güneş ışınlarından korunması sağlanmalıdır. Çünkü ışınların etkisi ile hızlı bir şekilde şekil değişikliğine sebep olabilmektedir. Grafit reflektörlü EPS, içerdiği grafit katkısı sebebiyle kızıl ötesi emicilik ve yansıtıcılık özelliği kazanarak, ısı iletkenliğinin büyük oranda azalması imkanını sağlar, rengini de bu maddeden alır [7].

EPS nin, üstün teknik, su buharı geçirgenlik, boyut stabilitesi, çevre dostu olması gibi diğer tüm özellikleri grafit katkılı EPS'de de aynen mevcuttur. Grafit katkılı EPS, DIN EN 13163 Avrupa standardı şartlarına göre üretilir. DIN 4102 Alman Normu'na göre B1–Zor Alevlenici sınıfındandır [7].

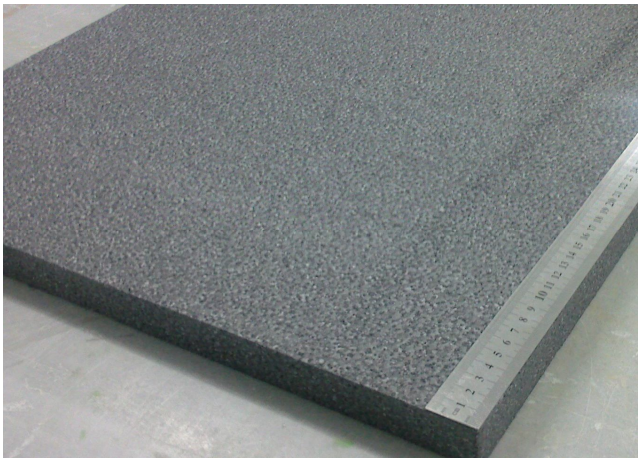
15 kg/m^3 yoğunluğa sahip bir grafit reflektörlü EPS, 30 kg/m^3 yoğunluğundaki bir EPS nin Isıl İletkenlik değerine sahiptir. Bu sayede yaklaşık %20 daha iyi bir ısı yalıtımı sağlanarak daha ince yalıtım levhalarıyla eşdeğer yalıtım performansına ulaşmak mümkün olmaktadır [7].



(a)



(b)



(c)

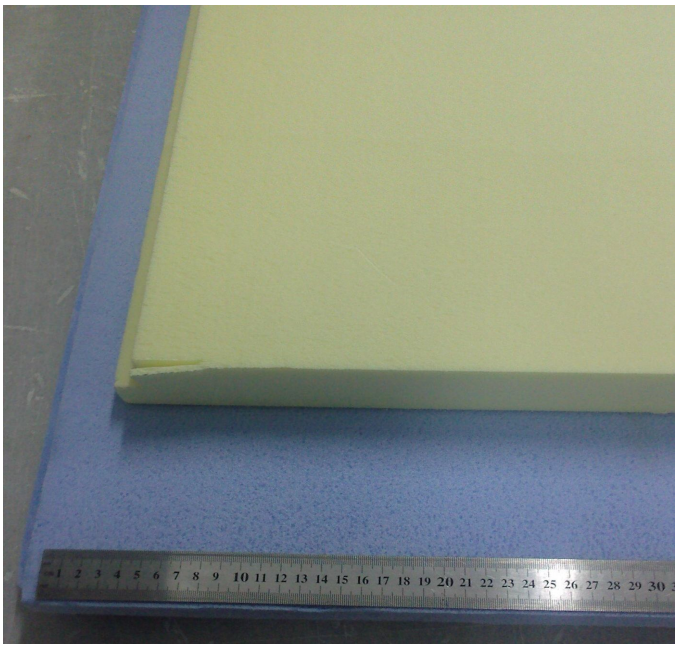
Şekil 2.2: EPS ısı yalıtım levha çeşitleri. (a) Beyaz Polistiren boncuktan üretilen EPS, (b) Beyaz ve karbon takviyeli siyah boncuktan üretilen EPS, (c) tamamen siyah boncuktan üretilen EPS.

2.1.2.2. Haddelenmiş (Extrude) polistiren (XPS) ısı yalıtım levhaları

TS 11989 EN 13164 standardına göre TSE belgeli ve TS 825'e uygun kalınlıkta, pürüzlü veya pürüzlü ve kanallı yüzeye sahip Extrude polystyren (XPS) köpük levhalardır.

Bu levhalar polystyren boncukların HFCKW (Monochlordiflurethan) ve CO_2 ile şişirilmesi sonucu üretilmektedirler. EPS den farklı olarak bu malzemenin üretimi çekme yöntemiyle yapılmaktadır.

XPS levhalar min 28 kg/m^3 yoğunluklarda üretilebilmektedirler. Bu levhaların üretilmesinde kullanılan şişirici gazlar çok uzun sürelerde hava ile yer değişikliği yapmaktadırlar. Dolayısıyla bu levhalarda yaşlanma görülmektedir. XPS üretiminde kullanılan şişirici gazların ısıl iletkenlik değerleri havanınkinden düşüktür. Ancak şişirme sonrası hava ile yer değişikliği olduğunda bu levhaların ısıl iletkenlik değerleri daha yükselecektir. Şekil 2.3.'te XPS levhalar görülmektedir.

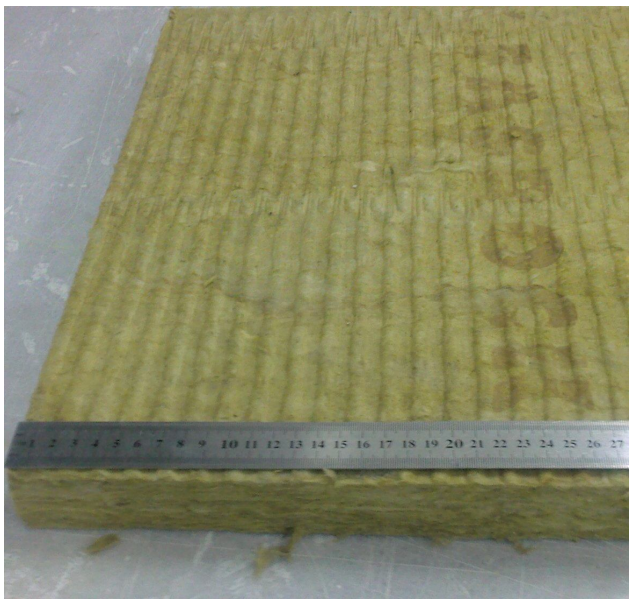


Şekil 2.3: XPS ısı yalıtım levhaları.

2.1.2.3. Taşyünü ısı yalıtım levhaları

TS 825'e uygun kalınlıkta ve TS 901 EN 13162 standardına göre TSE belgeli, yoğunluğu 150 kg/m^3 ve üzerinde olan, üretici tarafından sıva altı uygulamaları için özel üretilen taş yünü levhalar veya minimum 90 kg/m^3 yoğunluklu levhalardır.

Yoğunluğun yüksek olması ısı yalıtımı için bir avantaj olsa da binaya binecek yük açısından bir dezavantaj olacaktır. Çünkü bu levhaların üzerlerine ayrıca bir ısı yalıtım sıvası uygulanmaktadır.
Taş yünü levhaların uygulaması esnasında XPS ve EPS ye göre sıvanın daha iyi tutuna bilmesi için extra işlemler gerekmektedir. Şekil 2.4'te Taşyünü ısı yalıtım levhası görülmektedir.



Şekil 2.4: Taşyünü Isı yalıtım levhaları.

2.1.2.4. Yapıştırıcı

Isı yalıtım levhalarının düşey veya yatay yüzeylere yapıştırılması amacı ile kullanılan organik polimer katkılı, mala ile uygulanan çimento (mineral) esaslı ısı yalıtım levhası yapıştırma harcıdır.

Çimento (mineral) esaslı yapıştırıcının uygun olmadığı durumlarda (ahşap, çimento vb. uygulama yüzeyleri üzerine) sistem üreticisinin tavsiyesine bağlı olarak akrilik

esaslı veya çimento-akrilik esaslı yapıştırıcı kullanılmalıdır. Yapıştırıcı olarak geleneksel harç veya fayans yapıştırıcısı kullanılması sakıncalı durumlar oluşturabilmektedir.

Isı yalıtım levhası yapıştırıcısı olarak, poliüretan esaslı köpükler kullanılabilir. Çabuk kuruması, kolay uygulanması bu malzemelerin kullanımını kolaylaştırmaktadır [8].

2.1.2.5. Dübel

Isı yalıtım plakalarının gazbeton, beton, tuğla vb. yüzeylere montajında kullanılır. Kaliteli dübel seçimi sistem açısından çok önemlidir. Yalıtım levhalarını uygulama yüzeyine mekanik olarak tespit etmek için kullanılan geri dönüşüme uğramamış plastikten mamul veya tercihen polyamit esaslı, geniş başlıklı, minimum 0,20 kN çekme dayanımına sahip mekanik tespit elemanıdır.

Dübellerin tutunacağı arka yüzeyin beton, gaz beton, tuğla vb. malzemelere göre gerekli tutunmayı sağlamak için mutlaka sistem üreticisi firmaların görüşüne başvurulmalı, yüzeye göre plastik veya çelik çivili dübeller tercih edilmeli ve çelik çivilerin başlıkları; ısı köprüsü oluşumunu önleyecek şekilde yalıtılmış olmalıdır.

2.1.2.6. Sıva filesi

Sıva filesi, ısı yalıtım levhalarının üzerine kaplanan sıvada oluşacak çekme gerilmelerini karşılamak ve çatlamasını önlemek amacıyla kullanılır. Örgü gözü (file aralığı) boyutları 3,5x3,5, 4x4 veya 5x5 mm olan, 145-160 gr/m^2 ağırlıkta cam elyafı tekstil malzemedir.

Sıva filesinin Çekme Mukavemeti (Tensile strength); en az 1500 N / 5 cm^2 olmalı, yaşlandırma prosesinde agresif ortamdaki depolama sonrasındaki (%5 NaOH çözeltisi içinde 28 gün sonra) çekme gerilmesi, ilk çekme gerilmesi değerinin %50' sinden büyük olmalıdır. Yüksek darbe dayanımı gereken yüzeylerde en az 340 gr/m^2 ağırlığındaki donatı fileleri kullanımı tavsiye edilir. Şekil 2.5.'te sıva filesi (Donatı Filesi) görülmektedir.



Şekil 2.5: Sıva filesi (donatı filesi).

2.1.2.7. Yalıtım sıvası

Isı yalıtım levhaları yüzeyine uygulanan ve ilk kat uygulamadan sonra içine sıva filesi yerleştirilerek tekrar bir kat sıva ile sıvanarak tamamlanan organik polimer katkılı sıva malzemesidir. Yapıştırma harcı (üretici tarafından önerilmiş ise) bu amaçla kullanılabilir. Sıva, sentetik katkılarla kalitesi arttırılmış, ıslak halde uzun işlenebilme süresi olan, priz aldıktan sonra yağmur darbelerine, donma çözünme döngülerine dayanıklı, su ile karıştırılarak hazırlanan çimento bazlı olmalıdır.

Çatlama riskinin yüksek olduğu yüzeylerde (ahşap, çelik yapılarda) üreticinin tavsiyesine göre, akrilik esaslı veya çimento-akrilik esaslı yapıştırıcı kullanılmalıdır. Yalıtım sıvasının ısı yalıtım levhasına yapışma dayanımı en az 80 kPa olmalıdır.

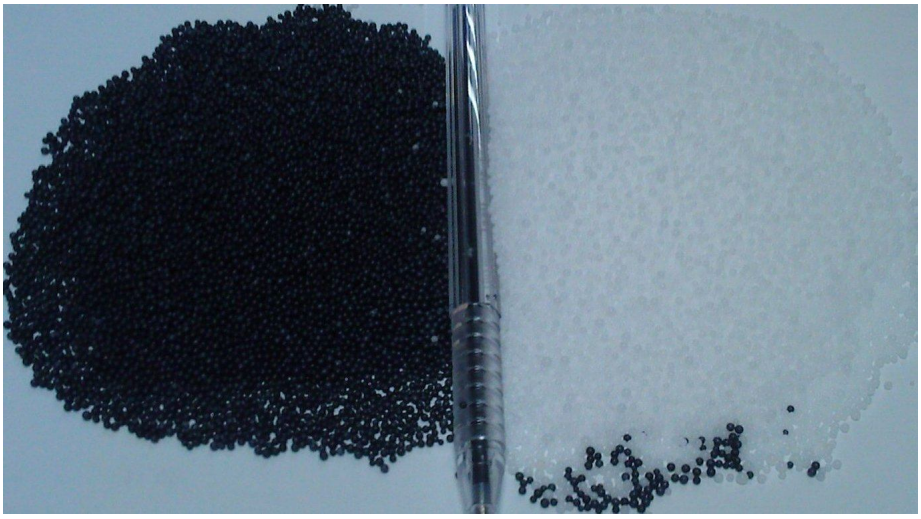
İkinci kat yalıtım sıvasının üzerine dekoratif ve dış etkenlere karşı sistemi koruma amaçlı uygulanan TSE ve/veya TSEK belgeli; çimento, akrilik (TS 7847'ye uygun) veya silikon esaslı cephe kaplama malzemeleri uygulanabilir. Solvent bazlı cephe kaplama malzemeleri kullanılmamalıdır. Solvent bazlı malzemelerin kullanımı ısı yalıtım levhalarına zarar vermektedirler.

Dekoratif kaplamaların renklendirme veya yenileme amacıyla boyanması durumunda TS 5808'e uygun solvent içermeyen dış cephe boyaları kullanılmalıdır. Bu boyaların seçiminde uygulama yüzeyinin Güneş ışınlarının konumuna göre belirlenmesi önemlidir. Güneş ısınları uygulama yüzeyini direk olarak etkileyecekse bu yüzeylere açık renkli son kat boyanın kullanılması daha uygundur. Çünkü koyu renkli boyalar ile boyanması durumunda bu yüzeylerde birikecek ısı miktarı çok yüksek değerlere ulaşacaktır. Buda sıvanın mukavemet değerinin düşmesine neden olabilecektir.

2.2. Isı Yalıtım Levhaları

2.2.1. Genişletilmiş (Expanded) polistiren (EPS)

Expanded Polystyren Köpük (EPS), petrolden elde edilen, köpük halindeki, termoplastik, kapalı gözenekli, tipik olarak beyaz renkli boncukların şişirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Şekil 2.6.'da polistiren tanecikler görülmektedir. Polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz 'Pentan'dır. Pentan, tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağladıktan sonra üretim sırasında ve üretimi takiben çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Böylece EPS levhaların bünyesinde bulunan çok sayıdaki (1 m^3 EPS'de 3–6 milyar) küçücük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolur. Malzemenin % 98'i hareketsiz ve kuru havadır.



Şekil 2.6: Polistiren boncuklar.

Binalarda dış cepheler için optimum kalınlıklı ısı yalıtım levhası geliştirilebilir. Bir çalışmada beş farklı ısı yalıtım levhası için bir çalışma yapılmıştır. Bu ısı yalıtım malzemeleri, EPS, XPS, Poliüretan Köpük, Perlit ve Polivinil Klorid Köpük'tür. Bu ısı yalıtım malzemelerinin dış cephelerdeki tipik ısı yalıtım dirençleri hesaplanmıştır. Buradan çıkan sonuçların, optimum ısı yalıtımı yönlendirmedeki etkileri göz ardı edilemez. Isı yalıtım yapılacak dış cephe duvarlarının farklı yönlenmelere göre homojen olmadığı düşünülmelidir. Yüzey renginin, optimum kalınlığın darbe direncine tutarsız bir etkisi görülmektedir. Bazı bölgelerde, optimum kalınlıklar yüzey renginden bağımsızdır. Bazı bölgelerde, yüzey renginin koyu olması optimum kalınlığın daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Beş ısı yalıtım levhasının optimum kalınlığı 0,053–0,236 m arasında değişmektedir. Binada Isı yalıtımı yapıldığında geri ödemesini en çabuk EPS yaptığı için en ekonomik ısı yalıtım malzemesi EPS olmaktadır. Bu beş malzemesinin geri ödeme süreleri, yüzey rengi, ısı yalıtım malzemesi ve yüzey rengine göre 1.9–4.7 yıl arasında değişmektedir. XPS ve EPS nin geri ödemsi 1.3–2,3 yıl arasında değişmektedir [4].

Hareketsiz ve kuru hava, bilinen en ekonomik, çevre dostu ve mükemmel ısı yalıtım malzemesidir. EPS ısı yalıtım levhalarının ekonomik ve üstün ısı yalıtım özellikleri bu şekilde sağlanır [9].

Üretiminde enerjinin yoğun olmaması, üstün teknik özelliklerine rağmen ekonomik olmasının diğer önemli sebebidir. Etkin mekanik dayanımın yanında şişirici gazın çok kısa sürede hava ile yer değiştirmesi, ürünün performansının kullanım ömrü boyunca sabit kalmasını sağlar. Kalınlığı incelmez, ısı iletkenliği artmaz, özelliklerinde hiçbir bozulma meydana gelmez.

EPS üretiminde son aşama olan şekil verme (Kalıplama) aşamasında, taneciklerin birbirleri ile sıkıca kaynaşması sağlanır. Bu uygulamanın başarısı, ürünün yüzeyindeki taneciklerin bal peteği şeklindeki görüntüsünden anlaşılır. Genellikle 15–30 kg/m^3 yoğunluklarda üretilebilirler.

EPS, her aşamada çevre dostu bir üründür; ozon tabakasına zarar vermez, iklim değişikliklerine sebep olmaz, büyük oranda geri dönüşümü olan bir malzemedir. EPS

ürünler, levha, boru veya önceden şekil verilmiş elemanlar halinde, yapıların ısı ve ses yalıtımında ve ambalaj sanayinde yoğun bir şekilde kullanılırlar.

EPS ürünlerin ayrıca, binalarda duvar malzemesi olarak kullanımından, soğuk hava depolarının yalıtımına, soğuk bölgelerdeki karayolu yapımına, zeminlerin takviyesine, gemiler için can simidi ve can yeleği yapımına kadar sayılması mümkün olmayan; hafifliğin dayanımın, kolay şekil verebilmenin, kolay uygulayabilmenin, ve düşük ısı iletkenliğinin önemli olduğu bütün uygulamalarda sınırsız kullanım alanı vardır.

2.2.1.1. Expanded polistiren'nin dünyada ve Türkiye'deki gelişimi

EPS yalıtım levhaları yüksek ısı yalıtımı sağlar (0,030–0,040 W/mK). Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği azalır. EPS'nin ısı iletkenliği düşük olduğu gibi sabittir. Şişirici gaza ve zamana bağlı olarak değişmez, basınca dayanıklıdır yoğunluk arttıkça basınca dayanımı artar [5].

Kapalı gözenekli olduğu için pratik olarak ıslanmaz, yalıtımı sürekli yapar. Kapiler su geçirimliliği yoktur. Yoğunluk artıkça buhar geçirimsizliği de artar. Kalınlığı zamanla incelmez, sabit kalır. Çok hafiftir, kolay taşınır, kolay uygulanır, ekonomik yalıtım malzemesidir. Aynı ısıl performansı daha düşük maliyetle sunar [5].

Çevre dostu bir malzemedir. İklim değişikliğine sebep olmaz. Geri dönüşümlü (Recycle) bir malzeme olup, üretim sonrası çevreyi kirletecek atık oluşturmaz. Sonsuz ömürlüdür. Bina durdukça yalıtım görevine ilk günkü performansı ile devam eder [5]. EPS, geniş bir yoğunluk aralığında üretilebilir, düşük dinamik rijitliği ve esnekliği ile ses yalıtımında da başarılıdır [5].

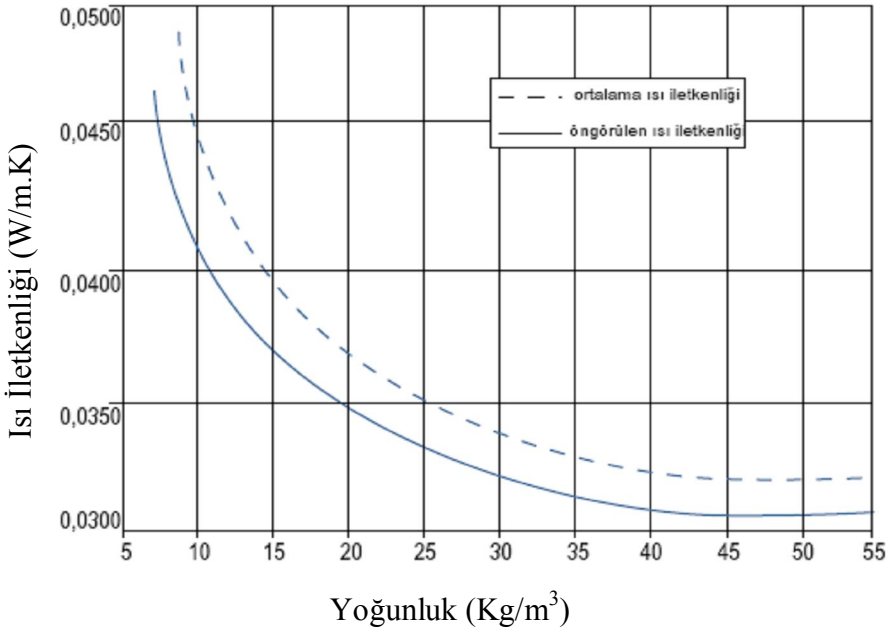
2.2.1.2. Expanded polistiren ile ilgili standartlar

Dünya üzerinde verimsiz enerji kullanımının büyük bir problem olması ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirme çabalarına paralel olarak, yalıtım sektörü içerisin de ilk olarak ısı yalıtım malzemelerine ait Avrupa Standartları oluşturulmuştur [10]. Ülkemizin yürütmekte olduğu AB teknik mevzuatına uyum

çalışmaları kapsamında, ısı yalıtım malzemeleri ile ilgili oluşturulan bu Avrupa Standartlarının tamamı TSE tarafında birebir tercüme edilerek Türk Standardı olarak yayımlanmıştır [10].

TS EN 13163, EPS' den binalar için üretilen yalıtım malzemeleri ile ilgili tüm tanım ve sınıflamaları ve yapılması gereken deneyleri içermektedir. Uluslararası düzeyde olan bu tanım ve sınıflamalara ilave olarak TS EN 13163'de, binalarda ısı yalıtım amacı ile kullanacak EPS ürünlerde yoğunluğun 15 kg/m^3'ün altına indirilmemesi de prensip olarak kabul edilmiştir [11].

Şekil 2.7.'de EN 13163'e göre EPS ürünlerin ısı iletkenliklerinin yoğunlukla değişimi görülmektedir. Tablo 2.1.'de ise, EN 13163'e göre, EPS'in ısı iletkenliği değerleri yoğunluğa göre belirtilmiştir [11].



Şekil 2.7: EPS ısı yalıtım levhasında ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi (+10°C'de) [9].

Tablo 2.1: Isı yalıtım amaçlı EPS levhalar için EN 13163'te belirtilen yoğunluklar ve yaklaşık ısı iletkenlikleri [9].

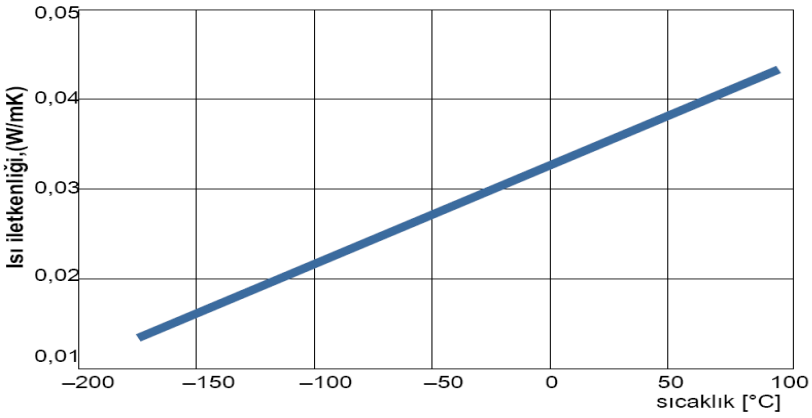
EPS Tipi	Yaklaşık yoğunluk (d, kg/m^3)	Isı İletkenliği (W/mK)	μ değeri –
EPS 50	16	0,039	20-40
EPS 60	17	0,038	20-40
EPS 70	18	0,038	20-40
EPS 80	19	0,037	30-70
EPS 90	20	0,037	30-70
EPS 100	21	0,037	30-70
EPS 120	23	0,036	20-40
EPS 150	26	0,035	30-70
EPS 200	31	0,034	40-100
EPS 250	36	0,034	40-100
EPS 300	41	0,033	40-100
EPS 350	46	0,033	40-100
EPS 400	51	0,033	40-100
EPS 500	61	0,033	40-100

2.2.1.3. Isıl iletkenlik

EPS levhaların ısı iletkenliği hesap değeri 0.033 W/mK ile 0.040 W/mK arasında değişir. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği belli bir değere kadar azalır. Şekil 2.7.' de EPS ürünlerin ısı iletkenlik değerlerinin yoğunlukla değişimi görülmektedir. 35-40 kg/m^3 yoğunluklardaki malzemenin ısı iletkenliği minimum değerdedir [11]. Yüksek yoğunluklarda boşluklar azalacağından buradaki ısı iletim yolu ile iletilecektir. Yoğunluğun artması iletimin daha kolay olacağını göstermektedir. Bazı ısı yalıtım malzemeleri, uzun süreli yük altında kalınlıklarında azalma gösterirler ve bu sebeple zamanla ısıl dirençleri azalır. Bazı ısı yalıtım malzemelerinde ise köpük oluşturmak için kullanılan ve ısı iletkenliği düşük olan şişirici gazın malzemeden yavaş bir şekilde uzaklaşması sonucu, başlangıçta düşük olan ısı iletkenliği zamanla artar ve dolayısıyla bu malzemelerin ısıl dirençleri kullanım sırasında zamanla azalır [5].

EPS ısı yalıtım levhalarının üretiminde kullanılan şişirici gaz, hava ile çok hızlı bir şekilde yer değiştirdiği için, EPS ısı yalıtım levhalarının ısı iletkenlikleri, üretimi takiben nihai değerine ulaşır ve zamanla kötüleşmez. Uygulamanın getirdiği yoğunluklarda kullanıldıkları zaman kalınlıklarında da ısıl direncini etkileyecek bir

değişim görülmez. EPS ısı yalıtım levhalarının ısı iletkenliklerinin ve ısıl dirençlerinin kullanım ömrü boyunca sabit kalması en önemli avantajlarıdır. EPS ısı yalıtım levhaları çok düşük sıcaklıklarda da (–180°C'ye kadar), ısı yalıtım amacıyla kullanılabilirler ve ısı iletkenlik değeri sıcaklık düştükçe küçülür. Düşük sıcaklıklardaki ısı yalıtım uygulamaları için, EPS ısı yalıtım levhalarının ısı iletkenlik değerleri Şekil 2.8.'de gösterilmektedir [5].



Şekil 2.8: EPS ısı yalıtım levhalarında ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi (d =20 kg/m^3)

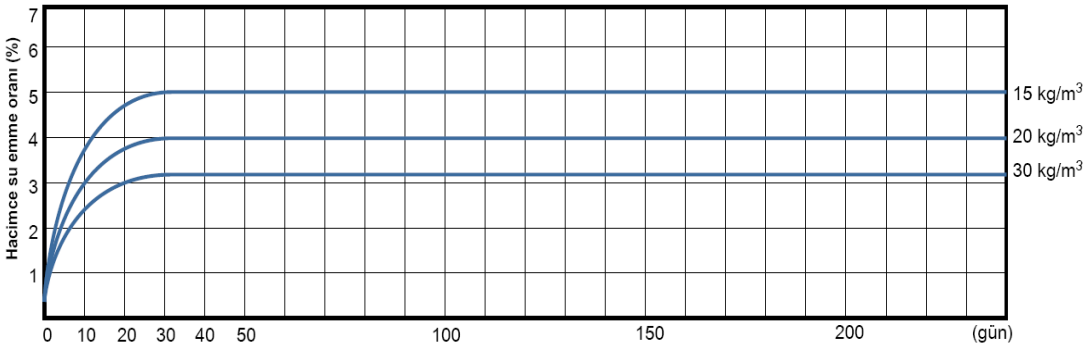
2.2.1.4. Su emme oranı

Malzemelerin su emme oranı üzerinde etkili büyüklük, gözeneklerinin açık veya kapalı oluşudur. Direkt su ile temas halinde kapalı gözenekli malzemelerin su emme oranları çok düşüktür ve EPS kapalı gözenekli bir malzemeleridir. Su emme oranı çok küçük olduğu için direkt su ile temas etse bile, özellikleri değişmez.

EPS'yi meydana getiren Stiren, suda çözülmeyen ve erimeyen bir yapıda olduğundan kapalı gözeneklerinin duvarları suyu geçirmez.

Fakat kapalı gözenekleri içeren taneler birbirlerine iyi kaynayıp yapışmışsa, arada kalan boşluklardan bir miktar su sızabilir. Taneler birbirine gereği şekilde kaynadığı zaman, yüzeyde bal peteği yapı sürekli bir şekilde görülür ve malzemenin hacimce su emme oranı %1'in altına düşer. Tamamen suya batırılmış EPS numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları Şekil 2.9.'de gösterilmiştir. Aslında hiçbir binada, EPS tamamen suya batmış olarak uzun süre kalmaz. Bu nedenle EPS, pratik olarak 'Su almaz' diye nitelenebilir.

Malzemenin direkt su ile teması sonucu akışkan suyu bünyesine alması ile, su buharının geçişi sırasında eleman kesiti içinde yoğuşma meydana gelmesi birbirinden tamamen farklı olaylardır. Havada bulunan nem, buhar basınç farkı sonucu malzemeye nüfuz edebilir ve düşük sıcaklıklarda yoğuşarak akışkan su haline dönüşebilir.



Şekil 2.9: Farklı yoğunluklardaki EPS levhaların tamamen suya batırılmış durumda su emme oranlarının zamanla değişimi.

Her yapı ve yalıtım malzemesinin cins ve kalınlığına göre az veya çok, buharın geçişine karşı gösterdiği bir direnç vardır. Bu direnç, buhar difüzyon direnç faktörü (μ) olarak tanımlanır. Havanın buhar direnç faktörü μ=1'dir ve diğer malzemelerin μ değerleri, o malzemelerin aynı şartlardaki havaya göre kaç kat daha fazla direnç gösterdiklerini belirtir.

Yoğunluklarr 15–30 kg/m^3 arasındaki EPS levhaların μ değeri 20–100 arasında değişir. EN 13163'e göre μ değerinin değişimi Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, EPS levhaların içerden yalıtım uygulamaları için gerekli olan yüksek buhar direncine sahip olan tipleri bulunduğu gibi, dışarıdan içeri gerekli olan düşük buhar dirençlerine sahip tipleri de olabilmektedir. Lifli malzemelerde μ değeri 1 mertebelerinde olduğu için, içerden yalıtım uygulamalarında tek başına yeterli performansı sağlayamaz. EPS levhalar yoğunluğun uygun seçilmesi halinde, her iki yalıtım uygulaması için de, istenilen performansı sağlayabilirler.

2.2.1.5. Üretim parametrelerinin EPS'nin yoğunluk ve ısı iletkenliğine etkisi

Son zamanlara kadar yoğunluğun EPS nin özelliklerine hakim tek faktör olduğu bilinirdi. Fakat bu günlerde, yoğunluktan sonra üretim parametrelerini de bu özelliklerde etkin olduğu bilinmektedir. EN 13163 standardında aynı yaklaşım görülmektedir. EPS yalıtım levhası özellikleri yoğunluğa bağlı olarak EN 13163 standardında verilmektedir. EPS yalıtım levhaları genellikle büyük bloklar halinde üretilip, istenilen kalınlıklar halinde kesilirler. Tek kalıp üretimlerin davranışı, blok halinde üretilen EPS yalıtım plakalarından farklıdır. Tablo 2.2.'de üretim parametreleri verilmiştir [12].

A ve B üretim numunesi için bütün üretim şekillerinde nominal yoğunluk değeri 30 kg/m^3 tür. C serisi numuneleri yoğunluk değerleri görünür yoğunluk değerleri civarında farklı olarak değişmektedir. Bu nedenle, A serisinde, üretim için gereken parametreler genellikle yoğunluğu artırmak için değiştirilebilir. B serisinde, tüm yoğunluklar için üretim parametrelerinin gözden geçirilmesi gereklidir. C serisinde, sadece bir yoğunluk (30 kg/m^3) analiz edilmiş ve bu üretim parametrelerinin bu yoğunluk değeri için uygun olduğu görülmüştür. Üretim parametreleri değiştirilerek farklı yoğunluklarda ürünler üretilebilir. Tablo 2.3.'te üretim parametresine göre aynı yoğunlukta ısıl iletkenlik değişimi verilmektedir [12].

Tablo 2.2: Üretim parametreleri [12].

Üretim Proses Parametresi	**Üretim Serileri**		
	A	**B**	**C**
Ön şişirme giriş sıcaklığı (°C)	125	100	180
Ön Şişirme Çıkış Sıcaklığı (°C)	80	100	160
Ön şişirme esnasında buhar basıncı (bar)	0,2-0,5	0,3	2-2,5
Hammaddeni Ön şişirme periyodu (Ön şişirmede içerde kalma süresi) (dak)	3	5	1
Ön Şişirmeden sonra boncukların kuruma sıcaklığı (°C)	20	40	60

Tablo 2.3: Üretim parametresine göre aynı yoğunlukta ısıl iletkenlik değişimi [12].

Yoğunluk (kg/m^3)	C Serisi (Std)			A Serisi			B Serisi		
	İletkenlik (W/mK)	İletkenlik Sapması (W/mK)	Sapma (%)	İletkenlik (W/mK)	İletkenlik Sapması (W/mK)	Sapma (%)	İletkenlik (W/mK)	İletkenlik Sapması (W/mK)	Sapma (%)
15	0,039	0,0	0,0	0,039	0,0	0,0	0,042	0,003	7,1
20	0,036	0,0	0,0	0,037	0,001	2,7	0,039	0,003	7,7
25	0,033	0,0	0,0	0,035	0,002	5,7	0,037	0,004	11,0
30	0,035	0,0	0,0	0,033	-0,002	6	0,037	0,002	5,4

2.2.1.6. Boyut kararlılığı

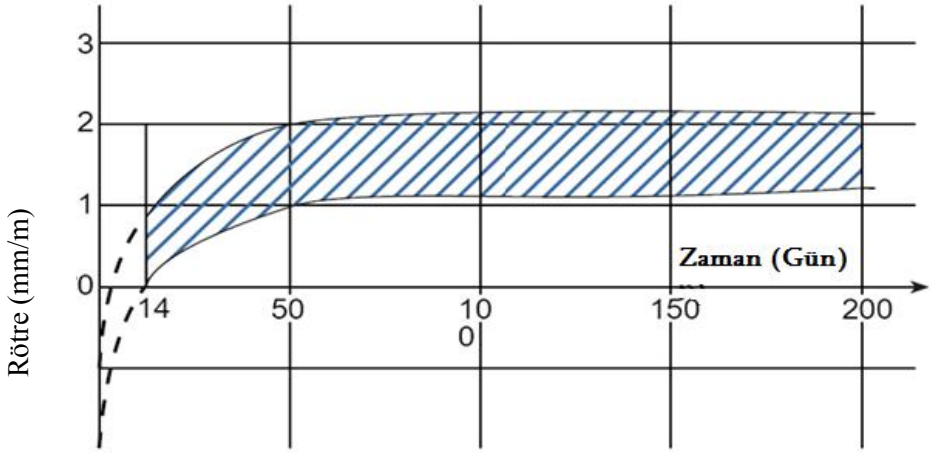
Yalıtım levhaları için diğer önemli konu, boyutların sabit kalmasıdır. Yapılarda boyut değişimi, farklı sıcaklıkların etkisi sonucu ısıl genleşme ile meydana geldiği gibi üretimi takiben belirli süre içinde dış etkilerden bağımsız olarak da meydana gelebilir. Dolayısıyla boyutların kararlılığı sıcaklığa ve zamana göre ayrı ayrı düşünülmelidir. EPS'nin sıcaklık karşısında boyut değişim faktörü (Lineer ısıl genleşme katsayısı) $5x10^{-5}$ ila $7x10^{-5}K^{-1}$'dir. Yani 17 K'lik (17°C'lik) sıcaklık farkında yaklaşık 1 mm/m bir değişim olur. Bu da, % 0,1 demektir.

Normal şartlarda ve normal uygulamalarda, bu mertebedeki boyut değişimi sorun oluşturmaz ve ek tedbir alınması gerekmez. Çok büyük yalıtım levhalarının büyük sıcaklık farkına maruz kaldığı yerlerde kullanılması halinde gerekli önlemler alınmalı ve gerekli durumlarda mekanik tespit uygulanmalıdır. Üretimi takiben aynı çevre şartlarında levhaların boyutlarında zamanla kısalma olması rötre olarak tanımlanır.

EPS levhalarda rötre ilk günlerde hızlıdır, zamanla yavaşlar ve durur. Toplam rötre üretim şekline ve yoğunluğa bağlı olarak %0,3 ila %1,0 arasında değişebilir. Rötrenin büyük bir bölümü normal depolama süresi içinde (1–2 hafta) gerçekleşir ve uygulama için özel bir tedbir alınması gerekmez. İnce sıva tekniği ile dışarıdan ısı yalıtım uygulamalarında, normalden biraz daha uzun bir depolama süresi gerekir. Şekil 2.10.'da 14 günlük levhalarda 150 günde meydana gelen kısalmanın büyük bir bölümünün 1.5–2.0 mm/m arasında kaldığı görülmektedir. Bu değerler her yapı için izin verilen toleranslar dahilindedir [5].

Şekilde görüldüğü gibi EPS ilk günlerinde şişirme sonrasın rötre eksi değerlerdedir. buda EPS'nin normal boyutlarında büyük değerlerde olduğunu göstermektedir.

Normal şatlar altında ilk 14 günde EPS de rötre devam ederek normal boyutlarına gelmektedir. Devam eden günlerde rötre daha da ilerleyerek % 0,3-1 civarlarında oluşur [5].



Şekil 2.10: EPS levhalarda rötrenin zamanla değişimi [5].

2.2.1.7. Isı yalıtımında EPS kullanımının avantajları

Son yıllarda bazı kentlerimizde özellikle kış mevsimlerinde görülen hava kirliliğinin çeşitli nedenleri arasında, ısınma amacıyla tüketilen fosil yakıtların en önemli sebep olduğu bilinmektedir. Başka bir deyişle eğer daha az yakıtla yetinebilirsek, havanın da aynı oranda daha az kirleneceği kuşkusuzdur. Bir binanın bütününde yalıtım uygulanması halinde, yakıt sarfiyatından ortalama %70 tasarruf sağlanabilmektedir.

Bu durumda havayı kirleten zararlı maddeler ve yakıt masrafları aynı oranda azalacaktır. Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlikleri (λ) genel olarak 0.03–0.04 W/mK arasında değişir. Tablo 2.4.'te λ değeri 0.04 W/mK alınarak, ısı yalıtım malzemeleri ile ısı iletkenlikleri farklı diğer bazı yapı malzemelerinin aynı ısıl dirence sahip olmaları için eşdeğer kalınlıkları gösterilmektedir.

Günümüzde taşıyıcı olmayan duvarlarda kalınlığın azaltılması önemli bir hedef olmaktadır. Bu durumda ince yapı elemanları ile istenilen ısıl performansın sağlanması Tablo 2.4.'te görüldüğü gibi, ancak ısı yalıtım malzemeleri ile

mümkündür. Tabloda 5 cm kalınlığındaki ısı yalıtım levhası ile en küçük kalınlıkta en düşük ısı iletkenliğinin elde edildiği görülmektedir.

Taşıyıcı elemanların yeterli taşıma gücü için kalınlıklarının fazla olması gerekmekle birlikte, boşluksuz yapıları sebebi ile ısı iletkenlikleri çok yüksektir. Taşıyıcı elamanların yeterli ısıl performansı sağlamak için sahip olması gereken kalınlıklar taşıma gücü için gerekli olan kalınlıkların çok üstüne çıkar ve kabul edilemez değerlere ulaşır.

Tablo 2.4: Isı iletkenliği 0.040 W/mK olan 5 cm ısı yalıtım malzemesine eş değer kalınlıkta bazı yapı malzemeleri [5].

Malzeme Çeşidi	**Uygulanacak Kalınlık (cm)**	**Elde edilecek Isı iletkenlik değer (λ) W/mK**
Isı yalıtım Malzemesi	5	0,040
Ahşap	16	0,130
Gaz Beton	25	0,200
Tuğla	38	0,300
Betonarme	263	2,100

Taşıyıcı elemanların ısıl yalıtımı, özellikle önemli olmaktadır. Binaların bütün elemanlarının sürekli şekilde yalıtılması ısıl konforun kalitesini arttırırken, gerekli olan yakıt miktarını da önemli ölçüde azaltacaktır. Kentlerin hava kirliliği ancak bu şekilde azaltılabilir. Ayrıca, ısı yalıtım ile sağlanan enerji tasarrufu ve sağlanan döviz kazancı, ülkenin gelişimi amacıyla değerlendirerek toplumun refah düzeyinin iyileştirilmesi amacıyla da kullanılabilir. Sadece mevcut binaların gereği gibi yalıtılması halinde ülke genelinde 3 milyar $/yıl döviz tasarrufu ve 40 milyon ton/yıl CO_2 emisyonunda azalma sağlanabilecektir. Isı yalıtımının istenilen verimi sağlaması için, tüm ısı kaybeden elemanların kesintisiz bir şekilde yalıtılması esastır. Betonarme elemanların ve duvarların yalıtılması sistemin verimini büyük ölçüde düşürür. Doğru malzeme, doğru detay ve doğru uygulama ile gerçekleştirilmiş ısı yalıtımı aşağıdaki detayları sağlar;

Isı yalıtımı = daha iyi konfor şartları + Temiz hava + Enerji tasarrufu

Sonuç olarak ısı yalıtımı, bina sakini için daha iyi konfor şartları ve daha düşük yakıt masrafı anlamına gelirken, sağladığı yakıt ve enerji tasarrufu ile ülke genelinde temiz

hava, döviz kazancı ve kalkınma anlamına gelmektedir. Ancak bu şemanın kusursuz işleyebilmesi için ısı yalıtım malzememsinin üretilirken çevreyi kirletmemesi, fazla enerji tüketmemesi ve ekonomik olması gerekir. Eğer, ısı yalıtım malzemesi üretilirken ozon tabakasına zarar veriyorsa, iklim değişikliklerinde etkili oluyorsa, bu malzeme ile gerçekleştirilen ısı yalıtımının çevreye olumlu etkisinden bahsetmek mümkün olmaz.

Eğer ısı yalıtım malzemesi üretilirken, ısı yalıtım uygulaması ile sağlanacak enerji tasarrufuna eşdeğer veya daha fazla enerji tüketiyorsa, ısı yalıtımının getireceği enerji tasarrufundan ve ülke kalkınmasından bahsetmek de mümkün olmaz. Isı yalıtımında EPS, kullanımı geri ödemesi en kısa süreli olduğundan, ekonomik yönden en avantajlı ısı yalıtım malzemesidir [4].

Eğer ısı yalıtım malzemesi pahalı ise, yalıtım uygulamasının geri ödeme süresi uzayacak ve tüketiciye olan ekonomik katkısı da azalacaktır. Geriye sadece sağlanacak daha iyi konfor şartları kalır. Ancak daha iyi konfor şartlarının ozon tabakasına zarar vermeyen, iklim değişikliklerine sebep olmayan, üretimi sırasında yoğun enerji tüketilmesi gerekmeyen ve pahalı olmayan bir ısı yalıtım malzemesi ile sağlanması tartışmasız daha akılcı bir çözüm olacaktır. Yüksek enerji verimliliği ile üretilen, çevre dostu, yüksek kaliteye sahip ekonomik EPS ısı yalıtım ürünleri, bu çözümü sunmaktadır.

2.2.2. Extrude polistiren (XPS) ısı yalıtım levhası

Homojen hücre yapısına sahip, ısı yalıtımı yapmak amacıyla üretilen ve kullanılan köpük malzemelerdir. XPS'in hammaddesi olan polistiren, Ekstrüzyon işlemi ile hat boyunca istenilen kalınlıkta çekilir. Sürekli bilgisayar kontrolünde yapılan bu üretim sayesinde homojen bal peteği görünümünde, kararlı bir hücre yapısı elde edilir. Hücreler bütün yüzlerinden birbirine bağlıdır. Şişirici gaz hücrelerin içine hapsedilmiştir.

Hattan çıkan malzemenin yüzeyi, zırhlı veya pürüzlü yüzey olarak malzemenin kullanılacağı detaydaki ihtiyaçlar doğrultusunda yapılandırılır.

Üretim teknolojisi sayesinde bal peteği görünümünde kararlı bir hücre yapısı elde edilir. Bu yapı sayesinde Extrude Polistren malzemeler (XPS) bünyesine su almaz ve nemden etkilenmezler ve diğer ısı yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında haklı bir üstünlüğe sahiptirler [13].

2.2.2.1. Extrude polistiren (XPS)'nin tarihçesi

İlk EPS Köpük 1940'lı yılların başında, Amerika'da askeri amaçlı talep üzerine yüzer sallar için üretilmiştir. Yoğun kullanımı sonucunda, su ve neme karşı oldukça dirençli olduğu fark edilen bu ürünlerin aynı zamanda ısı yalıtım teknik özelliklerinin farkına varılmıştır ve ısı yalıtımı amacıyla üretimine devam edilmiştir [13].

1960'lı yıllarda ise Avrupa'da üretimine başlanan Ekstrüde Polistren Köpükler, 50 yılı aşkın bir süredir de tüm binalarda ve mühendislik yapılarında güvenle kullanılmaktadır.

Bugün Ekstrüde Polistren köpüklerin tüm dünyadaki kullanımı 15-20 milyon m^3/yıl civarındadır.

Türkiye'de yerli üretim 1994 yılında başlamıştır. 2005 yılında toplam üretim 700.000 m^3/yıl iken 2006 yılında 1000.000 m^3/yıl 'ın üzerindedir.

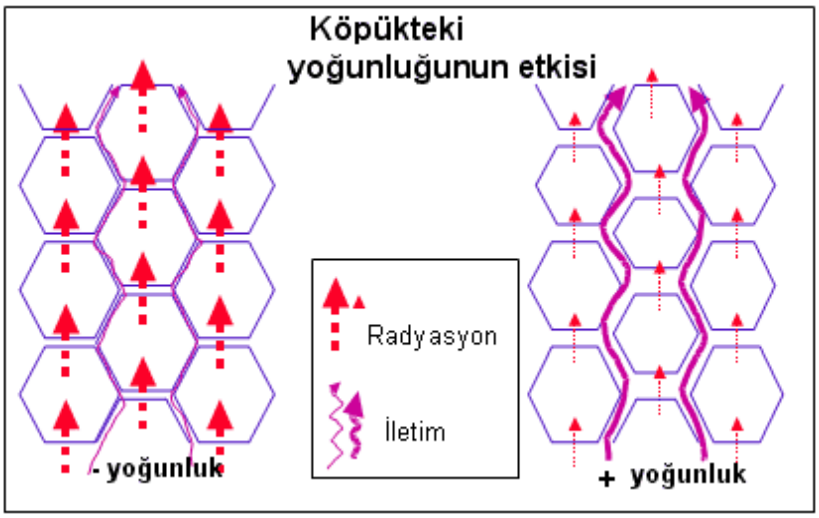
2.2.2.2. Isı iletkenlik değerinin yoğunluk ve hücre yapısı ile ilişkisi

1 Kasım 2008'de yürürlüğe giren TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin revizyonu ile 25-30 kg/m^3 yoğunlukta XPS Ürünler için (ısı iletkenlik değeri) sınıfı 0,030 – 0,035 – 0,040 W/mK tanımlanmıştır.

Yoğunluğun ve hücre sayısının polistren köpük malzemelerde diğer ısı yalıtım malzemelerinde de olduğu gibi ürün performansı üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Daha çok sayıda hücre (daha yoğun malzeme) hücrelerin küçülmesi, hücre sayısının artması ve şişirme gazının küçük hücreler içerisine hapsolarak daha iyi ısı iletkenlik değeri oluşmasını ve bu değerin uzun süre korunmasını sağlar. Şekil 2.11.'de yoğunluk değişimi ile ısıl iletimin, radyasyon ile mi yoksa iletim ile mi olduğunu göstermektedir.

XPS levhalarda en ideal ısı iletkenlik değeri 28-48 kg/m^3 yoğunluklar arasında gerçekleşir. Yoğunluğun 25 kg/m^3 'ün altına düşmesi halinde hücreler arasında zarın incelmesi sonucunda radyasyonla iletim artacağından ısı iletkenlik değeri hızla yükselecektir.

DIN 18164 no'lu Alman standardında ve TS825 'deki (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı) ısı iletkenlik ve yoğunluk değerlerinin esas alındığı DIN 4108 no'lu XPS ürünler minimum 25 kg/m^3 yoğunluk ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 2.11: Yoğunlukla ısı iletim şeklinin değişimi [13].

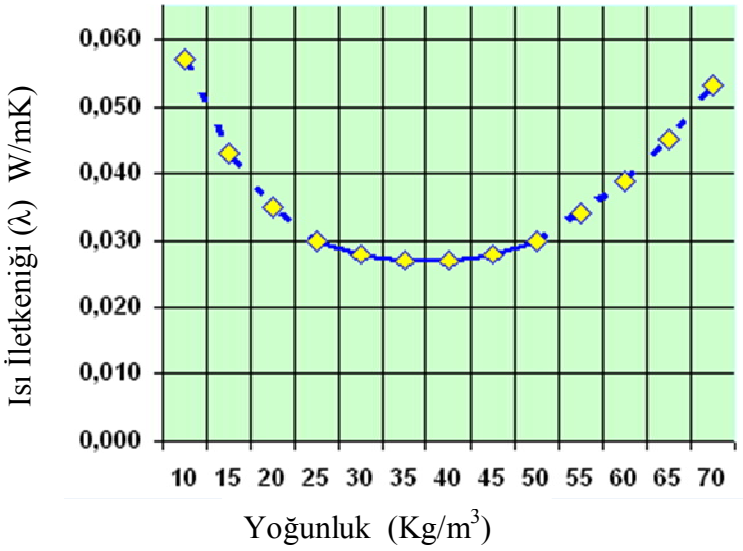
Yine yoğunluğun 50 kg/m^3 değerinin üzerine çıkması durumunda hücre zarının kalınlaşması sonucunda iletim yoluyla ısıl iletim artacağından ısı iletkenlik değeri yükselecektir [14].

Sonuç olarak en uygun ısı iletkenlik değerinin 28-48 kg/m^3 yoğunluklar için geçerli olduğunu söyleyebiliriz.

Ekstrüde Polistren Isı yalıtım Malzemelerinin ısı iletkenlik değerinin yoğunluk değişimi ile ilişkisi Şekil 2.12.'de gösterilmektedir.

2.2.2.3. Su emme oranı

Su bünyesine girdiği ısı yalıtım malzemelerinin bozulmasına neden olduğu gibi, ısı yalıtım değerlerini de düşürmektedir. Su ısıyı havadan 25 kat daha fazla iletmektedir. Hücre yapısı sayesinde suya ve neme karşı dayanıklıdır.



Şekil 2.12: Yoğunlukla XPS'nin ısı iletkenlik değişimi [13].

XPS levhalarının bu özelliği sayesinde detaylarda önemli avantajlar sağlanır. Örneğin Teras Çatılarda Ters Teras Çatı Sisteminde olduğu gibi su yalıtımını koruyan,uzun ömürlü detay çözümlerine olanak tanır.

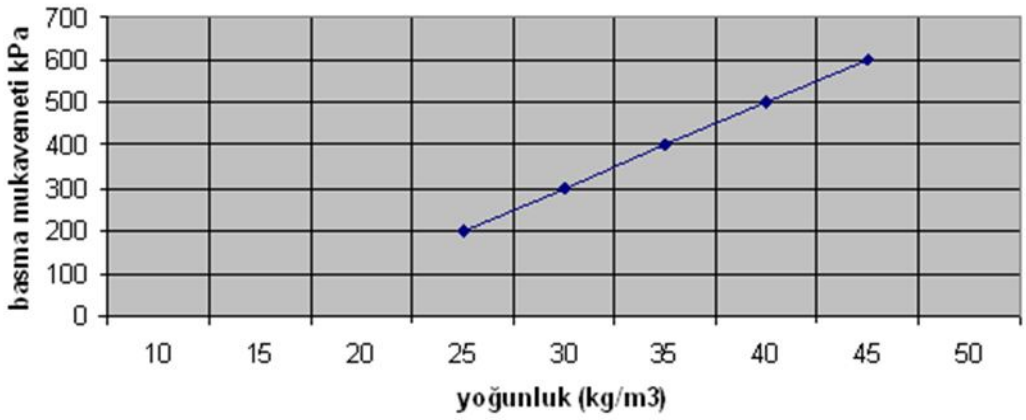
2.2.2.4. Mekanik özellikler

Ekstrude Polistiren Köpüklerin bir diğer üstünlüğü de kısa ve uzun süreli yüklemeler karşısında gösterdiği yüksek mekanik dayanımdır. Bir ısı yalıtım malzemesi yük altında iken basma dayanımı ne kadar yüksek olursa kalınlığındaki azalma o kadar az olur ki, bu da termal direnç değerini korur. Termal direnç değeri kalınlık ile doğru orantılıdır.

2.2.2.5. Yoğunluk-basma dayanımı ilişkisi

Ekstrüde Polistiren Köpükler basma dayanımı en yüksek malzemelerden biridir. Yoğunluk ve XPS ürünlerin en önemli özelliklerinden olan basma dayanımı ve sünmeye karşı direnci arasında doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça basma

dayanımı ve sünmeye karşı direnci artar. Şekil 2.13.'te yoğunluğun artışıyla birlikte basma dayanımının arttığını göstermektedir.



Şekil 2.13: XPS'nin yoğunlukla basma mukavemetinin değişimi [13].

2.2.2.6. Boyutsal kararlılık

Yalıtım malzemeleri amaçları gereği ciddi ısı değişimlerine maruz kalacaklardır. Plakaların iki yüzü arasında yüksek sıcaklık farklılıkları olacağı gibi, gece-gündüz döngülerinde hızlı ısı değişimlerine maruz kalacaklardır. Bu açıdan bakıldığında boyutsal kararlılık ısı yalıtım malzemelerinin vereceği hizmetin ne kadar iyi olacağını belirleyen en önemli özelliktir.

Ekstrüde Polistren Köpüklerde hücre yapısının ve düzeninin 3 yönde de dengede olması beklenir.

- uzunluk (ekstrüzyon doğrultusu-E-)
- genişlik (yatay doğrultu -H-)
- kalınlık (düşey doğrultu -V-)

XPS ısı yalıtım levhalarının boyutsal kararlılığı 0,07 mm/mK dir.

2.2.2.7. Su buharı difüzyon direnç faktörü (μ)

Su veya nem, bilindiği gibi oldukça iyi ısı geçirgenliği olan bir madde olup, yalıtım malzemeleri içindeki kılcal hava kanallarını veya gözeneklerini doldurduğu takdirde yalıtım malzemesinin ısı transferi katsayısını yükseltmektedir. Ayrıca su veya nemin

ısı yalıtım malzemesi içinde kışın donması veya yazın buharlaşması bu malzemenin deformasyonuna sebep olmaktadır [15].

Yapı malzemelerinde kullanım şartlarına göre yazın veya kışın ortaya çıkan yoğuşma ya da terleme olayı; hava ile temas eden yapı malzemesi yüzey sıcaklığının, havanın çiğ noktası sıcaklığının altında olması durumunda gerçekleşir. Kışın yapı malzemeleri iç yüzeyinde görülen (pencere, izolasyonsuz kolon ve kirişlerde) bu olay bazı özel durumlarda yapı malzemelerinin içinde de meydana gelebilmektedir [15].

Eğer su buharı, yapı malzemesi yüzeyinde yoğuşmazsa, terleme olmadan yapı malzemesi içine girer. Yapı malzemesi içine difüz eden su buharının kısmi basıncı iç katmanlarda herhangi bir noktada o sıcaklıktaki su buharı doyma basıncına eşit olduğu anda yoğuşma başlar. Malzeme içinde yoğuşan su malzemenin nemini arttırır. Yoğuşan suyun miktarı, malzemenin absorbe edebileceği doyma neminden fazla ise serbest kalır ve muhtelif şekillerde malzeme içinde hareket eder [15].

Binalarda yalıtım malzemesi olarak difüzyon direnci düşük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanımında yoğuşma olmaktadır. özellikle ısı yalıtımı duvarın iç mekan tarafından yapılması durumunda iç tarafta yoğuşma olmaktadır. Bu nedenle yoğuşma kontrolleri yapılmalıdır. Isı yalıtım malzemesinin sıcak tarafında bulunan tabakaların, buhar difüzyon direnç katsayısı soğuk tarafta bulunanlardan beş kat daha yüksek olması durumunda yoğuşma önlenebilir [16].

Ekstrude Polistren Malzemeler optimum buhar difüzyon direnci sayesinde kullanım yerine uygun μ değerine sahiptir. μ değeri XPS için 50-250'dir (EN 12086).

Su buharı difüzyon direnci ; bir malzemenin belirli sıcaklık, nem ve kalınlık koşulları altında birim zaman da birim alandan geçen su buharı miktarını ifade eder. Yapıların duvarından gerçekleşen difüzyon (halk arasında nefes alma) mekanizması, her yapı malzemesinde, μ (mü) değeri olarak tanımlanır ve her malzemenin bir buhar geçiş difüzyon katsayısı mevcuttur.

μ Hava = 1

μ Mineral Yün =1

μ EPS = 20-100

μ XPS = 50-250

μ Alüminyum Folyo = 1.000.000

Su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) malzemenin kalınlığı, su buharı geçirgenliği ve malzemenin bulunduğu ortamın şartlarına bağlıdır. Malzemelerin μ değeri, havanın su buharı geçirgenliğinin malzemenin su buharı geçirgenliğine oranı ile elde edilir. Malzemenin su buharı geçirgenliği ne kadar küçük ise su buharı difüzyon direnç faktörü bu oranda büyük olur.

2.2.2.8. Yangın dayanımı

Bir malzemenin yangın reaksiyonu, bu malzemenin yanıcı olup olmadığı, alev sürekliliğinin derecesi ve yanan damlalar oluşturup oluşturmadığını gösterir. Yangın direnci, malzemenin yangın karşısında yapısal kararlılığını ne kadar zaman sürdürebildiğidir.
Aşağıdaki parametrelerden etkilenir;

1. Yangın geciktirici katkı oranı
2. Şişirme gazı alevlenirliği
3. Test numunesi (Kalınlık)
4. Ürün Yoğunluğu

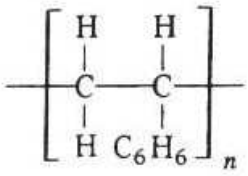
XPS ısı yalıtım levhaları B1 - zor alev alabilen yangın sınıfına sahiptir. Alev kaynağının sürekli temas etmesi ile yanmaya devam eder. Alev kaynağı uzaklaştırılınca yanma durur.

2.2.2.9. Isıl özellikler

Ekstrüde Polistren Köpükler termoplastik malzemelerdir. XPS levhaların doğrudan ve sürekli temas ettiği yüzey sıcaklığı 75 ºC 'yi aşması durumunda kullanılması tavsiye edilmez. Yüksek ısılara maruz kalması durumunda, yumuşama ve takibinde geri dönüşü olmayan boyut değişikliği, mekanik mukavemetinde zayıflamalar gözlemlenir. Min. kullanım sıcaklığı ise -50 ºC'dir.

2.2.2.10. Kimyasal özellikler

XPS ısı yalıtım levhaları, solvent içermeyen bitümlü bileşenler, su bazlı ahşap kaplamalar, kireç, çimento, sıva, alçı, çimento harcı, alkol, asit ve bazlar gibi yapı malzemelerine karşı dirençlidir. Polistrien'in molekül yapısı Şekil 2.14.'te gösterilmektedir.



Şekil 2.14: Polistiren'in molekül yapısı [17].

Bazı organik maddelerden, solvent bazlı ahşap kaplamalar, kömür katranı ve türevleri, boya inceltici solvent ve genel solventler (aseton, etil asetat, petrol toluen) beyazlatıcı özler içeren maddelerin XPS levhalar ile doğrudan temas etmesinden kaçınılmalıdır.

XPS Isı yalıtım levhaları uzun süreli direk güneş ışığına maruz bırakılmamalı, Ultraviyoleden etkilenmesi önlenmelidir.

XPS ısı yalıtım levhaları, bünyelerinde küf ve bakteri barındırmazlar. Hayvanlar tarafından sindirilemezler. XPS ısı yalıtım malzemeleri zehirli değildir. İnsan sağlığına zararlı değildir.

2.3. EPS ve XPS Isı Yalıtım Levhaları Karşılaştırılması

2.3.1. Isı iletkenliği

EPS'de Yoğunluğun belirli bir değere kadar artması ile ısı iletkenliği azalır. Üretimde, şişirici gaz olarak Pentan gazı kullanılmaktadır. Ozon'a zarar vermeyen ve iklim değişikliklerine sebep olmayan çevre dostu bu gaz, üretimi takip eden saatler içinde havayla yer değiştirir ve ürünün ısı iletkenliği küçük gözenekler içinde hapsedilmiş hava ile sağlanır ve sabit kalır. EPS'nin ısı iletkenliği hesap değeri, yoğunluğun 15–45 kg/m^3 arasında değerler olması halinde 0,030 ile 0.040 W/mK arasında değer alır. XPS'in ısı iletkenliği kullanılan şişirici gaza göre değişmektedir. En düşük ısı iletkenliği Ozon'a zarar veren CFC'lerle (Kloroflorokarbon)

sağlanmaktadır. Kloroflorokarbon (CFC) gazları, stratosferde bulunan ozon tabakasının bozunmasında katalizör (hızlandırıcı) görevi görürler. Ozonun doğal olarak oluşma hızı, bozunma hızını dengeleyemez. Bu nedenle de, ozon tabakası incelir ve yoğun CFC birikimi bulunan noktalarda delinir [6].

Bu durumda şişirici gaz olarak Hidrochloroflorokarbon (HCFC)'ler veya CO_2 kullanılması gereklidir. Bu gazların kullanımı ısı iletkenliğinde yine artışa sebep olmaktadır. Diğer yandan, XPS'in üretimde kullanılan şişirici gazların (CO_2 hariç), havayla yer değiştirmesi, aylar hatta yıllar sürmektedir ve XPS ürünlerin ısı iletkenliği, üretiminde kullanılan şişirici gaz ile sağlanmaktadır.

Havadan daha düşük ısı iletkenliğine sahip bu gazların hava ile yer değiştirmesi sonucu, ürünün ısı iletkenliği artmaktadır. XPS ürünlerin ısı iletkenlikleri zamanla artmakta, malzeme yaşlanmaktadır. XPS'in ısı iletkenliği değeri, şişirici gaza bağlı olarak, 0,030–0,045 W/mK arasında değerler alır. Düşük ısı iletkenliği veren şişirici gazlar, Ozon'a zarar verdikleri için ve/veya iklim değişikliklerine sebep oldukları için kullanımları yasaklanmıştır.

Sonuç olarak yalıtım da EPS veya XPS kullanılmasının belirlenmesi, ürünün ısı iletkenliğinin tanımlanması için yeterli değildir. En az EPS için hangi yoğunluğun ne seçileceği belirtilmelidir. XPS için ise, kullanılan şişirici gaz tanımlı olmalıdır. EPS ve XPS ürünlerin ısı iletkenlikleri,birbirine yakın değerlerdedir. Ancak XPS'in ısı iletkenliği yapıda zamanla artış gösterirken, EPS'nin değerlei sabit kalmaktadır. Mineral yünlerinin (Camyünü, Taş yünü) ısı iletkenlikleri de, EPS ve XPS'in değerlerine yakın, fakat biraz daha yüksektir.

XPS'in üretimde kullanılan şişirici gazların çevreye zararlı etkileri azaldıkça, XPS ürünlerin Isı iletkenlikleri de, mineral yünlerine benzer yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ancak, mineral yünleri daha düşük basınç dayanımı ve özel işlem görmedikleri durumda, açık gözenekleri sebebi ile yüksek su emme gösterirler. Yapıda mineral yünlerinin ıslanması veya yük altında kaldığında önemli azalmaların olması halinde, kullanım sırasında ısı iletkenliğindeki artış büyük değerler alır. Tablo 2.5'de EPS ve XPS nin fayda ve maliyet karşılaştırmaları verilmektedir.

Tablo 2.5: Isı yalıtım malzemeleri fayda/maliyet hesapları karşılaştırması [18].

Yalıtım malzemesi	**Isı iletkenliği değeri λ**	**Kalınlık k**	**Isı geçirgenlik direnci k/λ**	**1 m^2 maliyeti**	**Ekonomik Değer ≡ 1$ başına ısıl Direnç**
	(W/mK)	(m)	(m^2K/W)	USD/m^2	(m^2K/W)/USD
EPS (Yoğunluk 28 kg/m^3)	0,035	0,035	1,00	1,63	0,613
XPS (Yoğunluk 28 kg/m^3)	0,031	0,031	1,00	2,81	0,356
EPS Maliyeti		28 kg/m3 EPS ≡ 44 USD/m^3			
XPS Maliyeti		28 kg/m3 XPS ≡ 90 USD/m^3			
Alına bu örnekte görüleceği gibi, harcanan her USD başına en büyük ısı geçirgenlik direnci sağladığı için en ekonomik ve etkin yalıtım malzemesi, EPS olmaktadır.					

2.3.2. Su buharı difüzyon direnç faktörü

Mineral yünlerinin su buharı dirençleri çok küçüktür, neredeyse havaya eşdeğerdir. EPS'nin buhar direnci geniş aralıkta değişebilir (μ=20–100). Dolayısı ile uygulamanın getirdiği şartlar malzeme israfına sebep olmadan sağlanabilir. XPS'in buhar direnci genellikle yüksektir (μ=80–200). Özel ürünlerinde 250'ye kadar çıkabilir. XPS'in daima yüksek su buharı difüzyon direnç faktörü sebebiyle, XPS ürünler dışarıdan ısı yalıtım uygulamaları için kullanılmamalıdır. Dışarıdan ısı yalıtım tekniğinde, yalıtım malzemesinin su buharı direnci küçük olmalıdır. Mineral yünlerin su buharı direnci çok küçüktür ancak bu durumda üzerine uygulanacak sıva ile yalıtım malzemesinin ara kesitinde yoğuşma riski vardır. 15–16 kg/m3 yoğunluklardaki EPS hem buhar difüzyon direnci bakımında en uygun seçeneği sunar, hem de üzerine uygulanan sıvayla beraber çalışarak, sıvanın çatlamasının önlerken sıvanın altında yeterli mekanik özelliklere sahip sert bir zemin oluşturur.

2.3.3. Su alma durumu

Mineral yünleri, açık gözenekleri sebebiyle, özel olarak tedbir alınmaz ise, su emmeleri çok yüksek malzemelerdir. Kapalı gözenekleri sebebiyle EPS ve XPS'in su emmeleri düşüktür. XPS'in su emme değerleri EPS'den biraz daha düşüktür, ancak belirli yoğunluklarda EPS'nin su emme değerleri XPS'in su emme değerine kadar düşebilir.

EPS ve XPS'in aynı yoğunluktaki türlerinin ısı yalıtım özelliği çok yakındır. Buna karşın aynı yoğunluktaki EPS, XPS'e göre daha az maliyetlidir. Buna ek olarak daha düşük yoğunluktaki malzemelerin kullanılabileceği yerlerde, XPS (belirli bir yoğunluğun altında üretilemediği için) kullanılamamaktadır. Bu durumda daha düşük yoğunluklu EPS kullanımı ile hem gerekli ısı yalıtımı sağlanmakta hem de büyük maliyet avantajları yakalanmaktadır. Isı iletkenliği, EPS ve CO^2 köpüklü XPS'te hammaddenin havayla temasından sonra, ısı iletkenliği az miktarda artar ve havanın ısı iletkenliğini geçer. HFCKW (Monochlordiflurethan) gazları kullanılarak daha düşük ısı iletkenliği elde edilebilir. Böylece EPS ve XPS arasındaki fark birbirine yaklaşır.

Bunun yanında XPS üretiminde kullanılan çeşitli gazların ekolojik özellikleri büyük farklara sahiptir. Burada iki ekolojik etki mevcuttur : ozon tüketme potansiyeli ve sera etkisi. Sera etkisi yaratan gazların başında CO_2 gelmektedir. CO_2' nin göreceli değeri 1'dir. Yani bu Tablo 2.6.' ya göre örneğin XPS'in üretiminde HFCKW gazının kullanılması durumunda, bu gaz CO_2'den 1500 kez daha yüksek sera etkisine sahiptir. EPS üretiminde sadece Pentan gazı kullanılmakta bu gazın da ozon tabakasına hiçbir zararı bulunmamakta ve sera etkisi yaratmamaktadır. Aşağıdaki tabloda bu iki ısı yalıtım malzemesinin özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.6: EPS - XPS Isı iletkenliği karşılaştırma tablosu [18].

Ürün	**Şişirme Gaz Tür**	**Isı İletkenlik değeri (W/mK)**	**Şişirme gazının açılımı**	**Ozon Tüketme Potansiyeli**	**Sera etkisi potansiyeli**
EPS	Pentan gazı	0,035 / 0,040	-	0	0
XPS	HFCKW	0,030 / 0,040	Monochlordiflurethan	0,05	1500
	CO_2	0,035 / 0,045	Korbondioksid	0	1
	HFKW-152a	0,035 / 0,040	Difluorethan	0	140
	HFKW-134a	0,035 / 0,040	Tetrafluorethan	0	1200

Tablo 2.7**:** EPS - XPS teknik özelliklerin karşılaştırma tablosu [18].

Teknik Özellik		**Birim**	**EPS (Expanded polistiren)**		**XPS (Extrude polistiren)**	
Üretim Aralığı		Kg/m^3	10 - 60		25 – 60	
Yoğunluk*		Kg/m^3	20	30	25	32
Basınç Dayanımı	**%10 deformasyonda**	N/mm^2 Kg/cm^2	0,14 1,4	0,22 2,2	0,15 1,5	0,30 3,0
	<%2 deformasyonda devamlı basınç altında	N/mm^2 Kg/cm^2	0,028 0,28	0,049 0,49	0,060 0,6	0,11 1,1
Su Alma Durumu		Hacim %'si	4,0	3,5	0,1	0,1
Buhar Difüzyon direnç katsayısı		1	30/70	40/100	80/150	100/200
Yanma durumu		B1 veya B2 **	B2 ve B1	B2 ve B1	B1	B1

* : Extrude polistirenin-XPS düşük yoğunlukta üretimi bulunmadığı için karşılaştırma EPS'nin yüksek yoğunluktaki ürünleri ile yapılmıştır.

** : B1 kendiliğinden söner, B2 normal söner

2.4. Sıva ve Son Kat Boya

2.4.1. Sıva

Isı yalıtımı, konut ve ticari yapılarda enerji verimliliğine önemli bir katkıda bulunmaktadır. inşaat malzemelerinin ısıl dönüşüm özelliklerinin bilmek, sıcaklık profili ve dış yüzeyden içeriye doğru ısı akışını tahmin edebilmek için önemlidir. Çimentolu inşaat bileşiklerinin ısı iletkenlikleri havanın ısı iletkenliğinden çok daha yüksektir. Bu malzemelerdeki giriş delikleri veya hava boşlukları ısı iletkenliği

azaltacaktır veya onun ısı direncini arttıracaktır. Hafif çimentolu malzeme üretiminde düşük ısı iletkenliği olan hafif kum çakıl kullanımı ısı yalıtımı sağlar ve bu nedenle ısı tasarrufunu geliştirir. İstenilen düşük yoğunluk ve iyi ısı yalıtıma sahip olmasına rağmen, hafif çimentolu malzemeler, düşük mekanik özelliklere sahiptir [20].

Çimentolu malzemelerin karıştırılması esnasında, nano kilin yüzey boyunca hacimce oranının yüksek olması nedeniyle bu malzemeler su tutabilir. Dispersiyondan sonra, çimento partikülleri arsında bu su, çimentonun bağlanma mukavemeti yüzünden hidratlaşma işlemini sağlayacaktır. Süper plastikleştiriciler bazen çimentolu malzemelerinin mekanik özelliklerini ve çalışabilirliklerini arttırmak için kullanılmaktadır. Bu yüzden yüksek mukavemetli, dayanıklı ve yüksek performanslı betonlar üretilebilir. Hafif termal dirençli çimento kompozitlerde, süper plastikleştirici kullanımı yararlı olmaktadır [20].

Normla sıvalarda yaklaşık % 60 oranında boşluk bulunabilmektedir. Bu boşluklar çoğu zaman mikro düzeyde boşluklar olmaktadır. Bu boşluklar sayesinde malzemenin ısı iletkenlik değeri azalmaktadır. Su, doğal kum ve çimento ile üretilen normal bir sıvanın ısı iletkenliği 0,522–0,657 W/m.K arasında değişmektedir [11].

Isı yalıtım sıvası, ısı yalıtım levhası üzerine öncelikle bir astar kat sıva olarak uygulanır. Bunun nedeni donatı filesinin sıva arasına konulabilmesi içindir. Isı yalıtım sıvası astar ve son kat sıvasından oluşur. Sıvanın toplam kalınlığı file dahil yaklaşık 4 mm kalınlığında olmalıdır.

Isı yalıtım sıvası ve ısı yalıtım ve ısı yalıtım levha yapıştırıcısında polimer toz kullanımı bu malzemelerin tutunma güçlerini ve elastikliklerini arttırmaktadır. Bu toz polimerler sıvaların üretimi esnasında ürünün içerisine katılmaktadır [21].

Isı yalıtım malzemesinin üzeri genelde polimer katkılı ve çimento bazlı harç ile kaplanır. Bunun yapılmasının en önemli faydalarından biri, harcın ısı yalıtım malzemesine çok iyi bir şekilde yapışmasıdır [22].

Çimento bazlı son kat kaplama olarak bir çok malzeme kullanılmaktadır. Özellikle çimento bazlı harcın dağılmasını önleyici tozların kullanılması, sıvanın

dayanıklılığını uzun süre korumasını sağlamaktadır. Ayrıca dağılmayı önleyici toz malzemeler Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemlerinin içerisine su girişinin de önlenmesine katkı sağlamaktadır [23].

Sıva ve çimento katkılı harçlar hazırlanıp uygulandıktan sonra 3 gün içerisinde nihai mukavemetlerinin % 50'ni kazanırlar. 7 gün sonra bu değer % 70'e çıkar. Günler ilerledikçe bu malzemelerin mukavemet kazanma hızları giderek azalır. 28 gün sonunda bu malzemeler nihai mukavemet değerlerine ulaşırlar. Sıva ve harçların bünyelerinde su bulunması halinde çok küçük miktarlarda da olsa mukavemet değerleri artmaya devam eder [20].

2.4.2. Son kat boya

Prensip olarak beton ile boya sistemleri arasında paralellik kurulabilir. Betondaki çimentonun işlevini boyada bağlayıcı (reçine) görür. Aradaki fark bağlayıcı uygulandığı yüzeyde bir film oluşturur ve aynı zamanda sistemin içerdiği pigmenti, dolguyu birbirine bağlarken, çimento film oluşturmaz, yalnızca kum ve çakılı birbirine bağlar. Bağlayıcı ayrıca boyanın uygulandığı yere yapışmasını sağlar [24].

Pigmentler, renk verici maddelerdir. Boya içinde çözünmüş halde olmayıp bağlayıcı ve bağlayıcı çözeltisinin içinde koloidal halde dağılmış olarak bulunur. Boya, pigment ve dolguların bir bağlayıcı içinde asılı halde bulunduğu bir dispersiyon sistemdir. Talk, kalsit, barit gibi mineraller öğütülür ve boyada dolgu olarak kullanılır. Dolgularda pigmentler gibi bağlayıcıda koloidal halde bulunurlar [24].

Solventler, oda sıcaklığında kat halde bulunan bağlayıcıları çözerek, bir bağlayıcı çözeltisi oluşturur. Bu bağlayıcı çözeltisi içerisinde pigment ve dolgular ezilerek koloidal bir sistem halinde geçirilir ve böylece boya elde edilir [24].

Boyaya pigmen, bağlayıcı ve dolguların dışında bazı aditifler de eklenebilmektedir. Bu malzemeler çok az miktarlarda olup, boyanın imali, depolanması, uygulanması ve iyi bir film oluşturmasında büyük etkileri olmaktadır [24].
Uygarlığın en eski teknolojilerinden biri olan boya teknolojisi, binlerce yılın tüm birikimlerini günümüze kadar getirmiş olup en eski ile en yeni bir arada tutabilen,

her türlü olanağı kullanabilen bir teknolojidir. Boya teknolojisindeki yeni gelişmeler boyada kullanılabilecek yeni reçinelerin üretimi, bilinen reçinelerin çok bileşenli olarak birlikte kullanılabilmeleri, yeni pigmentlerin, özelliklede özel etki pigmentlerinin geliştirilmesi çevre duyarlılığının arttırılması, bağlama yöntemlerinin geliştirilmesi, mal oluş fiyatlarının aşağıya çekilmesi yönünde olmaktadır. Örnek olarak özel etkili pigment, nano manyetik pigmenttir. Boya ya katıldığında manyetik boyalar üretilebilir. Kimya sanayisinin her dalında yeni yeni ürünlerin ortaya çıkarılması ve insanların hizmetine sunulması bize yaşamımızın çeşitlendirilmesini, kolaylaştırılmasını, daha sağlıklı ve daha uzun ömürlü bir yaşamı sağlamaktadır [25].

Dış cephe ısı yalıtım sitemlerine son kat boyalar sıva yapıldıktan sonra bir hafta sonra boya uygulaması yapılabilir. Son kat boya uygulaması astar ile birlikte yapılmalıdır. Astar uygulamasının yapılmasının ana nedeni boyanın yüzeye daha iyi tutunması ve sarfiyatının azalmasıdır. Astar boya sıva üzerindeki boşlukları dolduracağında hem son kat boyanın sarfiyatını azaltır ve hem bu boşluklara kolayca tutunmasını sağlamaktadır.

Boyanın iyi muhafaza edilebilmesi için aşağıdaki parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir [26]:

a) Oda sıcaklığında veya 30-40 °C' lerde hidrojen veya diğer reaksiyon devam ettirebilecek maddelerin formulasyonda bulunmaması gerekmektedir [26].
b) Her hangi bir tortu bulunmamalıdır [26].
c) Boyanın iyi bir görünüşü olmalıdır. Hatasız ve süreksizlik olmayan bir yüzeyi olmalıdır [26].
d) Kaplamaların orijinal özelliği korozyondan koruyucu maddeler içermeli ve muhafaza gücü yüksek olmalıdır [26].

Boyaların en uygun saklanabileceği ortamların oda sıcaklığında olması gerekmektedir. En uygun sıcaklık değeri 30 °C'dir. 120 g 'da 30 ml'den fazla hidroje bulunduğu durumda yapılan testlerde 40 °C'nin üzerinde boya stabil halini kaybetmektedir. Beş gün sonrasında bozulma başlamaktadır. 20 gün sonra ise kullanılamaz hale gelmektedir [26].

Boya çoğu inorganik pigmentlerle organik yapılı bağlayıcıların karışımı olduğu için boyanın çıkarabileceği her türlü sorunun özünde inorganik ve organik maddelerin uyumsuzluk sorunu yatar. Boyanın özelliklerinin saptanması, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin bulunabilmesi için çok değişik yöntemler vardır ve bu yöntemlerin uygulanması ile boya hakkında çok iyi bilgiler edinile bilir [27].

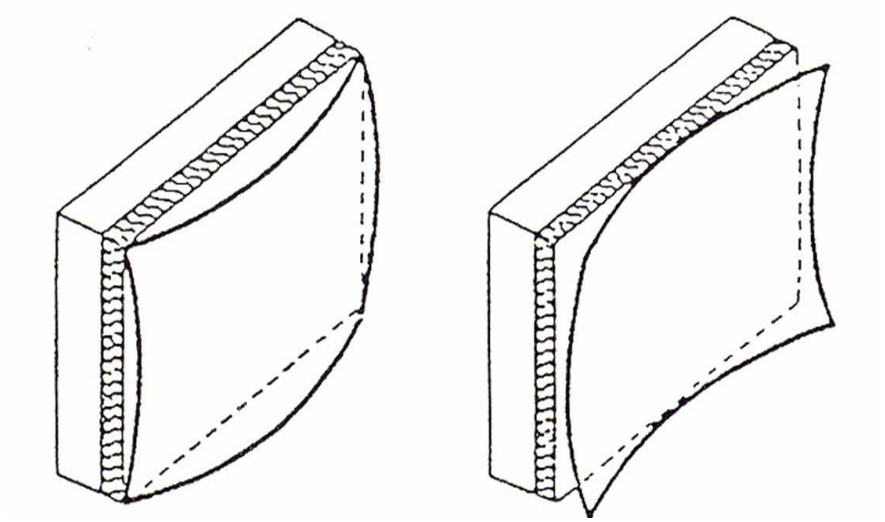
Su bazlı boyalarda boyayı uzunca bir süre koruyabilmek oldukça zordur. Mikroorganizmaların saldırısına maruz kalan boya kısa zamanda kötü bir görünüm kazanabilir. Su bazlı boyalarda boya yüzeyinin bozulmasının nedeni, boya kıvamlaştırıcılarının yapısının mikroorganizmalar tarafından bozulmasıdır [27].

Civalı malzemelerin boyada kullanılmasının yasak olmasından önce, bu tür malzemeler boyaların bozunmasını önlemede kullanılmakta idi. Ancak civalı malzemelerin kullanımının yasaklanması ile birlikte bu bozunmanın önüne geçebilmek için farklı çalışmalar yapılmaktadır [27].

Dış cephe ısı yalıtım sistemlerinde son kat boya olarak solvent içerikli boyaların kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü solvent içerikli bolar dış cephe ısı yalıtım sıvası bağlayıcılarının yapısını bozarak sıvanın mukavemet kaybetmesine neden olabilmektedir.

Koyu renkli son kat boya kullanılması güneşin direk geldiği yüzeylerde ciddi sıcaklık yükselmesine neden olmaktadır. Yüzeyde ortam sıcaklıklarından neredeyse iki katından daha fazla sıcaklık değerleri oluşabilmektedir [28]. Dış duvar yüzeyine güneş ışınımının gün boyunca etkili bir şekilde gelmesi, duvarda ısıl enerji depolanmasına ve bu depolama sebebi ile duvar dış yüzey sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. güneş ışınımına maruz kalan bina dış duvarında depolanan ısıl enerji, taşınım ve ışınım yolu ile dış ortama ve iletim yolu ile binanın iç kısmına doğru ilerler [28]. Bu sıcaklığın artışı ile ısı yalıtım levhalarında Şekil 2.15.' teki gibi bir şekil değişikliğine neden olabilmektedir. Tabi bu mikro düzeyde bir şekil değişikliğidir. Ancak bu şekilde şekil değişikliği olması ve uygulamadan gelecek hatalarla birlikte Şekil 2.16. ve Şekil 2.17.'de gösterildiği gibi ısı yalıtım plakaları birleşim noktalarından sıva yüzeyinde çatlaklar oluşmasına neden olabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada beyaz ve kırımızı renk uygulamalar sonucunda deneysel olarak yüzey çatlaklarının oluşmasının ne kadar mümkün olduğunu kanıtlamaya çalışılmıştır.



Sıcakta Soğukta

Şekil 2.15: Yüzey sıcaklığının durumuna göre ısı yalıtım levhasının alacağı şekil.

2.5. Isı Yalıtım Malzemelerinin Mikroskobik Analizi

Yalıtım malzemelerinde ısı transferi katı matrikste iletim ile gaz olan bölgelerde de radyasyon ile ısı transferi oluşmaktadır. Geometrik hücre modeli, köpük yalıtımında iletim ve ışınımsal tahmini olarak geliştirilmiştir. Elektromanyetik teoriye ve poroz malzemelerin içine doğru iletim modeline bağlı olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen model, deneysel bilgi ile farklı köpüklerin simülasyon sonuçlarını karşılaştırılması ile onaylanmıştır. Köpük, yalıtım performanssının optimizasyonunun amaçları için kullanılmaktadır [29].

Mevcut araştırmalar köpük yalıtım malzemelerindeki ısı transfer mekanizması üzerine olan çalışmalardır. Fakat, köpüğün mikroskobik yapısının termal özellikleri üzerine etkisi birkaç çalışmada ele alınmıştır. Köpük yapısının modellemesindeki son çalışmalar köpük katı matriksinin yüksek poroziteli olduğunu ve boşluklarının yarı düzgün polihedral geometride olduğunu işaret etmektedir. Morfolojinin sonucu



Şekil 2.16: Isı yalıtım levhaları arası çatlaklar.



Şekil 2.17: Isı yalıtım levhaları arası oluşan çatlaklar.

olarak köpüklerdeki ısı transferi katı matriste iletim ile oluşur. Boşluklar gaz ile doludur buralarda ışınım ile iletim oluşur. Işınım ile tümüne yayılır [29].

Rastgele yönlenmiş hücre kenarlarından gelen saçılmaların ihmal edildiği varsayılmıştır. Söndürme katsayısının hücre çapına ve köpük porozitesine bağlı olduğu bulunmuştur. Bundan başka, köpük porozitesinin ve rastgele yönlenmiş hacimsel bölünmenin bir fonksiyon olarak köpük ısıl iletkenliği için bir model eşitliği geliştirmiştir. Difraksiyon ve geometrik optik uygulanmış kenar ve kenar bağlantılarının kombinasyonunda, açık hücreli köpüklerin ışınımsal özelliklerinin tahmini için biraz farklı model ileri sürmüştür. Günümüzdeki çalışmaların amacı hücrenin çapı ana kenarlar ve ana duvar kalınlığı gibi köpüğün iç yapısının geometrik parametrelerinin karakterizasyonunda, ışınımsal ve iletim özelliklerinin neye bağlı olduğunu araştırmaktır. Köpük morfolojisinin ana yapısında bir geometrik

model geliştirilmiştir. Katı iletimi ve gas iletimi gibi köpük termal özelliklerini oluşturmak için ısıl direnç faktörü kullanılmaktadır [29].

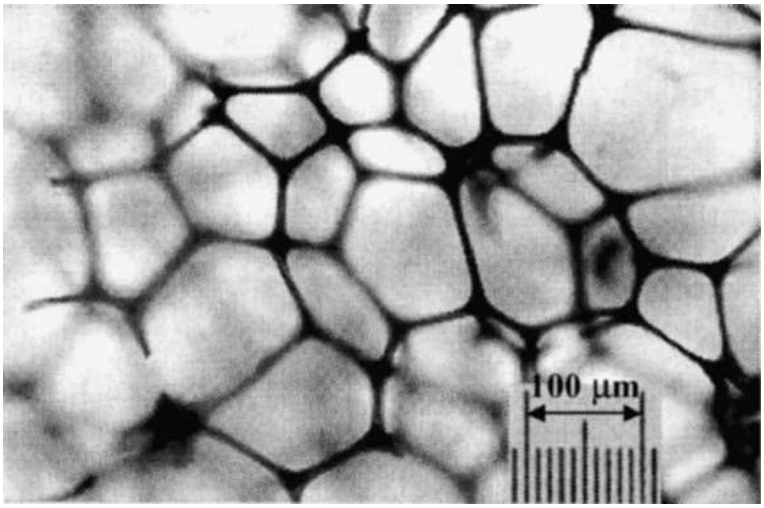
Yalıtım köpüklerinin SEM görüntülerinin incelenmesiyle ağ ve hücre yapılarına sahip olduğu anlaşılmıştır. Her iki durumda yenilenen element kapalı veya açık olan hücredir. Basit ağ yapısında hücreler açıktır ve malzeme tamamen hücre taraflarında yoğunlaşmıştır. Aralardaki gaz aynı hava gibi dış çevredeki gaz gibidir [29].

Şekil 2.18. 10 kg/m^3 melamin köpüğün ağsal yapısını göstermektedir. bu katı matris tüm yönlerdeki rast gele yönlenmiş desteklerden oluşmuştur ve hüre şekli bir pentagonal (oniki yüzlüye) benzemektedir. Ayrıca kenar kalınlıkları, hücre çaplarında daha küçüktür. Tersine, hücrelerin yapıları kapalı hücrelerdir. Bunlar ince duvarlar ile ayrılmışlardır. Duvarlar kenar formasyonun oluşabildiği ve duvar kalınlaşması olarak gözlemlendiği hücre kenarlarında kesişmiştir [29].

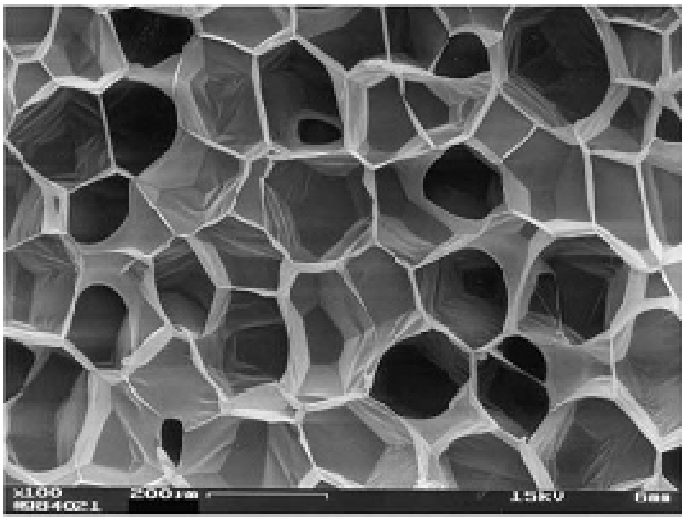
EPS aynı hücre yapısını gösterir. Sadece duvarlardan oluşmuştur. Malzemenin hücre duvarlarının kesiştiği yerde depolanma artmamıştır. Boşlukları dolduran gaz havadır. Yüzey analizinden, EPS yapısı düşük yoğunluklarda peletler açık bir şekilde birbirlerine kaynamışlardır. Pelet çaplarının ortalaması 10 kg/m^3 köpük için yaklaşık 5 mm dir. 35 kg/m^3 için ise yaklaşık 2 mm dir [29].

Şekil 2.19. SEM ile çekilmiş bir peleti yüz kez büyütülmüş iç yapısını göstermektedir. Hücreler yaklaşık 12 tane beşgen şekil yapısına sahiptir. Ve duvarlar rastgele odaklanmıştır. Ayrıca, hücre çapı duvar kalınlıklarından daha geniştir.

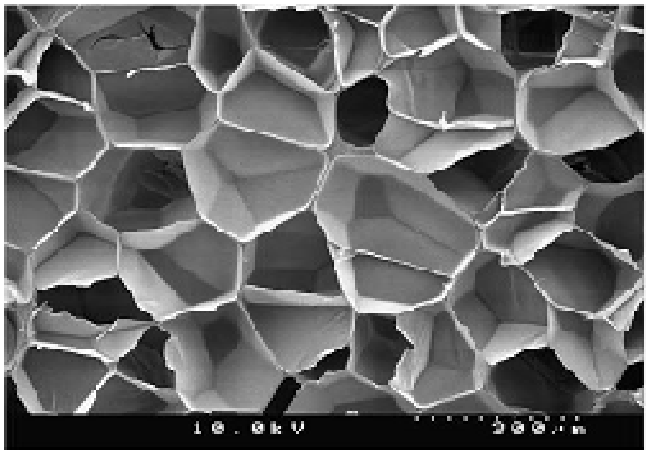
XPS daha karışık hücre yapısına sahiptir. destek yapılar Hücrelerin ve duvarlar şeklindeki hücre yüzeylerini köşe kenarlarında formlaşmıştır. Şekil 2.20. 15 kg/m^3 EPS köpüğün SEM fotoğrafını göstermektedir. Hücre çapı kenar yapının kalınlığından daha geniştir. Hem duvarlar ve hem kenar yapılar rastgele odaklanmış ve hücre şekli 12 tane beşgen yapıya benzerdir [29].



Şekil 2.18: Melamin köpüğün mikroskobik retikular yapısı [29].



Şekil 2.19: 33 kg/m^3 XPS köpüğün yapısı ve hücrenin detayları (büyütme 100x) [29].



Şekil 2.20: 15 kg/m^3 EPS köpüğün hücre yapısı ve bir hücrenin detayları (100x büyütme) [29].

Bu karışık morfolojiye kapalı hücre yapılı olan poliüretan köpüklerde (PUR) sahiptir. Bu durumda, boşluklara dolan gaz havadan farklı olabilir, mesela Hidroflorocarbon (HFCF) gazı olabilir.

2.6. Köpük Yalıtımı İçin Isı Transfer Eşitliği

Isı transferi üç şekilde gerçekleşir:

1.Isı iletimi (Kondüksiyon), katı cisimlerden ısı geçiş şekline denir. Hareketsiz katı ve sıvılarda ısı geçişi de bu şekilde açıklanabilir [30].
2.Isı taşınımı (kanveksiyon), hareket halindeki gaz veya sıvı ortamlardan ısı geçiş şeklidir [30].
3.Isı ışınımı (Radyasyon) elektromanyetik dalgala halindeki ısı geçiş şekline denir. Gazlarda radyasyon ve konveksiyon ısı geçişi karmaşık şekilde olur [30].

Yalıtım köpüklerindeki ısı transferi katı matris ve gaz fazı aracılığı ile oluşur. Isıl radyasyon köpük iç yapısı, saçılma ve emme prosesi ile zayıflatılmaktadır. Serbest konveksiyon, küçük hücre boyutları yüzünden göz ardı edilebilir. Sürekli ve tek boyutlu bir köpük varsayıldığında ısıl iletim mekanizması basit Fourier kanunu ile tanımlanır [29];

$$q_c = - \lambda_c \, dT/dx \qquad (2.1)$$

$$U = \lambda_c / dx \quad (2.2)$$

olduğunda;

$$q_c = U\, dT \quad (2.3)$$

q_c W/m^2 termal iletim akısı λ_c [W/(m K)] termal iletkenlik T[K] sıcaklık ve x [m] geometrik koordinat [2]. U, [$W/(m^2$ K] k(m) kalınlığındaki malzemenin her iki tarafında bulunan hava sıcaklıkları arasındaki farkın 1 °C(K) olması halinde malzemenin 1 m^2 sinden bir saatte geçen ısı miktarıdır [26]. Termal iletkenlik katı matrisin yapısına ve aşağıdaki formül de verildiği gibi gaz (λ_{gaz}) ve katı iletkenliğine ($\lambda_{katı}$) bağlı bir parametredir [30];

$$\lambda_c = \lambda_{katı} + \lambda_{gaz} \quad (2.4)$$

ışınımsal ısı transferi bir diferansiyel denklem ile açıklanmıştır.

Enerjinin korunumu kanuna göre, bir yalıtım köpüğündeki toplam sabit ısı akısı ışınımsal ve iletim ısı akısının toplamına eşittir;

$$q = q_r + q_c \quad (2.5)$$

bu yüzden toplam kalın köpüklerin termal iletkenliği basit olarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\lambda_{toplam} = \lambda_{katı} + \lambda_{gaz} + \lambda_{ışınım} \quad (2.6)$$

köpüklerdeki termal ısı akısının uygun değerlendirmesi, iletimin ve ışınımsalın özelliklerinin belirlenmesini gerektirir [29].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Yaz aylarında gündüz saatlerinde hava sıcaklığındaki artış sebebi ile yalıtımsız binalarda iç ortamların sıcaklığı da yükselmektedir. Bunun nedeni, bina veya dairelerin güney ve güney batı duvarlarının gün boyunca, yüksek güneş ışınımına maruz kalmasıdır [28].

Duvar yüzeyinin aşırı oranda gün boyunca güneş ışınımına maruz kalması sonucunda, duvar dış yüzey sıcaklığı, o andaki hava sıcaklığından çok daha yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. Örnek olarak hava sıcaklığı 30 °C civarında iken dış duvar yüzey sıcaklığı gün içerisinde 30 °C'den başlayarak bölgelere göre; 40, 45, 50, 60, 65, 70, 75 °C gibi değerlere ulaşabilmektedir [28].

Çalışmada, iki farklı yöntemle sıcaklığın DCIYS'e etkisi belirlenmiştir;

Birincisi:
Isı yalıtım levhaları arasında birleşim düzlemi oluşturularak güneş ışınına maruz bırakıldı. Burada iki farklı ısı yalıtım levhası ve bu levhalar üzerine iki farklı renkte boya uygulaması yapılarak dış cephe sistemi yüzeyindeki sıcaklığın, hava sıcaklığından ne kadar etkilendiği araştırıldı. Ayrıca, ısı yalıtım levhası çeşidine göre, sıcaklığın etkisi ile sistemde nasıl bir değişiklik olduğu gözlemlendi.

İkincisi:
15x30x5 mm ebatlarında aynı ısı yalıtım sıvası üzerine farklı iki renkte boya uygulandı ve diğer numuneler ile birlikte dış çevre ortamında aynı sürede bekletildi. Daha sonra bu numuneler Şekil 3.7.'te görüldüğü gibi çekme basma cihazında eğme deneylerine tabi tutuldu. Burada alınan sonuçlar N (Newton) birimli değerlerdir. Bu işlemin amacı, farklı iki renkte boyanın, güneş ışınlarının boyanın rengine göre, ısı yalıtım sıvasında nasıl bir mukavemet değişikliğine neden olduğunu tespit etmektir.

3.1. Çatlak Oluşumu İzlenecek Numunelerin Hazırlanması

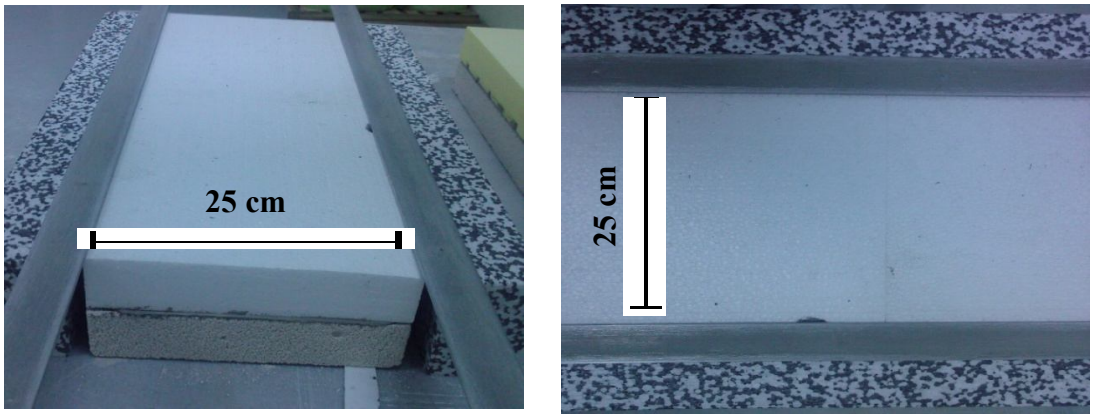
50x250x300 mm boyutlarındaki iki parça ısı yalıtım levhası numunesi 50x250x600 mm ebatlarındaki gaz beton üzerine plakalar halinde yapıştırıldı. Burada iki parça halinde yapıştırmanın amacı her numune üzerinde bir adet levha birleşim düzlemi oluşturmaktır. Bu birleşim düzlemi, ısı farkından dolayı, sistemin ısıl genleşmesi ile bu düzlem boyunca sıva çatlağı oluşmasına neden olacaktır.

Önce ısı yalıtım levhaları 50 mm kalınlığındaki gaz betonun üzerine yapıştırıldı. Yapıştırma işleminden sonra bir gün bekletildi. Çünkü yapıştırıcının kuruması ve sistemin stabil olabilmesi için bu gereklidir. Sonra levhalar üzerine sıva yapıldı.

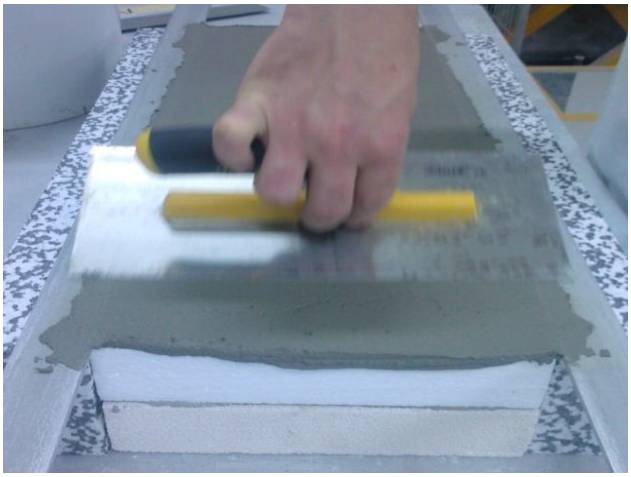
Sıvanın numunelerin üzerine eşit kalınlıklarda uygulanabilmesi için Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi plakaların kenarına 4 mm kalınlığında alüminyum şeritler konuldu. Bu şeritler, sadece sıvanın kalınlığının her yerde aynı olmasını sağlamak içindir. Sıva oluşturma işleminden sonra bu şeritler numunelerden uzaklaştırılmıştır.

Uygulama günlük yaşamdaki gerçek/doğal şartlara uygun yapıldı. Ancak çatlamaların numunelerde daha kolay oluşmasını sağlamak için donatı filesi bu numunelere konulmadı. Çünkü donatı filesi dış cephe ısı yalıtım sistemlerinde, sıcaklık farkından dolayı sistemde oluşacak gerilmeler sonunda sıvanın çatlamasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır.

Çok nadir olsada ısı yalıtım levhalarının pratikteki uygulaması sırasında uygulama hatası olarak levhalar arasında boşluklar bırakılabilmektedir. Isı yalıtım levhaları arasında bırakılan bu boşluklardan dolayı sıvanın çok hızlı bir şekilde çatladığı tespit edilmiştir. Şekil 3.1.–3.3.'te numunelerin hazırlanma şekilleri gösterilmektedir.

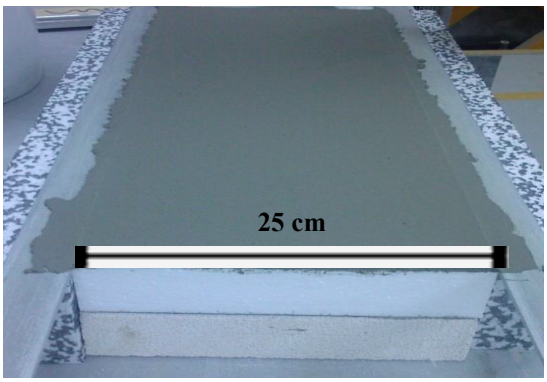


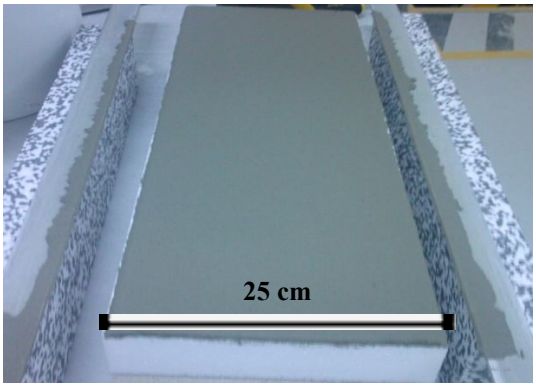
Şekil 3.1: Sıva kalınlığının numune üzerinde her alanda aynı olmasını sağlamak amacı ile kullanılan alüminyum şeritlerin numune üzerinde görünüşü.



Şekil 3.2: Sıvanın numune üzerine uygulanması.

Numunelerin üzerine sıva kaplaması 4 mm kalınlığındaki metal şerit yardımı ile yaklaşık 4 mm kalınlığında sıva uygulanması yapılmıştır. Şekil 3.3:' te ısı yalıtım sıvası uygulanmış numuneler görülmektedir.





Şekil 3.3: Isı yalıtım sıvası uygulamış numuneler.

Numunelerin sıvama işlemlerinden sonra boyama işlemi bir hafta sonra gerçekleştirilmiştir. Toplamda 16 adet numune hazırlandı. Bu numunelerin 8 adedi EPS levhalar ile 8 adedi ise XPS levhalar ile hazırlandı.

Daha sonra 8 er adet EPS ve XPS levhalar ile hazırlanmış numunelerin 4 adedi kırmızı (11S) renge ve diğer 4 adedi beyaz renge boyanmıştır. Son kat olarak kullanılan kırımızı renk (11S) piyasada en çok satılan aydınlatma faktörü en düşük olan dış cephe rengidir. Son kat boya olarak kullanılan beyaz boya en çok satan aydınlatma faktörü en yüksek olan son kat boyadır. Tablo 3.1.'de boya renklerinin aydınlatma faktörü değerleri verilmiştir. Şekil 3.4.'te son kat boya uygulanmış numuneler görülmektedir.

Son kat Beyaz boyalı numune, piyasada en çok satılan ve aydınlatma faktörü en yüksek olan dış cephe rengidir. Aydınlatma Faktörü; üzerine gelen ışınların ne kadarını geri yansıttığını gösteren ve % olarak ölçülen bir değerdir. Spektrofotometre ile ölçülmektedir. Bu deneyde kullanılan ürünlerin detaylı bilgileri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

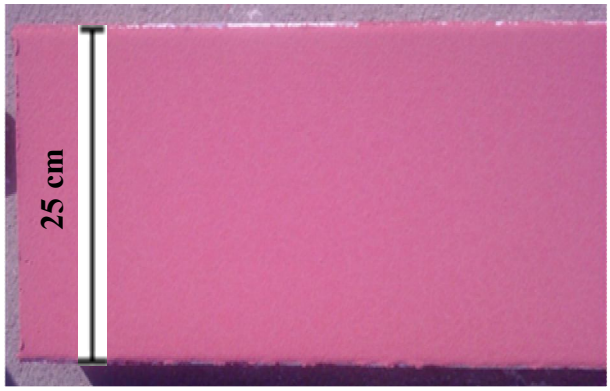
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan malzemelere ait bilgiler.

Ürün	**Üretim Tarihi**	**Aydınlatma Faktörü (%)**	**Yoğunluk (g/ml)**	**Renk**	**Viskozite (cp)**
Kırmızı renkli Dış Cephe Boyası	10.04.2009	11-12	1,58	Kırmızı	18100
Beyaz Renkli Dış Cephe Boyası	27.01.2009	90-91	1,57	Beyaz	18100
Astar	15.04.2009	-	1,45	Beyaz	14000
Isı yalıtım Sıvası	02.06.2009	-	1,35	Gri	
EPS Levha	-	-	15 kg/m^3	Beyaz	-
XPS Levha	-	-	28 kg/m^3	Sarı	-

3.2. Mukavemet Değeri Ölçülecek Numunelerin Hazırlanması

Sıcaklık farklarının levha üzerindeki sıvanın mukavemetine etkisini belirlemek için ayrıca 26 adet 150x300 mm ebatlarında numuneler hazırlandı. Numuneler son kat boyaları beyaz ve kırmızı olmak üzere iki farklı renkten boyalarla boyandı ve aynı ortam da eşit süre bekletildi. Bu numuneler diğer numuneler ile aynı şekilde hazırlandı. Ancak kalınlığın stabil halde olması için kullanılan alüminyum şeridin kalınlığı 5 mm dir.

Ancak sıvanın yalnız halde elde edilebilmesi için EPS levhalar üzerine sıva uygulanmış ve ortamda bekletme bittikten sonra EPS ile sıva birbirinden Şekil 3.5.'da görüldüğü gibi birbirinden ayrılmıştır. Şekil 3.6.'da mukavemet değerini belirlemek için hazırlanan numuneler görülmektedir.



(a)

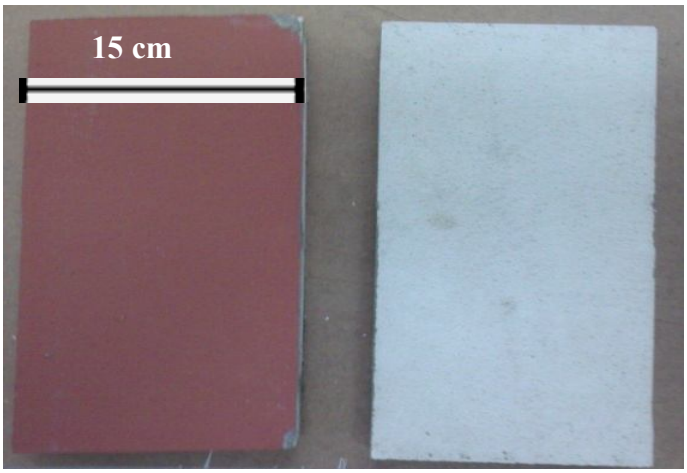


(b)

Şekil 3.4: (a) Kırmızı ve (b) beyaz boya boyanmış numuneler.



Şekil 3.5: Malzemeyi EPS den ayırma işlemi.



Şekil 3.6: Mukavemet değerini belirlemek için hazırlanan numuneler.

Numunelerin hazırlama işlemleri bittikten sonra 5 ay süre ile çevre ortamında bırakılmışlardır. 5 ay süre sonucunda bu numunelerdeki levha birleşim düzlemlerinde her hangi bir çatlama görülememiştir. 5 ay süre geçtikte sonra, numunelerden 4 adedi Şekil 3.8.'de gösterildiği yaşlandırma cihazına konulmuştur;

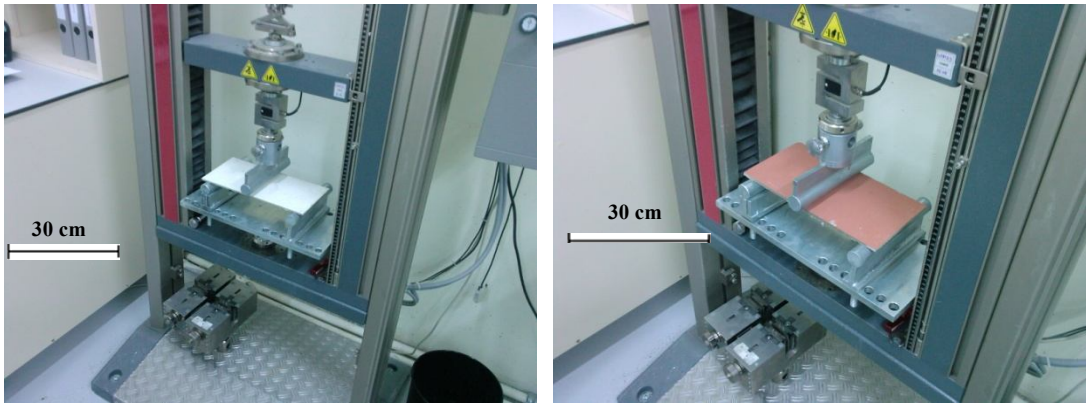
- 1 adet kırmız renk boyalı EPS levhalı numune,
- 1 adet beyaz renk boyalı EPS levhalı numune,
- 1 adet kırmızı renk boyalı XPS levhalı numune ve
- 1 adet beyaz renk boyalı XPS levhalı numune

Bu işlemin amacı numunelerin yaşlandırma cihazında daha hızlı bir şekilde çatlayıp çatlamayacağını tespit etmektir.

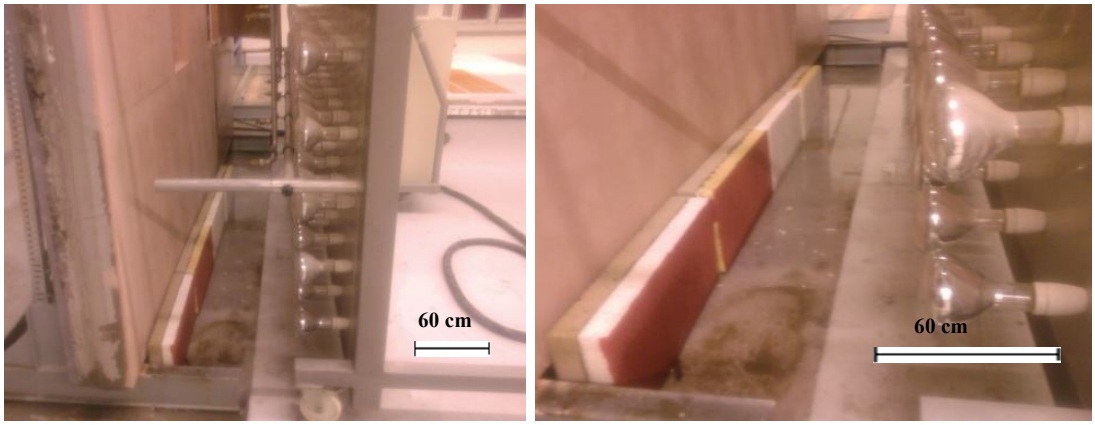
Bu cihaz belirli periyotlarla numuneler üzerine sıcaklık ve su uygulamaktadır. Sıcaklık değerleri ayarlanabilirdir. Ancak bu testin standardı 70 °C dir. Bu cihaz koyduğumuz numuneler 6 hafta süre ile beklemesine rağmen her hangi bir çatlama tespit edilememiştir.

Şekil 3.8.'deki yaşlandırma cihazı lamba sistemi ile çalıştığı için lambalardan gelen ışıklar numune üzerinde her yerde aynı sıcaklık değerinin oluşmasını

sağlayamamaktadır. Bazı yerlerde 70 °C olmasına rağmen bazı yerlerde bu sıcaklık değerine ulaşılamamaktadır.



Şekil 3.7: Çekme basma cihazında üç nokta eğme deneyi ile mukavemet testi.



Şekil 3.8: Çatlama tespiti için test yöntemi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sıcaklık Değerlerinin Ölçülmesi

Numuneler çevre ortamına konulduktan sonra sürekli olarak öğlen ve akşam saatlerindeki sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Tablo 4.1.'de öğlen saatlerinde ölçülen sıcaklıklar gösterilmektedir. Tablo 4.2**.** akşam saatlerinde ölçülen sıcaklık değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.1.'de öğlen saatlerinde numunelerden takip edilen sıcaklık değerleri ve Şekil 4.1.'de bu verilerden elde edilen grafik verilmektedir. Burada tespit edilen sıcaklık değerleri termal kamera kullanılarak ölçülmüştür. Buradaki sıcaklıklar öğlen saatlerinde, güneşin tepede ve tepeye en yakın yerlerde olduğu zamanlarda ölçülen sıcaklık değerleridir. Sıcaklık değerlerine bakıldığında koyu renkle boyanmış numunelerin yüzey sıcaklık değerleri beyaz numunelere oranla çok daha yüksektir.

Koyu renkli numunelerin aydınlatma faktörü çok düşüktür. Dolayısıyla güneşten gelen ışınları tekrar geri yansıtma kabiliyeti çok zayıftır. Dolayısıyla içerisine hapsettiği ısı değeri yüksektir. Bu nedenle sistemin en dış katmanında oluşan ısıl yükün sistemin genelinde oluşan ısıl yükten fazla olması, dış cephe kaplamasının polimer yapısının parçalanmasına neden olur. Bu da kısa sürede renk solması, çatlamalar, v.b. gibi görsel ve hem de teknik olarak istenmeyen durumlara neden olmaktadır [31].

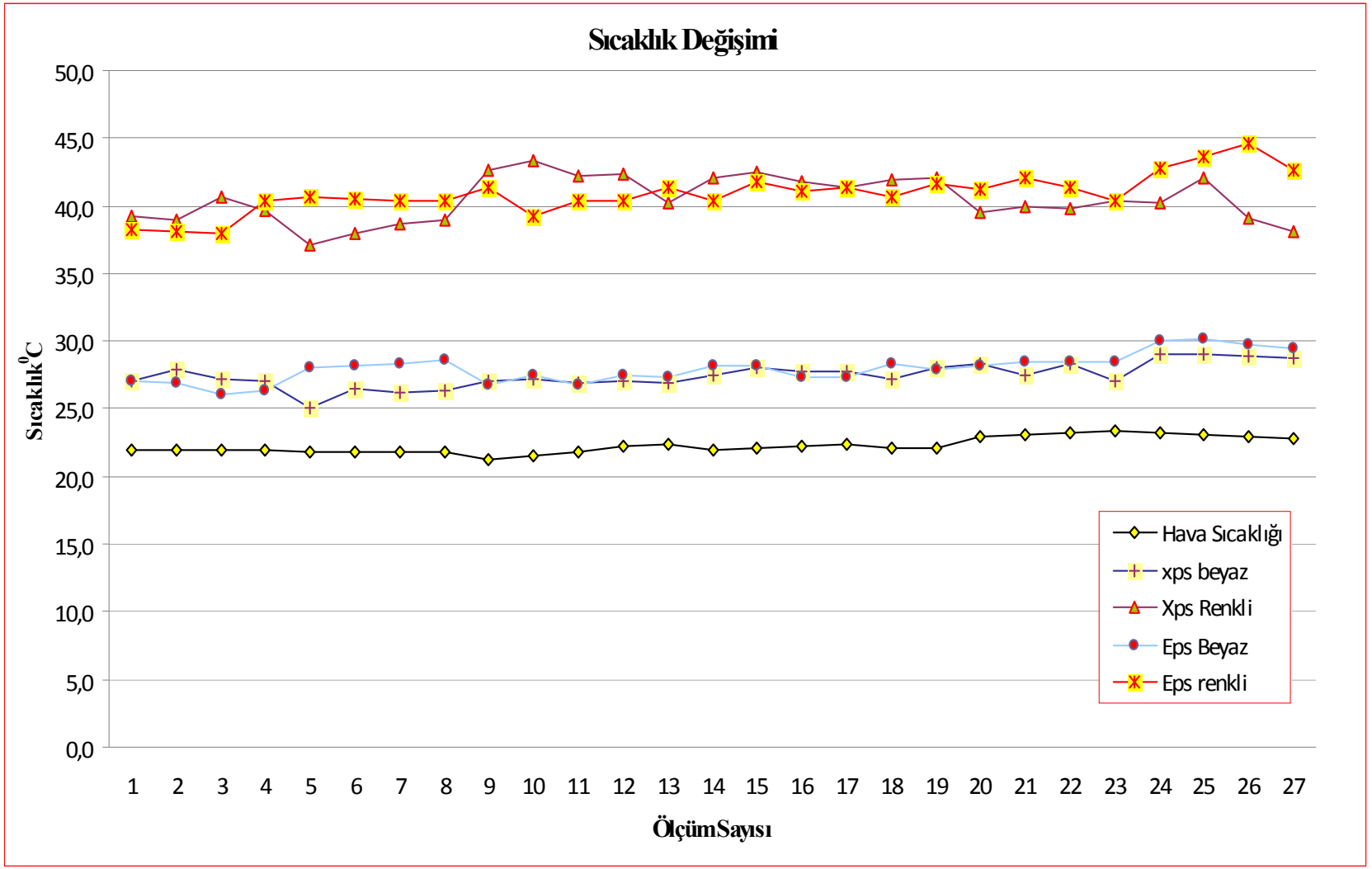
Beyaz renkli boyanın aydınlatma faktörü yüksek olduğu için güneşten üzerine gelen ışınların büyük bir kısmını geriye yansıtmaktadır. Bu yüzden aldığı sıcaklık değerleri kırmızı renkli boyaya nazaran çok daha düşüktür. Öğlen saatlerinde ölçülen sıcaklıklar Şekil 4.1'de verilmiştir. Ölçülen bu değerlerde renklere göre numune üzerindeki sıcaklık değerlerinin farkı bariz bir şekilde görülmektedir.

Tablo 4.2.' de ve Şekil 4.2.' de grafiksel olarak ölçülen sıcaklıklar günün akşam saatlerinde ölçülen sıcaklık değerleridir. Yani güneşin batmaya yakın olduğu sıradaki numunelerden ve ortamdan ölçülen sıcaklık değerleridir. Numunelerden ölçülen sıcaklık değerlerini akşam saatlerinde hava sıcaklığı ile aynı değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni güneşin direk olarak yüzeye gelmemesinden kaynaklanmaktadır.

Sıcaklık ölçümü için çevre şartlarına bırakılan numunelerden 4 tanesi Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi suni yaşlandırma sitemine de konulmuştur. Yaşlandırma cihazına konulan numunelerin hiç birinde 2 haftalık sürede her hangi bir çatlama tespiti yapılamamıştır. Yaşlandırma makinesindeki ve çevre şartlarındaki numunelerin çatlama takipleri devam etmektedir.

Tablo 4.1: Numunelerden öğlen saatlerinde (11:30-12:30) ölçülen sıcaklık değerleri.

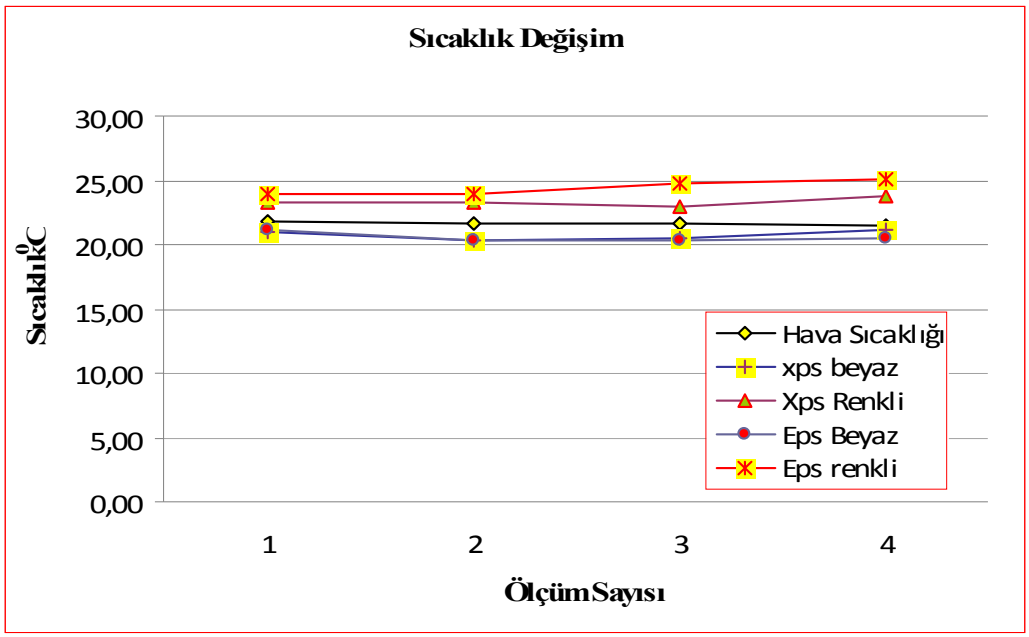
Ölçüm yeri	Öğlen Saatlerinde(11:30-12:30) Ölçülen Sıcaklıklar (°C)																											Ort. (°C)
Hava Sıcaklığı	22,0	22,0	22,0	22,0	21,8	21,8	21,8	21,8	21,3	21,8	22,0	22,2	22,2	22,4	22,4	22,0	22,0	22,3	22,4	22,1	23,2	23,4	23,2	23,1	22,9	22,9	**22,2**
Xps beyaz	27,0	27,9	27,2	27,1	25,1	26,5	26,2	26,3	27,1	26,9	27,0	27,0	27,3	26,9	27,0	27,5	28,1	27,8	27,7	27,6	28,3	27,1	29,0	29,0	28,9	28,7	**27,4**
Xps Renkli	39,2	39,0	40,7	39,6	37,1	38,0	38,7	39,0	42,7	42,2	41,6	42,3	40,3	40,2	41,0	42,1	42,5	41,8	41,3	41,3	39,8	40,3	40,2	42,0	39,1	38,1	**40,5**
Eps Beyaz	27,0	26,9	26,1	26,3	28,1	28,2	28,3	28,6	26,8	26,8	27,5	27,5	28,0	27,3	27,9	28,2	28,2	27,4	27,4	27,6	28,4	28,4	30,0	30,2	29,8	29,5	**27,9**
Eps renkli	38,3	38,1	38,0	40,4	40,7	40,5	40,3	40,4	41,4	40,3	41,4	40,4	40,4	41,4	41,1	40,4	41,8	41,1	41,4	40,9	41,4	40,3	42,8	43,6	44,6	42,7	**40,9**



Şekil 4.1: Numunelerden öğlen saatlerinde (11:30-12:30) ölçülen sıcaklık değerleri

Tablo 4.2: Günün akşam saatlerinde numunelerden ve ortamdan ölçülen sıcaklık değerleri.

Ölçülen yer	Akşam saatlerinde (17:00-17:30) ölçülen sıcaklık değerleri (°C)				Ort.
Hava Sıcaklığı	21,8	21,6	21,6	21,5	21,6
XPS Beyaz	21,0	20,4	20,5	21,1	20,8
XPS Renkli	23,2	23,3	22,9	23,7	23,3
EPS Beyaz	21,1	20,3	20,4	20,5	20,6
EPS Renkli	23,9	24,0	24,8	25,1	24,5



Şekil 4.2: Günün akşam saatlerinde numunelerden ve ortamdan ölçülen sıcaklık değerleri.

4.2. Üç Nokta Eğme Deneyi ile Mukavemet Değerlerinin Belirlenmesi

150x300 mm ebatlarındaki numuneler Şekil 3.7.'de görüldüğü bibi 3 nokta eğme deneyi ile eğme testine tabi tutulmuştur. Üç nokta eğme deneyi ile kırılan numunelerden alınan sonuçlar ve ortalama değerleri Tablo 4.3.' de verilmiştir.

Bu işlemde sıcaklık ölçümü için ortama konulan numunelerle birlikte 150x300 mm ebatlarında hazırlanan ve aynı ortamda aynı sürede bekletilen numunelerin üç nokta

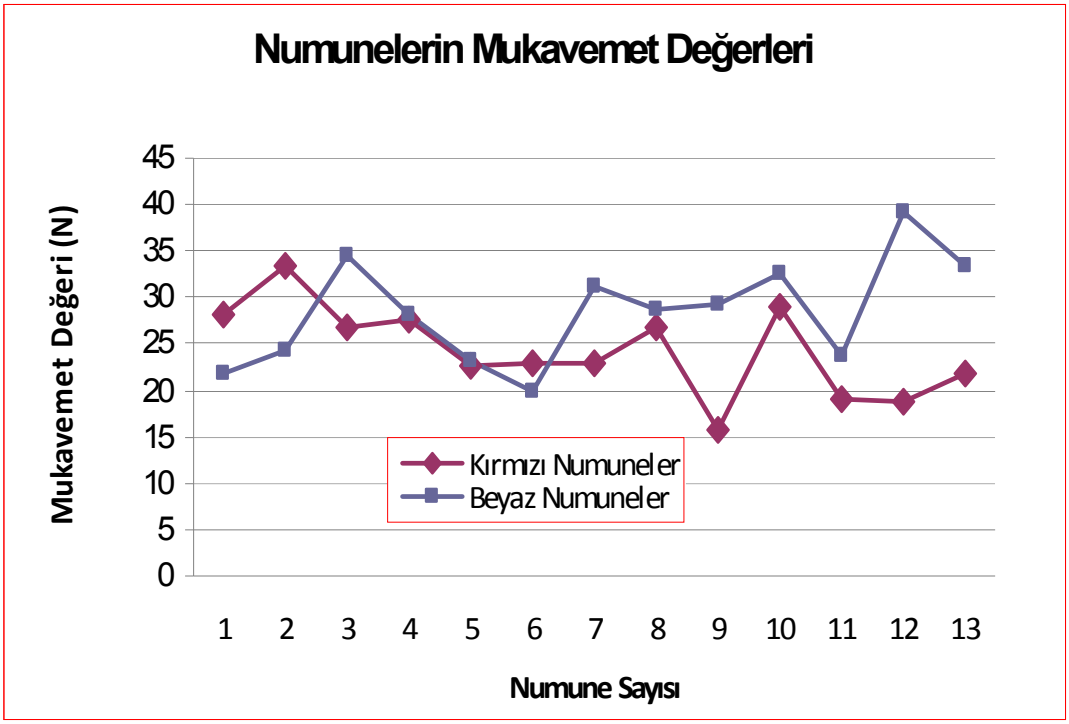
eğme deneyi ile kırılması sonucu elde edilen mukavemet değerlerin bulunması işlemi yapılmıştır.

Kırılacak numuneler, daha sonra sıvadan ayrılabilmesi için EPS levha üzerine uygulanmıştır. Kırma işlemi yapılmadan önce EPS levhalar ile sıvalar birbirinden ayrılmıştır. Şekil 3.5.' de bu işlemin nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Şekil 3.6.'da 150x300 mm ebatlarındaki numuneler görülmektedir. Bu numunelerden 13 adet kırmızı renkle boyanmış numune ve 13 adet beyaz renkle boyanmış numunedir.

Numuneler 5 ay süre ile çevre ortamında bırakılmıştır. Kırma işlemi (3 nokta eğme deneyi) Şekil 3.7.' de görünen ZWICK marka çekme basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Kırma işleminden alınan sonuçlar Tablo 4.3.'te ve Şekil 4.3.'te verilmiştir. Burada mukavemet için ölçülen N (Newton) birimindeki değer, numuneyi ölçmek için cihazın uyguladığı değerdir. Ölçülen bu sonuçlar incelendiğinde, ortalama değerlere bakıldığında kırmızı renkli boyaların uygulama kalınlıklarının ortalamasının büyük olmasına rağmen mukavemet değerlerinin son kat rengi beyaz olarak uygulanan numunelere göre daha düşük mukavemet değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Şekil 3.6.'da kırmızı renkli boyanmış numuneler ve beyaz renkli boyanmış numunelere ait mukavemet değerleri verilmektedir.

Tablo 4.3: Üç nokta eğme deneyi ile kırılan numunelerden alınan sonuçlar.

Kırmızı Renkli Numuneler		Beyaz Renkli Numuneler	
Kalınlık (mm)	Mukavemet (N)	Kalınlık (mm)	Mukavemet (N)
5,13	28,13	5,01	21,85
5,17	33,32	5,05	24,33
5,20	26,88	5,10	34,49
5,23	27,69	5,12	28,13
5,30	22,72	5,17	23,14
5,30	22,95	5,18	19,85
5,43	22,82	5,22	31,19
5,58	26,65	5,33	28,64
5,60	15,81	5,40	29,26
5,60	29,05	5,40	32,51
5,77	19,03	5,45	23,62
5,90	18,69	5,55	39,27
6,14	21,79	5,66	33,33
5,49 (Ort)	**24,27 (Ort)**	**5,28 (0rt)**	**28,43 (ort)**



Şekil 4.3: Üç nokta eğme deneyi ile kırılan numunelerden alınan sonuçlara ait grafik

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak hazırlanan numuneler çevre şartlarına bırakılmıştır. Ancak bu numunelerde çatlamalar görülmemiştir. Dolayısıyla bu numunelerden ölçülen sıcaklık farklılıkları EPS veya XPS levhaların her hangi birisinin levha birleşim yerinde çatlak oluşumuna sebep vermediği tespit edilmiştir.

Ancak yapılan eğme deneyi sonucunda koyu renklerle boyalı numunelerin yüzey sıcaklığının, yüksek değerlere çıkması sonucunda, Tablo 4.3.'teki ortalama değerlere bakıldığında görüldüğü gibi, bu yüzeydeki mukavemet değerini, beyaz boyalı yüzeylere oranla düşürdüğü görülmektedir.

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada dış cephe yüzeylerinin boyama renginin yüzeyde biriken ısının miktarını büyük ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Koyu renklerle boyanan yüzeylerin açık renklerle boyanan yüzeylere oranlar daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaştığı görülmüştür. Kırmızı renkle boyanmış yüzeylerin sıcaklık değerlerinin güneşin tepede olduğu durumlarda hava sıcaklığının iki katı değerlerine ulaştığı görülmektedir. Tablo 4.1.'de bu açık olarak görülmektedir. Dış cephe yüzeylerinin yoğun güneş ışınlarına maruz kalması, dış yüzeyde ısı birikmesine ve yüzey sıcaklığının çok yüksek değerlere ulaşmasına neden olmaktadır [28].

Tablo 4.2.'ye bakıldığında, akşam saatlerinde güneş ışınlarının yüzeylere direk gelmediği durumda numune yüzeylerindeki sıcaklıkların hava sıcaklığıyla eşit değerlerde olduğu görülmektedir. Buradan çıkarılacak diğer bir sonuç ise hava sıcaklığının yüksek olduğu bölgelerde dış cephe yüzeylerinin koyu renkli boyalar ile boyanmamasıdır. Koyu renkli boyalar ile boyanması durumunda, koyu renkli boyalar yüzeyin mukavemet değerini düşürmektedir. Tablo 4.3.'te elde edilen sonuçlar bunu göstermektedir.

Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.' de elde edilen sıcaklık sonuçlarının ortalaması değerlendirildiğinde EPS ile yapılan numunelerin hem beyaz renkle boyanmış ve hem de kırmızı renkle boyanmış numunelerin ortalama sıcaklıklarının, XPS ile hazırlanan numunelere oranla azda olsa daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç EPS ısı yalıtım levhasının ısı iletkenlik değeri XPS ısı yalıtım levhasına oranla daha düşük olduğudur. XPS levhalar sıvadan daha fazla ısı alıp iletebildiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Sıcaklık ölçümlerinden çıkarılacak diğer bir sonuç ise güneşin direk yüzeye ulaşacağı bölümler koyu renkli boyalar ile boyandığında yüzeyde birikecek sıcaklık değeri açık renkle boyanmış yüzeylere oranla daha yüksek olacaktır.

Dış cephe ısı yalıtım sistemleri ısı maliyetlerinde tasarruf sağlamaları nedeniyle faydalı olmaktadır. Ancak seçilecek malzemelerin çeşitlerine göre dış cephe ısı yalıtım sistemlerinin geri ödeme süreleri değişmektedir. Geri ödeme süresi en düşük ısı yalıtım malzemesi EPS' dir [4]. Tablo 2.5.'teki sonuçlar bakıldığında aynı yoğunluktaki EPS'nin maliyeti XPS'nin maliyetine oranla daha düşüktür. Ancak XPS' nin faydası daha az kalınlıkta daha fazla ısıl direnç göstermesidir.

Dış cephe ısı yalıtım sistemleri, XPS ısı yalıtım sistemleri ile oluşturulması istendiğinde maliyeti 30 Tl/m^2 olmaktadır. Ancak EPS ısı yalıtım levhaları kullanıldığında 25 Tl/m^2 değerlerine kadar düşmektedir. Isı yalıtım sistemleri 6 çeşit malzemeden meydana geldiği için her bir malzemenin seçiminde maliyet farklı seçildiğinden sistemin maliyeti bu oranda değişmektedir.

5.2. Öneriler

XPS'nin üretiminde kullanılan şişirme gazlarının doğaya zararlı gazlar olması bu ısı yalıtım levhasının tercihi için bir dezavantajdır. EPS ısı yalıtım levhasının üretiminde şişirme gazı olarak pentan gazı kullanılması, bu gazında doğaya herhangi bir zarar vermemesi ve üretimi takiben çok kısa sürelerde hava ile yer değiştirmesi bu ısı yalıtım levhalarını tercih sebebi yapmaktadır.

Yapılan çalışmada Güneş ışınlarının direk olarak yüzeye geldiği yerlerde koyu renkli boya kullanımı sakıncalıdır. Çünkü buralarda sıcaklık değerleri hava sıcaklığının iki katına kadar çıkabilmektedir. Açık renkli boya seçilmesi bu yüzeylerde sıcaklıkların çok fazla yükselmesini önlemektedir. Sıcaklığın yüksek olması sıvanın mukavemetini azda olsa düşürmektedir. Dolayısıyla Güneş ışınlarının direk geldiği yerlerde açık renkli boyalar kullanılmalıdır.

Koyu renkli boyalar sıcaklıkların düşük olduğu yerlerde Güneş ışınlarının direk gelmediği yerlerde ve sıcaklık birikimine ihtiyaç olan yerlerde kullanılmalıdır. Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemlerinin uygulamasında ısı yalıtım levhaları arası boşlukların bırakılmamasına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Dağsöz, A., K., "Enerji Tasarrufu Önlemleri", ***İstanbul,*** 2001.

[2] Bonin, K**, "**Optimum Insulation For Ewery Wall", ***Wacker World Wide Corporate Magazine,***1.8,34-39, *2008.*

[3] Young, S. J., Hyun, J.C., Kyoung, W. K., "***A study on the thermal conductivity of resilient materials"*** 2008.

[4] Yu, J., Yang, C.,Tian, L.,Liao, D. "***A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China***", 2008.

[5] 2007, Isı yalıtımında Expanded Polystyren (EPS) Beyaz Güç, http://www.pud.org.tr/DC/Dokumanlar/19ddb16913064f7083653a5807c78519.pdf, **(Ziyaret Tarihi: 05 Haziran 2009).**

[6] Amianti,M., Botaro,V.,R., "***Recycling of EPS: A new methodology for production of concrete impregnated with polystyrene (CIP)",*** 2007.

[7] 2008, Grafit Refrektörlü EPS, http://www.pud.org.tr/DC/Dokumanlar/a907489aa4e04ec8ad01ca813e39c99e.pdf, **(Ziyaret Tarihi:13.01.2010).**

[8] Yemez, R., "Poliüretan Esaslı Isı Yalıtım Yapıştırıcısı", ***Çatı ve Cephe,*** 22-23, 1306-5355, 2007.

[9] Türk Standartları Enstitüsü, ***TS EN 13163***, "Isı yalıtım Mamülleri – Binalar İçin- Fabrikasyon Olarak İmal Edilen- Genleştirilmiş Polistiren Köpük – Özellikleri",2006.

[10] Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, "Türkiye'de Yalıtım Gerçeği", ***İstanbul,*** 2006.

[11] Aydın, S., Baradan B., "***Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars***" 2007.

[12] Mıhlayanlar,E., Dilmaç, Ş., Güner,A., "***Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity***", 2007.

[13] Isı Yalıtım Sanayicileri Derneği, Extrude Polistiren, http://www.xpsturkiye.org/xpsnedir.html., (**Ziyaret Tarihi: 09 Mayıs 2009)**.

[14] Avcı, A., Yüksel, N., "Gözenekli Yalıtım Malzemelerinde Değişik Parametrelerin Efektif Isıl İletkenliğine Etkileri", ***İzolasyon*****,** 68-71, 1304-3749, 2009.

[15] İbrahim Y.Y., Yapı Elamanlarının Özgül Isılarının ve Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayılarının Belirlenmesi, Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,*** İzmir, 2007.

[16] Öztürk, M, "Mevcut Ve Yeni Binalarda Isı Kayıplarının Önlenmesinde Dikkat Edilecek Hususlar", ***İstanbul***.

[17] The Metarials İntormation Sociaty, ASM Handbook, ***Engineered Metarials Reference Book***, 434.

[38] Dilmaç Şükran, Polistiren Köpüklerin Karşılaştırılması**,** http://www.delledekor.com/tech.asp, (**Ziyaret Tarihi: 06 Haziran 2009).**

[19] Tüysüzoğlu B., Tubitak Bilim ve Teknik Dergisi**,** CFC'nin ozon tabakasına etkisi,http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=9&soru_id=4258, (**Ziyaret Tarihi 29 Aralık 2009).**

[20] Morsy M.S., Aglan H.A., Abd El Razek M.M.", ***Nanostructured zonolite–cementitious surface compounds for thermal insulation",*** 2007.

[21] Moussios, D., "Insulating Aganist The Desert Climate" ***Wacker World Wide Corporate Magazine,*** 1.9,34-39, 2009.

[22] Güneş, S., Betonsa A.Ş, Hazır Yaş Sıvanın Üretimi Kalite Kontrolü ve Deneysel Çalışması, **Betonsa A.Ş.,** İstanbul, 2007.

[23] Lutz, H., "The Function Of Redispersible Powders İn Cement Based Termal İnsulation System For Cold And Hot Climate Countries", ***Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Denetimi-Yalıtım Kongresi ve Sergis*i**,** İZODER, 35-41 İstanbul, 11-12 Ekim (2004).

[24] Paksoy, A. S., "Boya El Kitabı", ***Türk Mühendis Ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi***, 975-395-314-3, 1999.

[25] Gündüz, G., "Boya Teknolojisindeki Yeni Yönelimler", ***7. Uluslar Arası Boya Ve Yardımcı Maddeler Sanayi Kongresi BOYA //PAİNT,*** Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul, 22-29, 2008.

[26] Kruba, L, Stucker,P, "Quit Gassing" ***European Coatings*****,**12,40-44,2007.

[27] Gündüz, G., "Boya Bilgisi", ***Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Ankara,*** 975-395-829-3.

[28] Altuntop, N., Güneş, S., "Binalarda Isı Yalıtım Uygulamasının Yaz Aylarındaki Faydası Ve Uyku Konforuna Etkisi", ***İzolasyon***, 64-66, 1304-3749, 2008.

[29] Placido E., Arduini-Schuster, M.C. Kuhn J., "***Thermal properties predictive model for insulating foams***", 2003.

[30] Dağsöz, A. K., Demirkale, S., Parmaksızoğlu, C., İZOCAM, "Isı+Ses+ Yangın İzolasyon," ***İstanbul.***

[31] Göktaş, R., Keskinkol, M., "Isı Yalıtım Gerçeği ve Yapı Kimyasallarının Önemi", ***Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Denetimi-Yalıtım Kongresi ve Sergis*i,** İZODER, 309-313 İstanbul, 11-12 Ekim (2004).

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Hatay'da doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Hatay'da tamamladı. 1998 yılında kazandığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında mezun oldu. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilimdalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004 yılında Betek Boya ve Kimya A.Ş'de Kalite Kontrol Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2007 de askerlik hizmetini tamamladı. Halen Betek Boya ve Kimya A.Ş.'de Ürün Kalite Uzmanı olarak çalışmakta olup, evli ve bir çocuk babasıdır.