

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAYGIN
KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazife ÖZER

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAYGIN
KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nazife ÖZER
(502151522)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502151522 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nazife ÖZER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAYGIN KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Kasım 2017**
Savunma Tarihi : **14 Aralık 2017**





Eşime,



ÖNSÖZ

Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin ortaya koyulması ve yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılması amacıyla yapılan bu tez İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 40208 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmada bana yol gösteren başta danışman hocam Sayın Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER olmak üzere tüm hocalarıma ve manevi desteklerinden ötürü sevgili eşime teşekkür ederim.

Aralık 2017

Nazife ÖZER
Mimar



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımlanması	2
1.2 Amaç ve Kapsam	2
1.3 Yöntem.....	3
2. ATIK VE ATIK YÖNETİMİ KAVRAMI	5
2.1 Avrupa Birliği'nde Atıklara Yönelik Yasal Düzenlemeler	7
2.2 Türkiye'de Atıklara Yönelik Yasal Düzenlemeler	8
2.3 Atıkların Sınıflandırılması	9
2.4 Avrupa Birliği ve Türkiye'de Atıkların Geri Dönüşümü, Geri Kazanımı ve Bertarafı	10
3. ISI KAVRAMI VE ISI YALITIM MALZEMESİ	15
3.1 Isı Kavramı.....	15
3.2 Isı Yalıtım Malzemesi ve Tarihsel Gelişim Süreci	18
3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranan Özellikler.....	21
3.3.1 Termik özellikler.....	21
3.3.1.1 Isı iletkenlik	21
3.3.1.2 Yangın dayanımı	21
3.3.2 Fiziksel özellikler.....	22
3.3.2.1 Birim hacim kütle	23
3.3.2.2 Su emilimi	23
3.3.2.3 Buhar geçirgenlik direnci.....	23
3.3.3 Mekanik özellikler	24
3.3.3.1 Basınç dayanımı.....	24
3.3.4 Kimyasal etkilere dayanıklılık	25
3.3.5 Parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık	25
3.3.6 Çürümezlik.....	25
3.3.7 İşlenebilirlik	25
3.3.8 Maliyet	25
3.4 Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması	25
3.4.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler	27
3.4.1.1 Genleştirilmiş perlit (EP) ve genleştirilmiş perlit levhası (EPB).....	27
3.4.1.2 Genleştirilmiş vermikülit (EV)	28

3.4.1.3 Mineral yünler (MW).....	29
3.4.1.4 Cam köpüğü (CG).....	31
3.4.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler	32
3.4.2.1 Ahşap yünü levha (WF).....	32
3.4.2.2 Ahşap lifli levha (WW).....	32
3.4.2.3 Genleştirilmiş mantar levha (ICB).....	33
3.4.2.4 Gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCI)	34
3.4.2.5 Kenevir.....	34
3.4.2.6 Ekstrüde polistren köpük levha (XPS).....	35
3.4.2.7 Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS).....	36
3.4.2.8 Poliüretan sert köpük levha (PUR)	36
3.4.2.9 Fenolik köpük levha (PF).....	37
3.4.3 İleri teknoloji ürünler	38
3.4.3.1 Aerojel.....	38
3.4.3.2 Vakum yalıtım paneli (VYP).....	39
3.5 Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması	42
3.5.1 Termik özellikler.....	42
3.5.1.1 Isı iletkenlik	42
3.5.1.2 Yangın dayanımı	43
3.5.2 Fiziksel özellikler.....	44
3.5.2.1 Birim hacim kütle	44
3.5.2.2 Su emilimi	46
3.5.2.3 Buhar difüzyon direnci	47
3.5.3 Mekanik özellikler	49
3.5.3.1 Basınç dayanımı.....	49
3.5.4 Kimyasallara karşı dayanıklılık, parazit barındırmama ve çürümezlik	50
3.5.5 İşlenebilirlik ve maliyet	51
4. ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN	
İNCELENMESİ.....	53
4.1 İnorganik Kökenli Atıklar İle Üretilenler	53
4.1.1 Atık cam.....	53
4.1.2 Atık cam ve uçucukül	54
4.1.3 Feldspatik atık.....	55
4.2 Organik Kökenli Atıklar İle Üretilenler.....	55
4.2.1 Anız (kireç, alçı, çimento bağlayıcılı)	56
4.2.2 Atık pamuk sapsarı (bağlayıcısız)	56
4.2.3 Hindistan cevizi lifi ve şeker kamışı üretim atığı	57
4.2.4 Ayçiçeği sapsarı (yatay ve dikey levhalar).....	57
4.2.5 Ayçiçeği sapsarı, tekstil atığı, anız (alçı veya epoksi bağlayıcılı).....	58
4.2.6 Ayçiçeği sapsarı (kitosan bağlayıcılı)	59
4.2.7 Atık ahşap talaş ve perlit (üreformaldehit bağlayıcılı)	60
4.2.8 Atık ahşap talaş ve atık kauçuk (poliüretan bağlayıcılı).....	60
4.2.9 Tekstil atığı (hidrolik kireç bağlayıcılı)	61
4.2.10 Tekstil atığı (sentetik lif bağlayıcılı).....	62
4.2.11 Tekstil atığı (keçe şeklinde).....	62
4.2.12 Polyester lif atığı (sentetik lif bağlayıcılı)	63
4.2.13 Zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC (epoksi veya alçı bağ.) ..	63
4.2.14 Anız, atık kâğıt, kenevir (gevşek dolgu şeklinde)	64
4.2.15 Mısır koçanı (epoksi veya çimento-alçı bağlayıcılı).....	64
4.2.16 Soğan ve yer fıstığı kabuğu, uçucukül (çimento veya alçı bağlayıcılı) ..	65

4.2.17 Hurma ağacı lifi (alçı bağlayıcılı).....	66
4.2.18 Hurma ağacı lifi (mısır nişastası bağlayıcılı).....	67
5. ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAYGIN KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI	71
5.1 Isı iletkenlik Açısından Karşılaştırma.....	71
5.1.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler	71
5.1.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler	72
5.2 Birim Hacim Kütle Açısından Karşılaştırma	77
5.2.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler	77
5.2.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler	77
5.3 Basınç Dayanımı Açısından Karşılaştırma	81
5.3.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler	81
5.3.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler	81
5.4 Su Emilimi Açısından Karşılaştırma	85
5.4.1 İnorganik hammadde ile üretilenler	85
5.4.2 Organik hammadde ile üretilenler	85
5.5 Buhar Difüzyon Direnci Açısından Karşılaştırma	87
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
6.1 Sonuç	89
6.2 Öneriler	91
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	99



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
CG	: Cam köpüğü
EP	: Genleştirilmiş perlit
EPB	: Genleştirilmiş perlit levha
EPS	: Genleştirilmiş polistren köpük levha
EV	: Genleştirilmiş vermikülit
ICB	: Genleştirilmiş mantar levha
LFCI	: Gevşek dolgu selüloz yalıtım
MW	: Mineral yünler
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü
PF	: Fenolik köpük
PUR	: Poliüretan sert köpük levha
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VYP	: Vakum yalıtım paneli
WF	: Ahşap yünü levha
WW	: Ahşap lifli levha
XPS	: Ekstrüde polistren köpük levha



SEMBOLLER

°C	: Santigrat derece
d	: Malzeme kalınlığı (m)
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
kPa	: Kilopaskal
λ	: Isı iletkenlik katsayısı (W/m.°C veya W/m.K)
m	: Metre
Q	: Isı akımı (W/m ²)
R	: Isı geçirgenlik direnci (m ² .°C/W)
t₁	: Malzemenin yüksek sıcaklıktaki yüzeyinin sıcaklığı (°C)
t₂	: Malzemenin düşük sıcaklıktaki yüzeyinin sıcaklığı (°C)
W	: Watt
μ	: Buhar geçirgenlik direnç faktörü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Avrupa Birliği'nde atıklara yönelik yasal düzenlemeler.	8
Çizelge 2.2 : Türkiye'de atıklara yönelik yasal düzenlemeler.	9
Çizelge 3.1 : Isı yalıtım malzemelerinin tarihsel gelişim süreci.	19
Çizelge 3.2 : Isı yalıtım malzemelerinin düzenlendiği Türk Standartları.	26
Çizelge 3.3 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri ve ilgili Türk Standartları.	41
Çizelge 3.4 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin yangın dayanım sınıfları	44
Çizelge 3.5 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin su emmesi.	46
Çizelge 3.6 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin kimyasal etkilere dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik özellikleri.	50
Çizelge 3.7 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin işlenebilirlik ve maliyet değerlendirmesi.	51
Çizelge 4.1 : Ayçiçeği sapından üretilen ısı yalıtım levhalarının özellikleri.	58
Çizelge 4.2 : Tekstil atığı (sentetik elyaf bağlayıcı) kullanılarak üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.	62
Çizelge 4.3 : Anız, atık kâğıt ve kenevir liflerinden gevşek dolgu şeklinde üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.	64
Çizelge 4.4 : Soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve uçucukülden üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.	66
Çizelge 4.5 : Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.	68
Çizelge 5.1 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.	72
Çizelge 5.2 : Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.	73
Çizelge 5.3 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.	77
Çizelge 5.4 : Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.	78
Çizelge 5.5 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.	81
Çizelge 5.6 : Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.	82
Çizelge 5.7 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin su emilimi değerlendirmesi.	85
Çizelge 5.8 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin su emilimi değerlendirmesi.	86



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : OECD Ülkelerinde 1973 yılından beri enerji verimliliği konusundaki çalışmalar sayesinde elde edilen toplam tasarruf.....	1
Şekil 1.2 : Sektörlere göre nihai enerji tüketimi.....	2
Şekil 2.1 : Atık tanımlama şeması.....	5
Şekil 2.2 : Düzenli depolamanın havayı ve yeraltı suyunu kirletmesi	6
Şekil 2.3 : Atık hiyerarşisi.....	7
Şekil 2.4 : Kentsel katı atık kompozisyonu sınıflandırması.....	9
Şekil 2.5 : AB 28 ülkelerinde 2014 yılı için ekonomik faaliyetler sonucu oluşan ve evsel nitelikli atık istatistikleri	10
Şekil 2.6 : Atık yönetim yönetmeliğinde atıkların sınıflandırılması.....	11
Şekil 2.7 : AB 28 ülkelerinde 2004-2014 yılları arası atık değerlendirme yöntem istatistikleri.....	12
Şekil 3.1 : Hücresel ve lifsel yapılı bir ısı yalıtım malzemesi kesitinde ısı taşınımının şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.2 : Eş liflerle üretilen ısı yalıtım malzemesinin iki yüzeyi arasında değişen sıcaklık farkları için optimum yoğunluk grafiği.....	18
Şekil 3.3 : Türkiye’de ısı yalıtımı uygulamaları için yapılan düzenlemelerin tarihsel akış süreci.....	20
Şekil 3.4 : Ahşap karkas sistem duvarda yanıcı lifsel ısı yalıtım etrafına yangın bariyeri oluşturulması.....	22
Şekil 3.5 : Duvarda ısı yalıtım malzemesi ve buhar kesicinin yerleri.....	24
Şekil 3.6 : Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması.....	26
Şekil 3.7 : Ham perlit, kırılmış perlit ve geliştirilmiş perlit.....	27
Şekil 3.8 : Genleştirilmiş perlit levhası (EPB) üretim şeması.....	28
Şekil 3.9 : Vermikülit kayacı, kırılmış vermikülit ve geliştirilmiş vermikülit.....	28
Şekil 3.10 : Mineral yünler üretim şeması.....	29
Şekil 3.11 : Camyünü ısı yalıtım şiltesi ve levhası.....	30
Şekil 3.12 : Taşyünü ısı yalıtım şiltesi ve levhası.....	30
Şekil 3.13 : Cam köpüğü ısı yalıtım levhası üretim şeması.....	31
Şekil 3.14 : Cam köpüğü ısı yalıtım levhası ve sıcak bitüm ile uygulanması.....	31
Şekil 3.15 : Ahşap yünü levha ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve malzeme örneği.....	32
Şekil 3.16 : Ahşap lifli levha ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.....	33
Şekil 3.17 : Ahşap lifli levha malzeme örneği.....	33
Şekil 3.18 : Genleştirilmiş mantar levha üretim şeması ve malzeme örneği.....	33
Şekil 3.19 : Gevşek dolgu selüloz yalıtım ve uygulama örneği.....	34
Şekil 3.20 : Kenevir bitkisi, kenevir yalıtım malzemesi ve uygulama örneği.....	34

Şekil 3.21 : XPS üretim şeması.	35
Şekil 3.22 : XPS malzeme ve uygulama örneği.	35
Şekil 3.23 : EPS üretim şeması.....	36
Şekil 3.24 : Polistren tanecikleri, genişletilmiş polistren tanecikleri ve EPS.	36
Şekil 3.25 : PUR sert köpük levha üretim şeması.	37
Şekil 3.26 : PUR sert köpük levha malzeme örneği.....	37
Şekil 3.27 : Fenolik köpük levha üretim şeması ve malzeme örneği.	38
Şekil 3.28 : Aerojel ısı yalıtım örtüsü.....	39
Şekil 3.29 : Vakum yalıtım paneli ve prensip şeması.	40
Şekil 3.30 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.	42
Şekil 3.31 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.	45
Şekil 3.32 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek buhar difüzyon direnci.	48
Şekil 3.33 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.....	49
Şekil 4.1 : İncelenen çalışmaların sınıflandırılması.	53
Şekil 4.2 : Atık camdan üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği.	54
Şekil 4.3 : Atık cam ve uçucükülden üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği.....	54
Şekil 4.4 : Feldspatik atıktan üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği	55
Şekil 4.5 : Atık pamuk saplarından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.....	56
Şekil 4.6 : Hindistan cevizi lifi ve şeker kamışı üretim atığından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.	57
Şekil 4.7 : Ayçiçeği sapından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.....	58
Şekil 4.8 : Ayçiçeği sapı, anız ve tekstil atığı kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri.....	59
Şekil 4.9 : Ayçiçeği sapı ve kitosan bağlayıcı kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri.....	59
Şekil 4.10 : Atık ahşap talaş ve perlitten üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği.....	60
Şekil 4.11 : Atık ahşap talaş ve atık kauçuktan ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri.	61
Şekil 4.12 : Tekstil lif atığından hidrolik kireç bağlayıcılı malzeme üretim şeması ve numune örnekleri.	61
Şekil 4.13 : Tekstil atığından keçe şeklinde ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri.	63
Şekil 4.14 : Tekstil lif atığından keçe şeklinde malzeme üretim şeması ve numune örneği.	63
Şekil 4.15 : Zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC ile ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri.	64
Şekil 4.16 : Mısır koçanından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri.	65
Şekil 4.17 : Soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve uçucükülden ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri	66
Şekil 4.18 : Hurma ağacı lif atığından alçı bağlayıcılı ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.....	67

Şekil 4.19 : Hurma ağacı lif atığından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.	67
Şekil 5.1 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtımların türlerine göre en düşük ısı iletkenliği.	76
Şekil 5.2 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin türlerine göre en düşük birim hacim kütlesi.	80
Şekil 5.3 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtımların türlerine göre en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.	84
Şekil 5.4 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin buhar difüzyon direnci.	87





ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAYGIN KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Yenilenemeyen kaynakların hızlı bir şekilde tüketildiği günümüzde atıkların geri dönüşümü önem kazanmıştır. Bu bağlamda ülkeler geri dönüşüm bilincini geliştirmek için çeşitli yasal düzenlemeler yapmaktadır. Malzeme üretim süreci içerisinde atıkların hammadde olarak değerlendirilmesi hem kaynak tüketimini azaltmakta hemde maliyeti en aza indirmektedir. Kaynak tüketiminin fazla olduğu yapı malzemesi üretimi alanında da çeşitli atıkların alternatif ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılması bu açıdan önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı; atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin performans özelliklerinin belirlenerek piyasada yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri ortaya koyulmuş ve daha sonra karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda çok çeşitli inorganik ve organik kökenli atığın ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılabildiği görülmektedir. İncelenen çalışmalardaki söz konusu atıklar çoğunlukla organik kökenli atıklardır. İnorganik kökenli atıklarla yapılan çalışmalar genel olarak organik kökenli atıklarla yapılan çalışmalara göre daha fazla enerji tüketimine neden olan yüksek ısıl işlemler gerektirmektedir.

Isı iletkenlik açısından inorganik ve organik kökenli atıklardan üretilen ısı yalıtımların ısı iletkenlik değerlerinin benzerdir. Ancak düşük ısı iletkenliğe sahip organik kökenli atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemeleri, inorganik kökenlilere göre çok daha düşük birim hacim kütlelerine ve basınç dayanımına sahiptir. İnorganik kökenli atıklarla üretilen ısı yalıtım malzemeleri yaygın kullanılan inorganik kökenli ısı yalıtımlara benzer ısı iletkenlik değerine sahipken, atıklardan üretilenlerin birim hacim kütlesi daha yüksek olduğu görülmektedir. Organik esaslı doğal ısı yalıtımlar arasında özellikle alçı veya çimento bağlayıcı ile üretilen malzemelerin birim hacim kütlesi epoksi, kitosan ve sentetik elyaf bağlayıcı ile üretilen malzemelere göre oldukça yüksektir.

Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik, birim hacim kütle, basınç dayanımı, su emilimi ve buhar difüzyon direnci yanısıra; yangın dayanımı, işlenebilirlik ve malzemenin uzun dönem performansını belirleyen kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, parazitler karşısındaki davranışı, çürüme durumu gibi malzeme özelliklerinin ortaya koyulmasında yarar vardır. Atıklardan üretilen ve ısı yalıtım malzemesi özelliği gösteren malzemelerin performans değerlendirmeleri çeşitli yapı kesitleri üzerinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi önerilmektedir.



COMPARISON OF THERMAL INSULATION MATERIALS PRODUCED FROM WASTE WITH COMMONLY USED THERMAL INSULATION MATERIALS

SUMMARY

The purpose of this study is to determine the characteristics of the thermal insulation materials produced from the waste and compare them with commonly used thermal insulation materials in terms of performance. The study is generally based on literature research and the thesis work flow can be summarized as follows:

- In the first chapter, the definition of purpose, scope and method of work;
- In the second chapter, the concept of waste and waste management is examined;
- In the third chapter, the concept of heat and heat is examined and the properties of commonly used thermal insulation materials are explained;
- In the fourth chapter, the studies on the production of waste thermal insulation material and the properties of these materials are presented;
- In the fifth chapter, it is compared with commonly used thermal insulation materials of new thermal insulation materials produced with waste;
- In the last chapter, the results of the study and suggestions are given.

Recycling of waste has become important nowadays because of the fact that non-renewable resources are consumed quickly. In this respect, the governments try to raise awareness of waste-free production and recycling with various regulations. As an alternative recycling method, this paper suggests that various waste can also be used in the production of alternative thermal insulation materials in the field of building material production, where resource consumption is high. According to environmental codes, waste is defined as any substance that occurs as a result of any activity and is thrown into or left in the environment afterwards. Collecting, storing, and destroying processes after the formation of the waste influence the environment at various levels depending on the method applied. Landfilling is preferred due to the low cost, but soil and water resources in these areas can be polluted. In many countries, there is a law governing how the waste should be handled in a sustainable way. This basic law is supported by a number of regulations, such as naming, recording, identifying recycling opportunities, and planning recycling or reduction goals. The primary auditor and governmental department of such applications is The Ministry of Environment.

Waste management is defined as the collection, transport, recovery, disposal and control of post-disposal sites and similar processes in the Directive 2008/98 / EC of the European Parliament and of the Council of 2008. The most important element of waste management is waste management hierarchy. According to the waste management hierarchy, preventing the production of waste at the source is the ideal

waste management step. In the hierarchical approach, waste is reused, recycled, energy recovery, and disposed, respectively. In the literature, waste is classified according to various criteria like consumption, distribution, production, physical and chemical properties etc. As a part of the adaptation process to the European Union, Turkey has accepted the European Waste List and included it in the Waste Management Regulation No. 29314 in which waste are classified under 20 main headings. Under each heading, various waste is identified and classified with a six-digit code number. Hazardous conditions of all waste are also indicated. Out of 839 types of waste defined, 405 are labeled as hazardous waste and 434 as non-hazardous waste. However, waste management regulations do not include gas waste released into the atmosphere, radioactive waste, waste from stone quarry operations, mineral waste, animal waste, agricultural waste, wastewater except liquid waste, end-of-life exploiters for the exploration, extraction, processing and storage of mineral resources. Nevertheless, alternative methods such as waste recycling and energy recovery, make it possible to reduce the environmental impact of the waste and increase its economic value. Besides the social awareness, especially the regulations made by the government have a great influence on these developments.

Heat; is the energy transferred from one mass to another by the effect of the temperature difference existing between two masses. Thermal insulation materials are low thermal conductivity coefficient materials used to control heat transfer between two surfaces at different temperatures. Correct insulation of the structure can prevent building damage such as moisture damage, mold, etc. which may occur in the building shell in the future.

Thermal insulation materials are important because they provide a comfortable living space for human health. Excessive energy consumption and the surge in the price of fossil fuels that came with the industrial revolution in the late 19th century caused a worldwide energy crisis. In this period, as energy saving consciousness and heat losses started to be calculated, the industrial production and use of thermal insulation materials started. In the 1950s, the use of plastics in the insulation material sector has increased considerably. After 2000, the environmental effects of the gases used in the production of plastic foam materials became noticeable and eventually gave way to natural materials. In the 90s, the frames of buildings in Turkey have been changed to double glazing. This energy saving awareness can be regarded as the first step in the field of construction. Although the insulation industry started about 200 years, Turkey produced the first thermal insulation material production in 1967. Later, industrial developments have led to the production of polymer based foams and fiber materials.

Low thermal conductivity is undoubtedly one of the most important properties of thermal insulation materials. However, compressive strength and fire behavior also gains importance depending on the application. Today, the present thermal insulation materials meet almost all requirements in many different areas, but there is no thermal insulation material that perfectly meets all requirements. For the thermal insulation materials; thermal properties are low thermal conductivity, fire resistance; physical properties are low unit mass, water absorption, vapor diffusion resistance; the mechanical property is compressive strength. In addition to these, chemical resistance, resistance to parasites, resistance to decay, workability and low cost are the other properties required. We also see that thermal insulation materials can be classified in various forms in the literature. In this study, they are classified into two main groups as inorganic and organic according to the origin of their raw materials. These are then subdivided into natural and synthetic ones depending on the processing process. Raw

materials remain unchanged in products that are 'natural'. Additionally, some of the natural thermal insulation materials include additives such as fire-retardant additives or binding materials, and in order to classify such materials as 'natural', it is desirable that these additives should not exceed 25% of the material.

As a result, it can be seen that a wide variety of inorganic and organic waste can be used in the production of thermal insulation materials. Processing inorganic waste generally requires high heat treatments, which bring about more energy consumption, compared to processing organic waste. Also, in the literature the number of studies carried out with organic waste is considerably higher than the studies with inorganic waste. In terms of thermal conductivity, thermal insulation materials produced from inorganic and organic waste are similar. However, organic waste adds lower unit weight and compressive strength than inorganic ones unit. Considering organic waste, the materials produced with gypsum or cement binder, the unit weight is considerably higher than materials produced with the epoxy, chitosan and synthetic fiber binder.

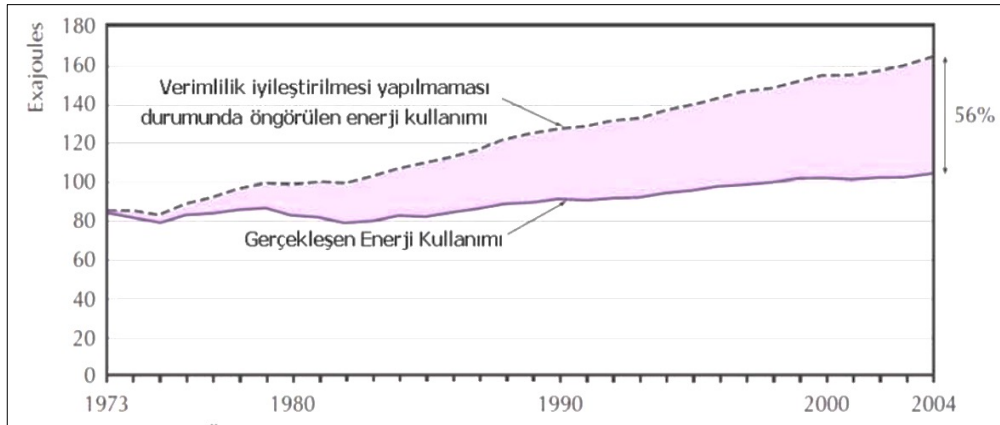
Researchers working on the production of thermal insulation materials with waste have generally determined material properties as the thermal conductivity, unit weight, water absorption, compressive strength and vapor diffusion resistance. It is suggested that fire resistance, workability and properties of long-term performance of materials as resistance to chemical effects, behavior against parasites, resistance to decay should be investigated. It is also suggested that these materials should be evaluated in various building sections for their performance in order to determine their usability in market.



1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca tasarruf bilinci ve sürdürülebilirlik anlayışı hep var olmuştur. Örneğin Amerikan yerli halklarından Iroquoisler önemli kararlarını kendilerinden sonraki yedi nesli gözeterek almışlardır. Amerika'nın yerli kültürlerine atfedilen bir söz şöyle der: "Dünya'yı atalarımızdan miras almadık, çocuklarımızdan emanet aldık [1]."

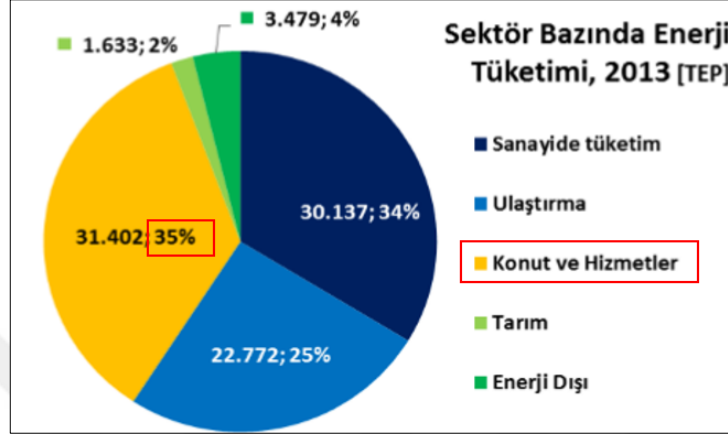
Endüstri devriminden günümüze kadar, insan aktivitesi ve ormancılık sonucu oluşan karbondioksit salınımları hariç, küresel karbondioksit salınımı daha önce olmadığı kadar artmıştır. Özellikle fosil yakıtların kullanımı sonucu atmosfere salınan CO₂ küresel ısınmaya neden olmaktadır. Yapılan araştırmalara göre 1990 yılından 2013 yılına kadar küresel CO₂ salınımı %42 oranında artmıştır [2, 3,4]. Günümüzde sera gazı salınımını azaltmak ve engellemek için çeşitli yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (OECD) ülkelerinde 1973 petrol krizinin ardından çeşitli enerji verimliliği politikaları uygulamaya koyulmuştur. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi bu politikalar 2004 yılına kadar 31 yılda yaklaşık %56'lık enerji tasarrufu sağlamıştır [5].



Şekil 1.1 : OECD Ülkelerinde 1973 yılından beri enerji verimliliği konusundaki çalışmalar sayesinde elde edilen toplam tasarruf [5].

Enerji uzmanlarına göre küresel enerji tüketimi 35 yıl öncesine göre %30 kadar artmıştır ve 2030'lu yıllarda bu ihtiyacın %60 sınırını aşacağı tahmin edilmektedir [6]. Türkiye'de 2013 yılında en fazla enerji tüketen sektör, nihai enerji tüketiminin %35'ini

gerçekleştiren konut ve hizmet sektörü olmuştur (Şekil 1.2). Sektörel bazda bakıldığında çok fazla enerji harcanan konut sektörü, enerjinin verimli kullanılmasını ve tasarrufunu sağlayan ısı yalıtımının önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. Enerji tasarrufu sağlayan ısı yalıtım malzemeleri ilk yatırım maliyeti yüksek olsada uzun vadede ekonomik yarar getirmektedir.



Şekil 1.2 : Sektörlere göre nihai enerji tüketimi [7].

Sınırlı enerji ve hammadde kaynaklara sahip olduğumuz düşünüldüğünde, yapı malzemesi üretiminde harcanan enerjinin tasarrufu ve malzeme israfının önlenmesi büyük bir öneme sahiptir.

1.1 Problemin Tanımlanması

Son yıllarda yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağımlılığın azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanması amacıyla ülkeler geri dönüşüm konularına önem vermektedir. Malzeme ve kaynak israfının önlenmesi için, enerji ve kaynak kullanımının çok olduğu yapı malzemesi alanında da geri dönüştürülmüş hammaddeler ile yeni ısı yalıtım malzemesi üretim olanakları önem kazanmaktadır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı; atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin performans özelliklerinin belirlenerek piyasadaki benzerleri ile karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemeleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

1.3 Yöntem

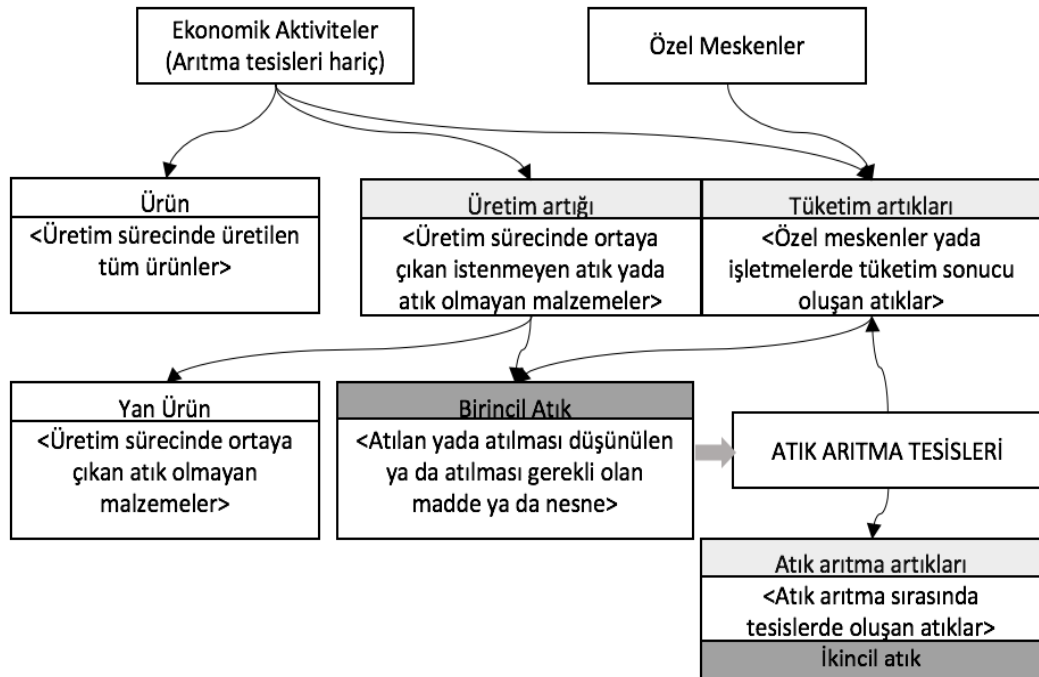
Çalışma genel olarak literatür araştırmasına dayalı olup tez çalışma yöntemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Atık ve atık yönetimi kavramının incelenmesi;
- Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin ortaya koyulması;
- Atıklarla ısı yalıtım malzemesi üretimi konusundaki çalışmaların incelenmesi ve bu malzemelerin özelliklerinin ortaya koyulması;
- Atıklarla üretilen yeni ısı yalıtım malzemelerinin yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmasıdır.



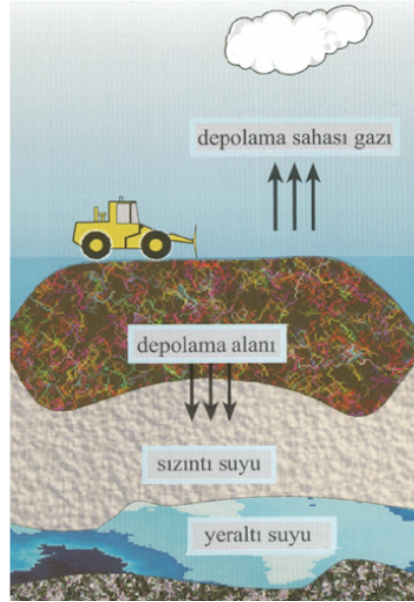
2. ATIK VE ATIK YÖNETİMİ KAVRAMI

Atık, 19/11/2008 tarihli ve 2008/98/EC sayılı atıklara ilişkin Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifinde; sahibi tarafından atılan ya da atılması düşünülen ya da atılması gerekli olan madde ya da nesne olarak tanımlanır [8]. Bu tanıma benzer olarak ülkemizde yürürlükte olan Atık yönetimi yönetmeliğinde (2015); “Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal” şeklinde tanımlanmaktadır [9]. 2872 sayılı Çevre Kanununda ise “Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü madde” olarak tanımlanmaktadır [10]. Üretim veya tüketim süreçlerinin kalıntıları olan maddeler ve malzemeler her zaman atık değildir. Bu nedenle artık ve atık arasında bir ayrım yapılmalıdır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, şu anda üç farklı artık türü bulunur. Bunlar üretim artıkları, tüketim artıkları ve atık arıtma artıklarıdır. Tüketim artıkları ve üretim artıklarından kaynaklanan atıklar birincil atık olarak ve atık arıtma artıklarından kaynaklanan atıklar ikincil atık olarak sınıflandırılır [11].



Şekil 2.1 : Atık tanımlama şeması [11].

Atıklara yeterli önemin verilmemesi çeşitli ekolojik etkiler yaratır. Atığın oluşumundan sonra gelen süreçte toplanması taşınması, depolanması, işlenmesi ve imha edilmesi uygulanan yöntemle bağlı olarak çeşitli düzeylerde çevreyi etkiler. Düzenli depolama maliyetinin düşük olması nedeniyle çok tercih edilir ancak bu alanlardaki toprak ve su kaynakları kirlenebilmektedir. Düzenli depolama alanlarında atık oksijensiz ortamda çürüdüğünde içindeki organik bileşikler seyreltilmiş organik asitlere dönüşür ve bu asitler atık içindeki ağır metalleri seyreltir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bu zararlı seyreltiler su ile birlikte sızıntı suyu olarak yeraltı sularına ve toprağa karışır. Bunun yanı sıra atıklar temel olarak metan ve karbondioksitten oluşan depolama sahası gazı üretir. Metan gazı karbondioksitten sonra küresel ısınmaya neden olan ikinci gazdır. Bir diğer tehlikeli durum da atıkların açıkta yakılmasıdır [12].

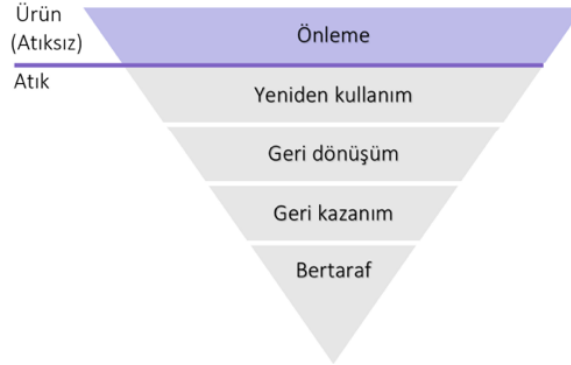


Şekil 2.2 : Düzenli depolamanın havayı ve yeraltı suyunu kirletmesi [12].

Bir çok ülkede atığın sürdürülebilir bir bakış açısıyla nasıl ele alınması gerektiğini belirleyen bir yasa bulunur. Bu temel yasa atığın adlandırılması, kayıt altına alınması, geri dönüşüm olanaklarının belirlenmesi, geri dönüşümün veya azaltma hedefinin planlanması gibi çeşitli düzenlemeler ile desteklenir. Ülkenin Çevre Bakanlığı bu tür uygulamaların birincil denetleyicisidir [12].

Atık yönetimi 2008 tarihli ve 2008/98/EC Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifinde; atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı, bertarafı ve bertaraf sonrası alanların kontrolü ve benzeri işlemler olarak tanımlanır [8]. Atık yönetiminin en önemli unsurları atık yönetim hiyerarşisi ve üretici sorumluluğu ilkesidir. Atık

yönetim hiyerarşisine göre atıkların kaynağında önlenmesi ideal olan atık yönetim basamağıdır. Hiyerarşik düzende atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı ve bertarafı Şekil 2.3’te verildiği şekilde sırasıyla birbirini takip eder [13].



Şekil 2.3 : Atık hiyerarşisi [14].

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğünün yayınladığı 2008-2012 Atık Yönetimi Eylem Planında, uluslararası düzeyde kabul gören “Entegre Atık Yönetimi” anlayışının benimsenmesi gerektiğinden bahsedilmektedir. Bu atık anlayışı Şekil 2.3’de verilen atık hiyerarşisi içindeki tüm unsurların bir bütün olarak değerlendirilerek hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilirliğin sağlanmasını hedefler [15]. Üretici sorumluluğu ilkesi atığı üreten kişinin atıktan kaynaklı tüm maliyeti karşılaması anlamı taşır [16]. Bu konuda en önemli nokta kirliliğin maliyetinin belirlenmesi, kirlilikten kimin sorumlu olduğunun ve kimin zarar gördüğünün belirlenmesidir [17]. Ülkemizde bu anlayış 2872 sayılı Çevre Kanununda “Kirlenme ve bozulmanın önlenmesi, sınırlandırılması, giderilmesi ve çevrenin iyileştirilmesi için yapılan harcamalar kirliten veya bozulmaya neden olan tarafından karşılanır.” ifadesi ile yer almaktadır [10].

2.1 Avrupa Birliği’nde Atıklara Yönelik Yasal Düzenlemeler

1970 ve 1980’li yıllarda atık bertarafı konusunda yaşanan birtakım olaylar sonucunda Avrupa Birliği üye ülkeleri tarafından 1975 yılında atıkların yönetimi ve kontrolü için ulusal ölçekte olan Atık Çerçeve Direktifi (75/442/EEC) ve 1978 yılında Tehlikeli Atık Direktifi (78/319/EEC), daha sonrada Atık Sevkiyatı Yönetmeliği ((EEC) 259/93) kabul edilmiştir. Aynı dönemde çevresel kontrollerin sıkılaştırılması nedeniyle işletmelerin atık bertarafı maliyetleri artmıştır. Bu nedenle daha ucuz bir yöntem olarak tehlikeli atıklar gelişmekte olan ülkelere gönderilmeye başlanmıştır. Bu skandalın ortaya çıkmasından sonra temiz üretim, tehlikeli atık azaltımı ve bu atıkların

taşınması ile ilgili kontroller için 1989 yılında Basel sözleşmesi imzalanmıştır. Bu sözleşmeden sonra 1996 yılında Entegre Kirlilik Önleme Ve Kontrol Direktifi (IPPC) yayınlanarak sanayi ve tarım tesislerinin atık faaliyetleri için bir izin sistemi ve atık tesisleri için standartlar belirlenmiştir. Devam eden süreçte tamamlayıcı düzenlemeler ile çeşitli atıkların bertarafı ve yakılması ile ilgili konular ele alınmıştır [18].

2005 yılında AB 6. Çevresel Eylem Planının yedi tematik stratejisinden biri olan “Atıkların Önlenmesi ve Geri Dönüştürülmesi Tematik Stratejisi” yayınlanmıştır. Bu stratejinin temel amacı AB vatandaşlarını geri dönüşüm toplumu haline getirebilmektir. Bunu yapabilmek için atık hiyerarşisinin ekonomik olarak nasıl desteklenebileceğine dair öneriler getirilmiştir [19]. Yapılan bu çalışmalar sonucunda günümüzde geçerli olan Atık çerçeve direktifi (Directive 2006/12/EC) 20 Ekim 2008 yılında resmî gazetede yayınlanmıştır. Bu direktifte üye devletlerin kendi ulusal stratejilerini beş adımlı atık yönetim hiyerarşisi kapsamında geliştirmeleri istenmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Avrupa Birliği’nde atıklara yönelik yasal düzenlemeler [20].

Yıl	Yapılan Düzenleme
1975	Atık Çerçeve Direktifi (75/442/EEC)
1978	Tehlikeli Atık Direktifi (78/319/EEC)
1989	Basel Sözleşmesi
1993	Atık Sevkiyatı Yönetmeliği ((EEC) 259/93)
1996	Entegre Kirlilik Önleme Ve Kontrol Direktifi (IPPC)
2005	Atıkların Önlenmesi ve Geri Dönüştürülmesi Tematik Stratejisi
2008	Atık çerçeve direktifi (Directive 2006/12/EC)

2.2 Türkiye’de Atıklara Yönelik Yasal Düzenlemeler

Türkiye’de atıklarla ilgili ilk düzenleme sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla 1983 yılında kabul edilen 2872 sayılı Çevre Kanunu’dur. Bu kanun içerisinde çevre ve atıkla ilgili tanımlamalar yapılır. Bu kanuna göre çevrenin korunması için belirlenen ilkelerden birisi de atık oluşumunun kaynağında azaltılmasını ve geri kazanılmasını sağlamaktır. Bu kapsamda belirlenen yöntemler dışında atıkların atılması yasaklanmış ve aksi uygulamalarda verilecek para cezaları belirlenmiştir [10]. Çizelge 2.2’de bu kanundan sonra çıkarılan yönetmelikler tarih sıralaması ve ilgili resmî gazete sayısı ile verilmiştir. 2004 yılında yapım işleri ile ilgili yönetmelik yürürlüğe girmiştir. 2015 yılına gelindiğinde Atık Yönetim

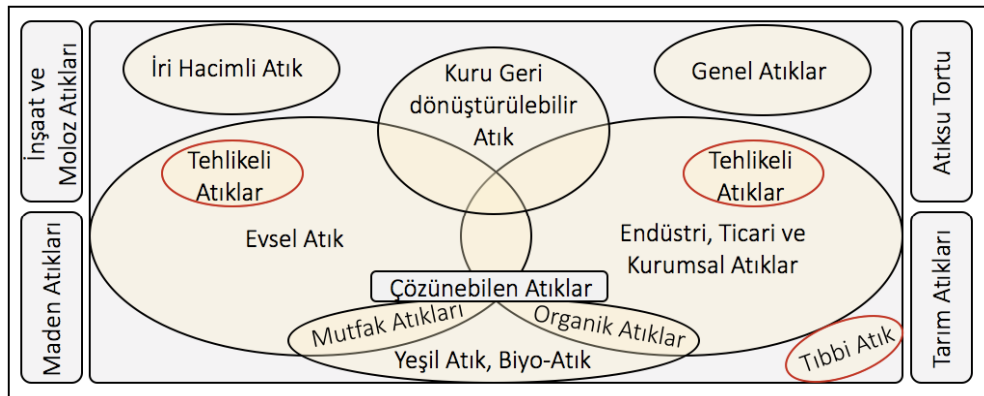
Yönetmeliği kabul edilmiş ve resmî gazetede yayınlanmıştır. Bu yönetmelik içerisinde atık sınıflandırmasına yer verilmiştir [21,22].

Çizelge 2.2 : Türkiye’de atıklara yönelik yasal düzenlemeler [20].

Yıl	Yönetmelik	Resmî Gazete Sayısı
1991	Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	20814
1993	Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	21586
1995	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	22387
2000	Özel İşlem Gerekltirmeyen Radyoaktif Atıklara İlişkin Yönetmelik	23934
2004	Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	25353
2004	Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği)	25406
2004	Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	25406
2004	Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği	20569
2005	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	25755
2005	Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	25791
2010	Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	27533
2010	Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik	27721
2012	Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği	28300
2013	Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği	28582
2015	Atık Yönetimi Yönetmeliği	29314
2015	Maden Atıkları Yönetmeliği	29417

2.3 Atıkların Sınıflandırılması

Atıklar literatürde tüketim, dağıtım, üretim, fiziksel ve kimsayasal özellikleri, tehlikesi gibi çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılabilir [23]. Kentsel katı atıkların şematik olarak sınıflandırılması Şekil 2.4’te görülmektedir. İnşaat ve moloz atıkları, maden atıkları, tarımsal atıklar ve atıksu arıtma çamurları kentsel katı atıkların dışında tutulmaktadır [12].

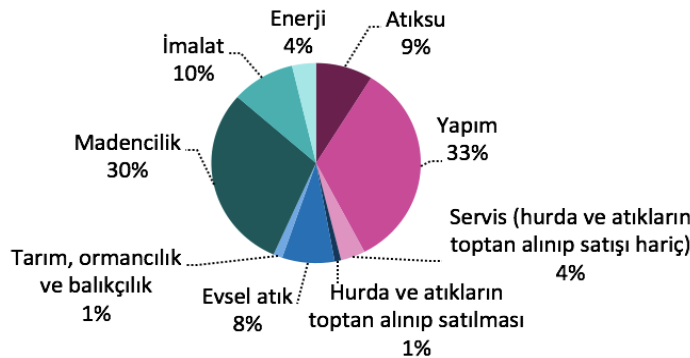


Şekil 2.4 : Kentsel katı atık kompozisyonu sınıflandırması [14].

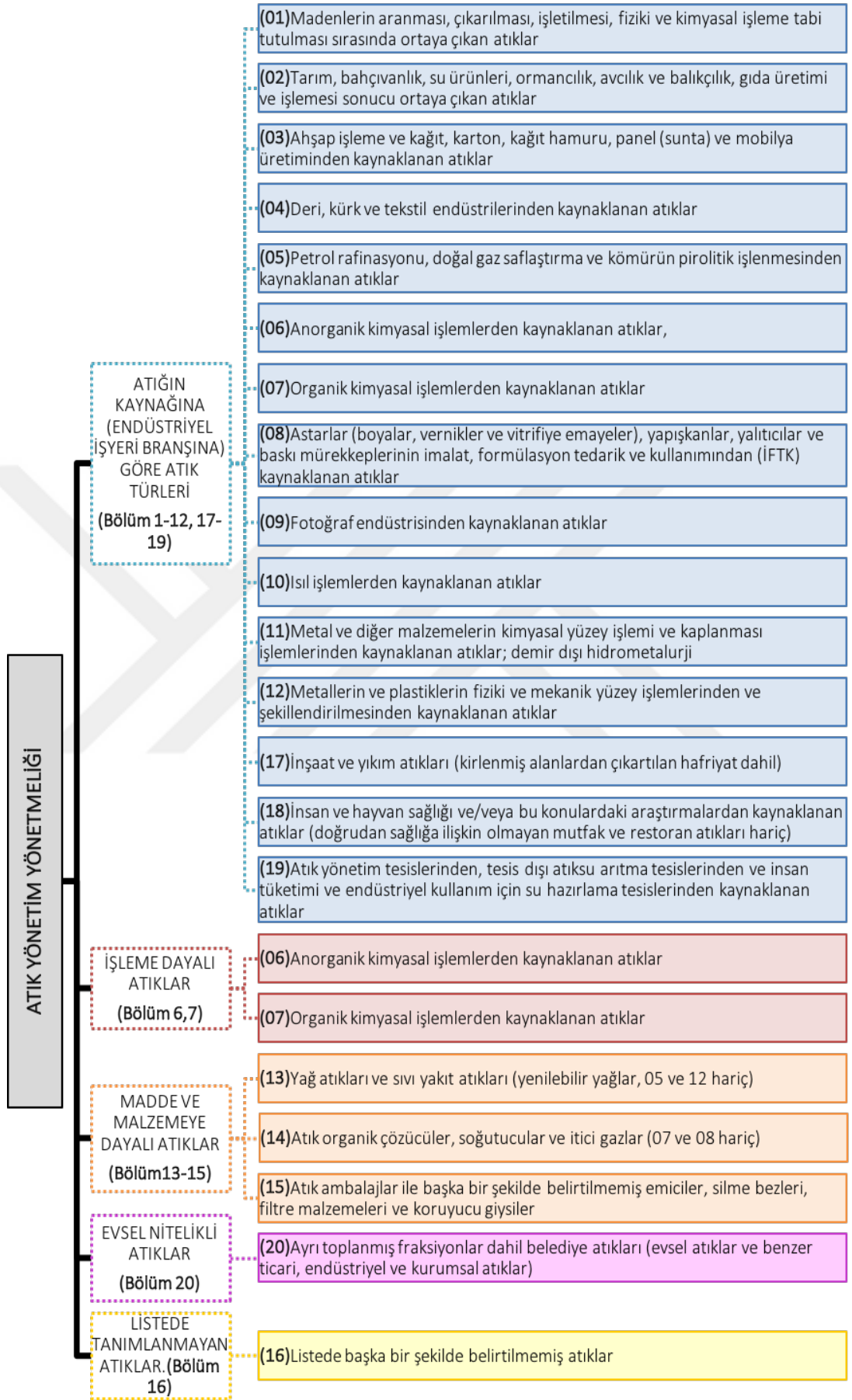
Avrupa Komisyonunun düzenlediği 2000/532/EC sayılı Avrupa Atık listesi ve 2008/98/EC sayılı Ek-III direktifine dayandırılarak hazırlanan Avrupa Atık Listesi Avrupa Birliğine uyum süreci kapsamında Türkiye’de aynen kabul görmüş ve 29314 sayılı Atık Yönetim Yönetmeliğinde bu listeye yer verilmiştir [9,24]. Bu yönetmelik kapsamında atıklar 20 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Herbir başlık altında çeşitli atıklar tanımlanarak altı haneli kod numarası ile sınıflandırılmıştır. Ayrıca tüm atıkların tehlikelilik durumları belirtilmiştir. 20 ana başlık ve içerikleri Şekil 2.6’da verilmiştir. Bu yönetmelikte 405 tehlikeli atık ve 434 tehlikesiz atık olmak üzere 839 atık türü tanımlanmıştır. Atık yönetim yönetmeliği atmosfere salınan gaz atıkları, radyoaktif atıkları, taş ocağı faaliyetleri ile mineral kaynakların aranması, çıkarılması, işlenmesi ve depolanması sonucu oluşan atıkları, hayvan kadavraları ile tarımsal atıkları, sıvı haldeki atıklar hariç atık suları, kullanım ömürleri bitmiş patlayıcıları kapsamamaktadır [9].

2.4 Avrupa Birliği ve Türkiye’de Atıkların Geri Dönüşümü, Geri Kazanımı ve Bertarafı

Geri dönüştürülmüş atıkların hammadde ihtiyacının tamamını karşılaması mümkün değildir. Ancak yapılan düzenlemelerle geri dönüşüm pazarı gelişmektedir [13]. AB 28 ülkelerinde yapım işleri (871 milyon ton atık) %33,5 bir dilimle ilk sıradayken onu %29 oranla madencilik ve taş ocağı işleri (774 milyon ton), %9,8 oranla imalat sektörü atıkları (256 milyon ton), %8,1 oranla evsel nitelikli atıklar (209 milyon ton), %3,7 oranla enerji sektörü atıkları (95 milyon ton) ve %15 oranla diğer ekonomik faaliyetler sonucu oluşan atıklar izlemektedir (Şekil 2.5). Bu grafiğe göre yapı ve yapım işlerinin en çok atık üreten sektör olduğu görülmektedir [25].



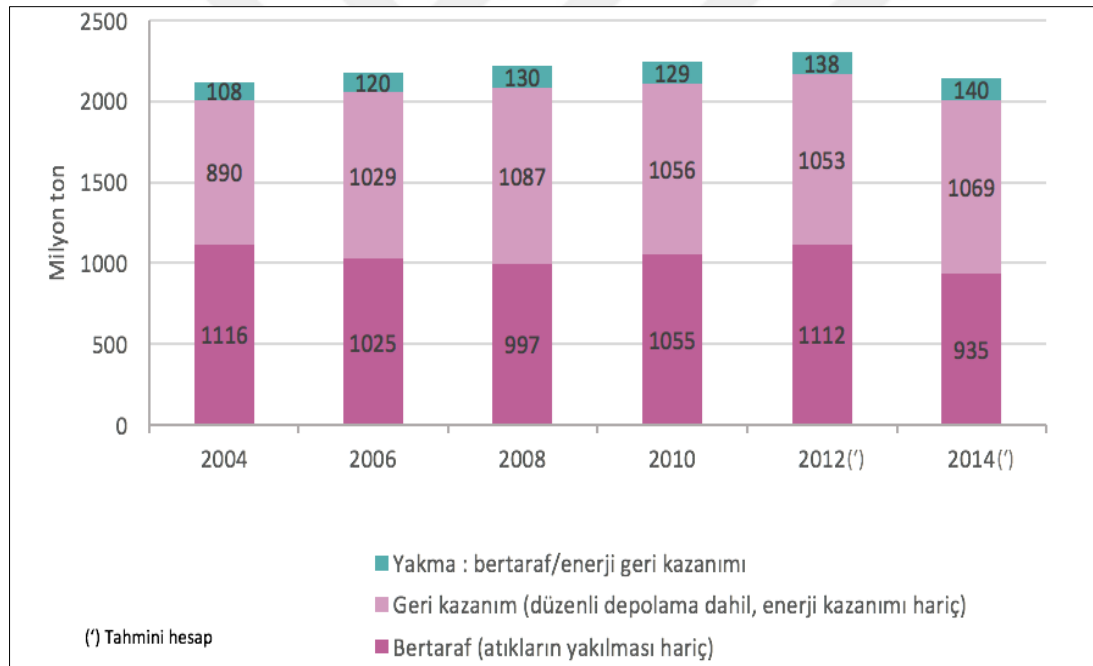
Şekil 2.5 : AB 28 ülkelerinde 2014 yılı için ekonomik faaliyetler sonucu oluşan ve evsel nitelikli atık istatistikleri [25].



Şekil 2.6 : Atık yönetim yönetmeliğinde atıkların sınıflandırılması [9].

Bu bağlamda yapı sektöründe oluşan atıkların geri dönüştürölüp kullanılması veya sektöre giren malzemelerde geri dönüştürölmlüş hammadde kullanılması önem kazanmaktadır.

Şekil 2.7’de 2004-2014 yılları arasında AB-28 ölkelerinde atık değeriendirme yöntemlerinin gelişim değerieleri görölmektedir. Atıkların bertarafı (yakılması hariç) 2014 yılında 2004 yılına göre %16 gerilemiştir. Atık geri kazanım miktarı (enerji geri kazanımı hariç), başka bir deyişle geri dönüştürölmlüş veya düzenli depolama için kullanılmış olan atık miktarı, 2004 yılında 890 milyon ton iken 2014 yılında 1.069 milyon ton olarak %20,1 artmıştır. Bu tür geri kazanım 2004 yılında %42,1 iken, 2014 yılında bu değeri %49,9’a çıkmıştır. Atık yakımı (enerji geri kazanım dahil) 2004 ve 2014 yılları arasında %29,6’lık bir artış göstermiş ve toplamdaki payı %5,1’den %6,5’e yükselmiştir [25].



Şekil 2.7 : AB 28 ölkelerinde 2004-2014 yılları arası atık değeriendirme yöntem istatistikleri [25].

Türkiye’de TÜİK verilerine göre 2014 yılında 28,01 milyon ton belediye atığının %35’i belediye çöplüklerine dökölürken, %63,5’i düzenli depolama sahaları veya kompost tesislerine gönderilmiş %0,5’i ise diğeri yöntemlerle bertaraf edilmiştir. 2004 yılı ile karşılaştırıldığında belediye çöplüklerine dökölün belediye atık miktarı %53,8 azalırken, atık bertaraf ve geri kazanım tesislerine götürölün atık miktarı %46,3 artmıştır [26]. Atıkların doğrudan doğaya bırakılması yerine geri kazanım ve bertaraf

tesislerinde işlenme oranı artarken belediyenin çöp toplama hizmetinden faydalanan toplam nüfus da artmıştır. 2001 yılında belediye toplam nüfusunun %75'i atık toplama hizmetinden faydalanırken 2014 yılında bu oran %91'e çıkmıştır [26].

Bu bilgilere göre yapılan yasal düzenlemeler ile atıkların geri dönüşümü, enerji geri kazanımı gibi alternatif değerlendirme yöntemleri ile çevresel zararı azaltılarak ve ekonomik değeri artırılarak kullanımı mümkündür. Toplumsal bilincin yanısıra özellikle karar vericilerin yaptığı düzenlemeler bu gelişim süreçleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. AB ülkelerinde 10 yıllık süreçte atık değerlendirme konusunda sağlanan çevresel ve ekonomik fayda bunun güzel bir örneğidir.





3. ISI KAVRAMI VE ISI YALITIM MALZEMESİ

Çalışmanın bu bölümünde ısı kavramı ile birlikte ısı yalıtım malzemesi tanımı yapılarak, aranan özelliklerden, tarihsel gelişim sürecinden bahsedilmiş ve ısı yalıtım malzemeleri sınıflandırılmıştır. Son olarak Türkiye’de standartlarla düzenlenmiş olan ısı yalıtım malzemelerinin yanısıra kenevir, aerojel ve vakum yalıtım paneli ısı yalıtım malzemelerinin anlatımı yapılmıştır.

3.1 Isı Kavramı

Isı; iki kütle arasında varolan sıcaklık farkının etkisiyle bir kütleden diğerine aktarılan enerjidir [27]. Sıcaklık ise şu şekilde ifade edilmektedir;

“Sıcaklık, bir cisimdeki moleküler hareketin atmasıyla yükselen skaler bir büyüklüktür. Sıcaklık bir enerji seviyesi olarak kabul edilir ve °C, °K gibi sıcaklık birimleri ile ifade edilir” [28].

Isı bir enerji türü olduğu için Joule, Kalori gibi enerji birimleri ile ifade edilir. Yüksek sıcaklıktaki enerji seviyesinden düşük sıcaklıktaki enerji seviyesine doğru oluşan akıma ısı akımı (Q) adı verilir. Birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı olarak tanımlanır ve birimi W/m^2 ’dir [28]. Isı akımı üç değişik şekil de olur;

Isı iletimi (kondüksiyon): Fiziksel bir temasla bir cisimden, daha düşük sıcaklıktaki bir başka cisme ısı enerjisi aktarımıdır [27].

Isı ışıınımı (radyasyon): Sıcak bir kütleden daha soğuk bir kütleye doğru iki kütle arasındaki boşluktan ısı enerjisi aktarımıdır [27].

Isı taşınımı (konveksiyon): Bir maddenin fiziksel hareketi yoluyla ısı enerjisini bir yerden diğer bir yere taşımasıdır ve genellikle sıvı veya gazların kütsel taşınımı ile yakından ilgilidir [27].

Şekil 3.1’de verildiği gibi malzemenin bir yüzeyinden diğer yüzeyine olan kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ısı akımlarının toplamı denklem 3.1’deki gibidir.

$$Q = Q_{cos} + Q_{coa} + Q_{cv} + Q_r \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda,

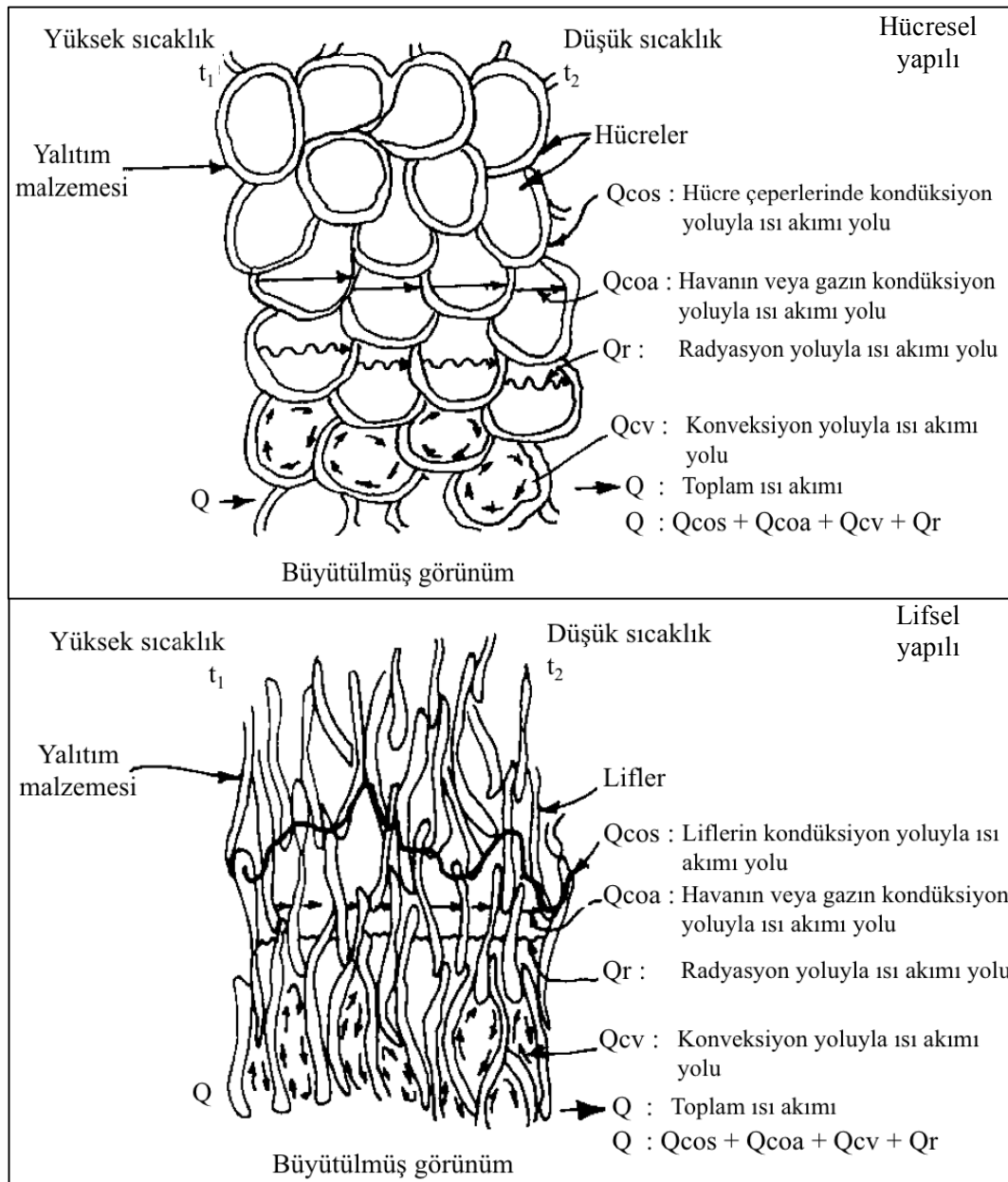
Q = Toplam ısı akımı

Q_{cos} = Hücre çeperlerinde kondüksiyon yoluyla ısı akımı

Q_{coa} = Havanın ve gazın kondüksiyon yoluyla ısı akımı

Q_{cv} = Konveksiyon yoluyla ısı akımı

Q_r = Radyasyon yoluyla ısı akımı



Şekil 3.1 : Hüresel ve lifsel yapıları bir ısı yalıtım malzemesi kesitinde ısı taşınımının şematik gösterimi [27].

Fourier yasasına göre ısı akımı şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q = (t_1 - t_2)/R \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda,

Q = Bir yüzeyden diğerine olan toplam ısı akımı (W/m^2),

t_1 = Malzemenin yüksek sıcaklıktaki yüzeyinin sıcaklığı ($^{\circ}C$),

t_2 = Malzemenin düşük sıcaklıktaki yüzeyinin sıcaklığı ($^{\circ}C$),

R = Isı geçirgenlik direnci ($m^2 \cdot ^{\circ}C/W$)

Malzemenin ısı geçirgenlik direnci o malzemenin kalınlığına ve ısı iletkenlik katsayısına bağlıdır. O halde ısı geçirgenlik direnci şu şekilde yazılabilir:

$$R = d/\lambda \quad (3.3)$$

Bu bağıntıda,

R = Isı geçirgenlik direnci ($m^2 \cdot ^{\circ}C/W$)

d = Malzeme kalınlığı (m),

λ = Isı iletkenlik katsayısı ($W/m \cdot ^{\circ}C$)

Isı iletkenlik katsayısı; 1 m kalınlığındaki bir cismin paralel iki yüzü arasında $1^{\circ}C$ fark olduğunda, $1 m^2$ alanından birim zamanda geçen ısı enerjisi miktarı olarak tanımlanır[28]. Malzemenin ısı geçirgenliği ısı geçirgenlik direncinin aritmetik tersidir. $1/R$ ya da U olarak ifade edilir. Birimi $W/ m^2 \cdot ^{\circ}C$ dir [29].

Verilen eşitliklere göre ısı akımı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$Q = (t_1 - t_2)/(d/\lambda) \quad (3.4)$$

Bu bağıntıda,

Q = Bir yüzeyden diğerine olan toplam ısı akımı (W/m^2),

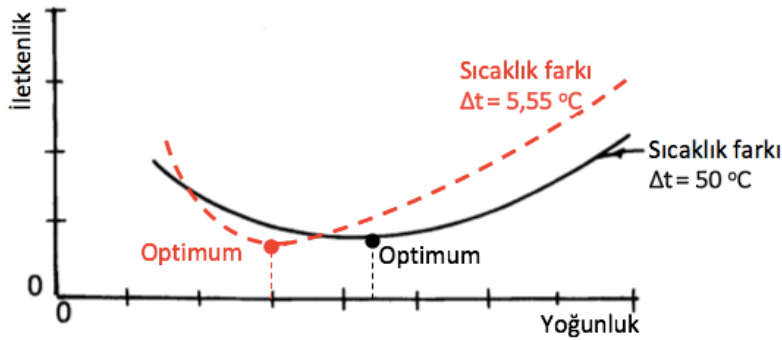
t_1 = Malzemenin yüksek sıcaklıktaki yüzeyinin sıcaklığı ($^{\circ}C$),

t_2 = Malzemenin düşük sıcaklıktaki yüzeyinin sıcaklığı ($^{\circ}C$),

d = Malzeme kalınlığı (m),

λ = Isı iletkenlik katsayısı ($W/m \cdot ^{\circ}C$)

Malzemenin ısı iletkenliği malzemenin iç yapı özelliğine bağlıdır ve malzemenin birim hacim kütlesine göre değişir [29]. Isı yalıtımının etkili olabilmesi için içerdiği liflerin, granüllerin veya hücrelerin temas eden katı yüzeylerinin az olması gerekir. Malzeme yoğunluğu arttıkka ısı iletkenliği de artar. Yoğunluk azaldıkça malzemenin içinde daha az sayıda ama daha büyük boyutlarda hava boşlukları oluşur. Az sayıda ve büyük boyutlarda hava boşlukları içeren çok düşük yoğunluklu yalıtkanlar, çok sayıda ve küçük boyutlarda hava boşlukları içeren yüksek yoğunluklu yalıtkanlara göre ısıyı daha kolay iletirler. şekil 3.2’de verildiği gibi malzemenin iki yüzeyi arasında değişen sıcaklık farkları için ısı akımını azaltan ve verimin yüksek olduğu optimum bir yoğunluk değeri vardır [27].



şekil 3.2 : Eş liflerle üretilen ısı yalıtım malzemesinin iki yüzeyi arasında değişen sıcaklık farkları için optimum yoğunluk grafiği [27].

3.2 Isı Yalıtım Malzemesi ve Tarihsel Gelişim Süreci

Yalıtım kavramı Toydemir ve diğ. (2000) tarafından şöyle tanımlanmaktadır;

“Yapı fiziği bağlamında arzu edilmeyen fiziksel etkilerin ya da olayların bir taraftan diğer tarafa geçmesini engelleyen işlem ve sistemlere verilen addır [28].”

Yalıtım kapsamında su, ısı, ses ve elektrik yalıtımını düşünülebilir. Bu bağlamda ısı yalıtım malzemeleri farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini kontrol etmek amacıyla kullanılan ısı iletkenlik katsayısı düşük malzemelerdir. [30]. Yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerinin 0.1 W/m°C’den küçük olması istenir [28]. Yapılara doğru bir şekilde yalıtım uygulanması ilerleyen süreçte yapı kabuğunda ortaya çıkabilecek don hasarı, nem hasarı, küflenme gibi yapı hasarlarını engelleyebilir. Isı yalıtım malzemeleri insan sağlığı için konforlu yaşam alanı oluşturmasının yanısıra yapının sağlam ve uzun ömürlü olmasını sağladığı için önemlidir [31].

İnsanlar yerleşik düzene geçmeden önce geçici barınaklarını giyimde kullandıkları hayvan derileri, kürk gibi malzemeler ile yapmış, yerleşik düzene geçtikten sonra bitkisel lifler ve toprak, ahşap gibi daha dayanıklı malzemeler kullanmışlardır. 19. yüzyılın sonlarında sanayi devrimi ile gelen aşırı enerji tüketimi ve fosil yakıtların fiyatındaki aşırı yükselme dünya çapında enerji krizine neden olmuştur. Bu dönemde enerji tassarrufu bilinci ve ısı kayıplarının hesaplanmaya başlaması sonucunda ısı yalıtım malzemelerinin endüstriyel üretimi ve kullanımı başlamıştır. Çizelge 3.1’de verildiği gibi 1950’li yıllarda yalıtım malzemesi sektöründe plastiklerin kullanımı oldukça artmıştır. 2000 yılından sonra plastik köpük malzemelerin üretiminde kullanılan gazların çevresel etkilerinin farkedilmesi sonucu yeniden doğal malzemelere dönüş başlamıştır. Günümüzde ileri teknoloji ürünleri araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir [32].

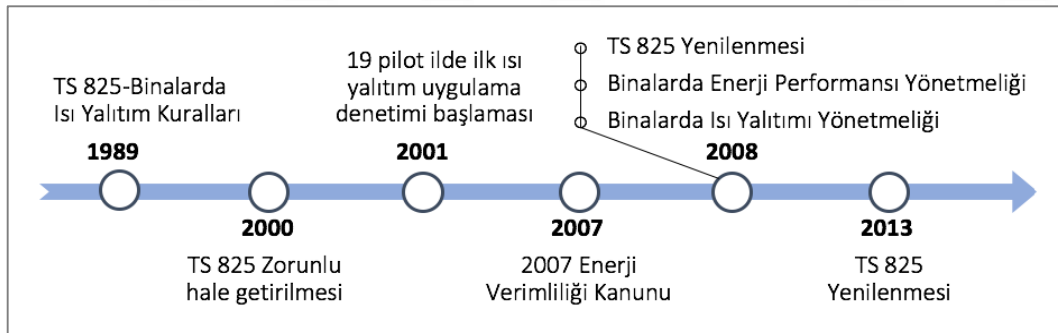
Çizelge 3.1 : Isı yalıtım malzemelerinin tarihsel gelişim süreci [32].

Tarih	Gelişim Sebebi	Gelişme	Yalıtım malzemesi
M.Ö. 7000 ve öncesi	Göçebe yaşam	Kıyafet için malzeme ihtiyacı	Hayvan derileri, kürk, yün
M.Ö. 7000- M.S. 1870	Yerleşik yaşam	Dayanıklı malzeme gereksinimi Bitkisel lifler	Toprak, ahşap, tuğla Saman, deniz yosunu, saz
1870-1950	-Endüstri devrimi -Isı kaçış hesabı yapılması	İlk kullanılan doğal yalıtım malzemeleri	Saz, mantar, ahşap yünü ve keten levhalar, selüloz yalıtımlar
		Tuğla duvar elemanlarının gelişimi	Delikli tuğla, gazbeton
		İlk yapay yalıtım malzemesi üretimi	Asbest, taşıyünü, camyünü, genişletilmiş cam, genişletilmiş kil ve perlit
1950-2000	Plastiklerin yaygınlaşması	-Yapay malzemelerin yaygınlaşması -Plastik köpükler	Polistren, poliüretan, polyester, polietilen, fenolik, formaldehit ve melamin köpükler
2000 sonrası	Fosil yakıtlardan kaynaklanan CO ₂ salınımları sonucu iklim değişikliği ve küresel ısınma	Doğal malzeme pazarının canlanması	Selüloz yalıtımlar, mantar, saman balyası, ahşap yünü, koyun yünü vs.
		İleri teknoloji ürünlerin geliştirilmesi ve üretilmesi	Saydam yalıtım malzemeleri, vakum yalıtım panelleri, aerogeller vs.

Türkiye’de ısı yalıtımı uygulaması ile ilgili yapılan ilk düzenleme 6 Mart 1989 yılında kabul edilen TS 825 numaralı “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardıdır. 1999 yılında 23725 sayılı resmî gazetede yayınlanan tebliğ ile 2000 yılından itibaren zorunlu hale getirilmiştir ve 2013 yılında son halini almıştır. 2000 yılında 24043 sayılı

resmî gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren, 2008 yılında 27019 sayılı resmî gazetede yayınlanarak son şeklini alan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği” ısı kayıplarının azaltılmasına, enerji tasarrufu sağlanmasına ve uygulamaya dair usul ve esasları düzenlemektir. 12 Ağustos 2001 yılında yayınlanan “Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları Yönetmeliği” ile ülkemizde 19 pilot ilde ilk ısı yalıtım uygulama denetimi başlamıştır.

“Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” 5 Aralık 2008 yılında 18/4/2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununa dayandırılarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesi ve çevrenin korunması amacıyla düzenlenmiştir. Bu yönetmelik kapsamında binalar için enerji kimlik belgesi alınması zorunlu hale getirilmiştir. Bu belgede ısıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için nihai enerji tüketimleri (kWsaat/ m².yıl) ve sera etkisi gazı emisyonları (kg eşd.CO₂ / m².yıl) verilerine göre sınıflandırılır [33]. Türkiye’de yapılan yasal düzenlemeler ile ilgili tarihsel akış sıralaması Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 : Türkiye’de ısı yalıtımı uygulamaları için yapılan düzenlemelerin tarihsel akış süreci.

90’lı yıllarda Türkiye’deki konutların doğramalarının çift cama dönüştürülmesi ile enerji tasarrufu bilincinin yapı alanında ilk adımlarının atıldığı söylenebilir [34]. Isı yalıtım sektörü yaklaşık 200 yıl önce başlamasına rağmen Türkiye’de ilk ısı yalıtım malzemesi(camyünü) üretimi 1967 yılında olmuştur. İlk üretimin olduğu yıllarda Türkiye’de camyünü ihtiyacı sadece 750 tondur ve konutlarda ısı yalıtımı kullanımı yoktu. Kullanım fazlası ürünler 1968 yılında Irak’a ihraç edilmiştir. Daha sonra sanayinin gelişmesiyle polimer esaslı köpükler, lifli ve sürme esaslı malzemelerin üretimine başlanmıştır [35].

3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Özellikler

Düşük ısı iletkenliği şüphesiz ısı yalıtım malzemelerinin en önemli özelliğidir. Ancak basınç dayanımı, yangın davranışı gibi özellikler yapılacak uygulamaya bağlı olarak önem kazanır. Günümüzde ısı yalıtım malzemeleri birçok farklı alanlarda ki gereksinimlerin hemen hepsini karşılar ancak tüm gereksinimleri mükemmel bir şekilde karşılayan bir ısı yalıtım malzemesi yoktur [36]. Isı yalıtım malzemelerinde aranılan termik özellikler; düşük ısı iletkenlik, yangın dayanımı, fiziksel özellikler; düşük birim hacim kütle, su emilimi, buhar difüzyon direnci, mekanik özellikler; yeterli basınç dayanımı olarak sayılabilir. Bunlara ek olarak kimyasal etkilere dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik, işlenebilirlik ve düşük maliyet ısı yalıtım malzemelerinde aranılan özelliklerdendir.

3.3.1 Termik özellikler

Termik özellikler başlığı altında ısı iletkenlik ve yangın dayanımından bahsedilmiştir.

3.3.1.1 Isı iletkenlik

Isıl iletkenlik malzemenin ısı enerjisi aktarma kapasitesidir. Isı yalıtım malzemelerinin büyük ısı kayıplarını engelleyebilmesi için ısı iletkenlik değerinin düşük olması gerekmektedir. Düşük ısı iletkenliği olan malzemeden ısı geçişi daha az olur. Bu nedenle ısı yalıtım malzemesi için ısı iletkenlik katsayısı (λ) çok önemlidir [36].

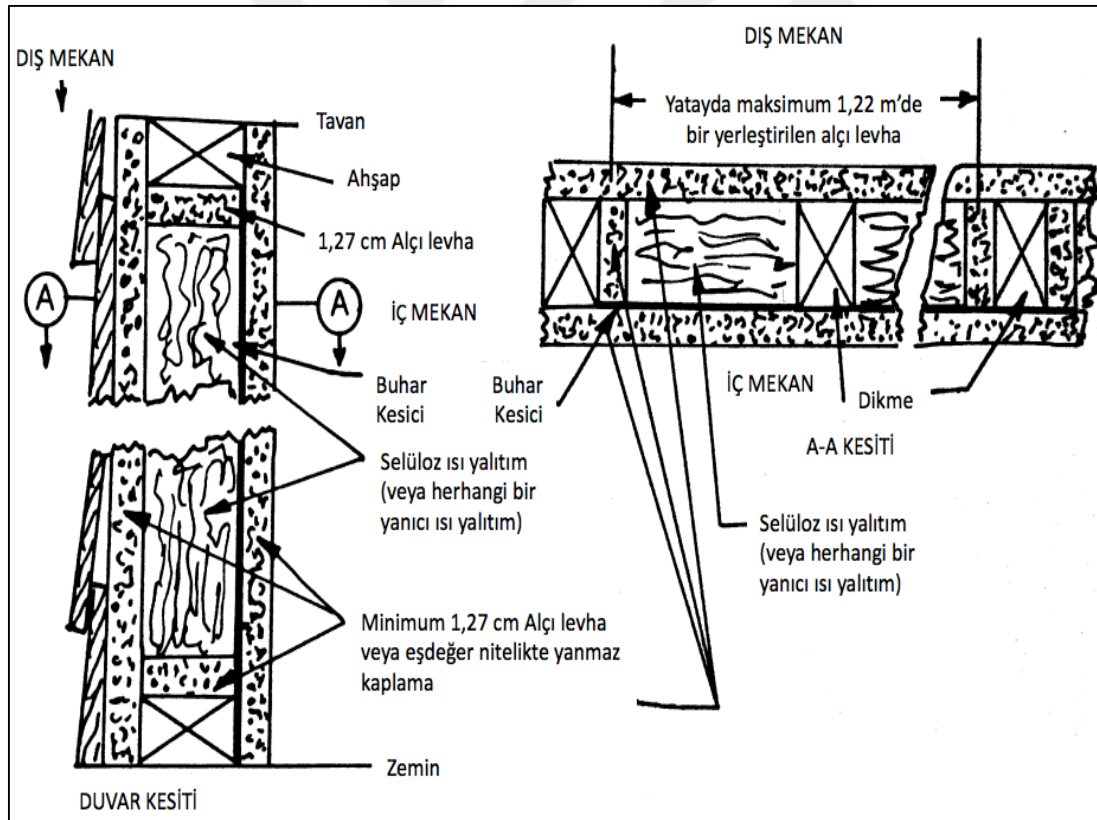
Bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi olabilmesi için ısı iletkenliğinin 0,1 W/m.°C'den küçük olması beklenmektedir [28]. Birçok ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin 0,03-0,05 W/m.°C arasında olduğu görülür, bu nedenle bu değer iyi olarak kabul edilebilir. Isı iletkenliği <0,03 W/m.°C olduğunda çok iyi, 0,06 W/m.°C olduğunda orta ve >0,07 W/m.°C olduğunda ise ısı iletkenliğinin nispeten yüksek olduğu söylenebilir [36].

3.3.1.2 Yangın dayanımı

Yapı malzemeleri yangın anındaki davranışları açısından yanmazlık deneyleri ile “yanar” veya “yanmaz” olarak tanımlanır. Yanmazlık tanımı yangına doğrudan katkı sağlamama durumudur [37]. Ülkemizde yapı malzemeleri için yangın sınıfını belirlemede “TS EN 13501-1+A1 Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın

sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma.” standardı kullanılmaktadır.

Isı yalıtım malzemelerinin birçoğu sanılanın aksine yanıcı malzemelerdir. Tüm organik kökenli köpük yalıtım malzemeleri, selüloz yalıtım ve organik bağlayıcılı yalıtım malzemeleri yanıcı özelliktedir ve yandıklarında zehirli gaz salınımı yaparlar [27]. Örneğin; organik kökenli poliüretan köpük ısı yalıtımlar yangın anında hidrojeniyanit (HCN) ve izosiyanit gazı salınımı yaparak HCN zehirlenmesine neden olur [38]. Bu tür yanıcı ısı yalıtım malzemeleri yapıda kullanıldığında her iki tarafıda alçı levha gibi yanmaz bir malzeme ile kaplanmalıdır. Örneğin; Şekil 3.4’te verildiği gibi ahşap karkas yapıli ısı yalıtımlı bir dış duvarda her iki yüzey minimum 1,27 mm alçı levha (veya yanmaz herhangi bir kaplama) ile yangına karşı korunduğunda, duvarı oluşturan elemanların ve yanıcı nitelikteki ısı yalıtım malzemesinin kendinden alevlenmesi yaklaşık 15 dakika kadar ertelenebilmektedir [27].



Şekil 3.4 : Ahşap karkas sistem duvarda yanıcı lifsel ısı yalıtım etrafına yangın bariyeri oluşturulması [27].

3.3.2 Fiziksel özellikler

Fiziksel özellikler başlığı altında birim hacim kütle, su emilimi ve buhar difüzyon direncinden bahsedilmektedir.

3.3.2.1 Birim hacim kütle

Bir malzeme için ısı iletkenlik değerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi malzemenin birim hacim kütesidir. Birim hacim kütesi bir malzemenin kütesinin dolu kısmın hacmine oranı olarak tanımlanır. Birimi kg/m^3 veya gr/cm^3 olarak alınır. Düşük yoğunluk genellikle yüksek porozite veya yüksek boşluk hacmi anlamına gelir ve malzemenin ısı iletkenlik değerini düşürür. Isı yalıtım malzemelerinde genelde tercih edilen yoğunluk değeri $20\text{-}100 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Daha düşük yoğunluklarda radyasyon(ışınım) yoluyla ısı iletimi artarken, daha yüksek yoğunluklarda taşınım yoluyla ısı iletimi artmaktadır [36].

3.3.2.2 Su Emilimi

Isı yalıtım malzemeleri boşluk içeren malzemelerdir ve prensip olarak ısı yalıtım malzemelerinin hiçbiri için nem ve su emilimi istenen bir durum değildir. Suyun ısı iletkenlik değeri durgun havanın ısı iletkenlik değerinden 20 kat daha fazladır. Dolayısıyla su emilimi genellikle ısı iletkenlik değerinin yükselmesi ile bağlantılıdır [36].

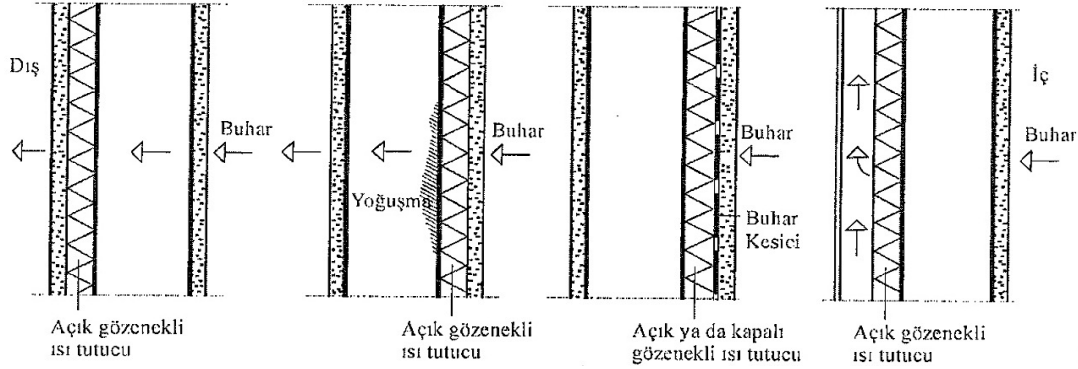
3.3.2.3 Buhar geçirgenlik direnci

Havada ve yapı bileşenleri içerisinde her zaman belirli bir miktar su buharı bulunur ve bu moleküller sürekli olarak tüm yönlerde homojen olarak yayılmak ister. Yapı malzemeleri bu yayılma isteğine kendi mikro yapılarına bağlı olarak bir miktar direnç gösterir. Bu direnci (μ değeri) 1 m kalınlığındaki hava katmanı ile 1 m kalınlığındaki malzeme katmanının buhar geçirimsizliği karşılaştırılarak hesaplanır [36].

Isı yalıtım malzemeleri açık veya kapalı gözenekli ve hava/gaz içeren malzemelerdir. Dolayısıyla kapalı gözenekli malzemeler buhar geçirmezken, açık gözenekli malzemeler buhar geçişine açıktır [27]. Genelde lifli yalıtım malzemeleri buhar difüzyonuna az bir direnç gösterir. Rijit köpük malzemelerin difüzyon direnci daha fazladır. [36]. Isı yalıtım malzemelerinin sahip olduğu buhar geçirgenlik direnci 1 ile sonsuz değerler arasında değişmektedir. Örneğin; mineral yünler için 1, ekstrüde polistren köpük için $80\text{-}250$ arasındadır. Cam köpüğü buhar geçirimsiz kabul edildiği için buhar geçirgenlik direnci sonsuz kabul edilir.

Isı yalıtım malzemesi seçilirken kullanılacak yerin koşullarına ve yapı elemanı kesitine göre aranan buhar geçirgenlik direnci değişmektedir. Bu koşullara uygun seçilmeyen

veya buhardan korunmayan ısı yalıtım malzemesi Şekil 3.5'te verildiği gibi kesit içerisinde yoğuşmaya neden olabilmektedir.



Şekil 3.5 : Duvarda ısı yalıtım malzemesi ve buhar kesicinin yerleri [28].

Örneğin, dış ortamla iç ortamı veya farklı ısıtma rejimi uygulanan mekanları ayıran duvar kesitlerinde buhar basıncının düşük olduğu dış ortamda uygulanacak ısı yalıtım malzemesinin düşük μ değerine sahip olması istenir. Bu sayede başka bir önlem almadan su buharının yapıdan sağlıklı bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmış olur. İçte yapılacak uygulamalarda düşük μ değerine sahip ısı yalıtım malzemesi seçilmesi durumunda duvar çekirdeği ve ısı yalıtım malzemesi arasında yoğuşma olacaktır. Bu durumda önlem olarak ısı yalıtım malzemesinin iç yüzeyine bir buhar kesici koyulabilir [28].

3.3.3 Mekanik özellikler

Isı yalıtım malzemeleri için mekanik özellik olarak basınç dayanımından bahsedilmektedir.

3.3.3.1 Basınç dayanımı

Isı yalıtım malzemeleri için basınç dayanımı genellikle malzemenin birim hacim kütlesi ile belirlenir. [36]. Binalarda döşemeler gibi yatay veya az eğimli yapı elemanları tasarımında seçilen ısı yalıtım malzemesi üzerine gelen malzemelerin ağırlığını ve noktasal yükleri karşılayabilecek yeterli basınç dayanımına sahip olmalıdır. Bu nedenle birim hacim kütlesi 30 kg/m^3 'ten büyük olan polistren köpükleri, ekstrüde polistren köpükleri, 60 kg/m^3 'ten büyük olan cam yünü keçeleri ve cam köpüğü gibi ısı yalıtım malzemeleri tercih edilebilir. Isı yalıtım malzemesinin noktasal yüklere karşı daha iyi korunması gerektiği durumda 350-400 dozajlı 3-4 cm kalınlıkta çimento şap ile korunabilir [28].

3.3.4 Kimyasal etkilere dayanıklılık

Isı yalıtım malzemeleri de diğer yapı malzemeleri gibi kullanım süreleri boyunca çeşitli kimyasal etkilere maruz kalır. Isı yalıtım malzemelerinin asitler, alkaliler, çözücüler gibi çeşitli kimyasal etkiler karşısında işlevini kaybetmeden ısı yalıtımı görevini yerine getirmesi beklenir.

3.3.5 Parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık

Isı yalıtım malzemeleri türlerine ve bünye yapıların bağlı olarak çeşitli parazit ve böcekleri barındırabilir. Isı yalıtım malzemeleri bu tür etkilere maruz kalarak işlevini kaybetmemesi istenir.

3.3.6 Çürümezlik

Kullanım süresi boyunca bir ısı yalıtım malzemesinin maruz kaldığı etkiler karşısında çürüyüp veya çözünüp işlevini kaybetmemesi gerekir [28].

3.3.7 İşlenebilirlik

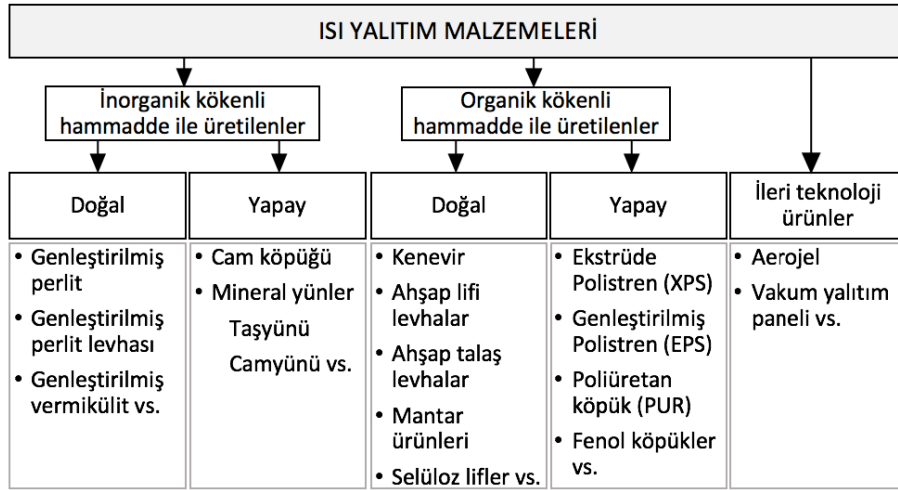
Isı yalıtım malzemeleri uygulanırken değişik aletlerle kesme, delme gibi işlemlerin kolayca yapılabilmesi istenir. İşlenmesi zor olan malzemeler işçilik maliyetini artırır [28].

3.3.8 Maliyet

Isı yalıtım malzemesi seçiminde termik, fiziksel, mekanik vb. özellikler dışında malzemenin ekonomik olması da beklenmektedir.

3.4 Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması

Isı yalıtım malzemeleri literatürde çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Çalışma içerisinde ısı yalıtım malzemeleri hammaddelerinin kökenlerine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.6). Hammadde kökenlerine göre ısı yalıtım malzemeleri inorganik ve organik olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bu iki grup işlenme prosesine bağlı olarak kendi içinde doğal ve yapay olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadır. Doğal olarak belirtilen ürünlerde hammadde değişmeden kalır. Doğal ısı yalıtım malzemelerinin bazıları, yangın geciktirici katkıları veya bağlayıcı malzemeler gibi katkı maddeleri içerir. Bu tür malzemelerin doğal olarak sınıflandırılabilmesi için bu katkıların malzemenin %25'inden fazla olmaması istenmektedir [36].



Şekil 3.6 : Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması [36].

Ülkemizde standartlar ile düzenlenen ısı yalıtım malzemeleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Isı yalıtım malzemelerinin düzenlendiği Türk Standartları [39].

Isı yalıtım malzemesi	Referans numarası	Türk standardı adı
Mineral yünler	TS EN 13162+A1	Isı yalıtım mamulleri - Binalar için - Mineral yünlü (MW) fabrikasyon mamuller - Özellikler
Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)	TS EN 13163+A2	Isı yalıtım mamulleri - Binalar için - Fabrikasyon olarak imal edilen mamuller -Genleştirilmiş polistiren (EPS) - Özellikler
Ekstrüde Polistren köpük levhalar (XPS)	TS EN 13164+A1	Isı Yalıtım Mamulleri-Binalar İçin-Fabrikasyon Olarak Ekstrüzyonla İmal Edilen Polistiren Köpük (XPS)- Özellikler.
Poliüretan sert köpük levhalar (PUR)	TS EN 13165+A2	Isı yalıtım mamulleri-Binalar için-Fabrikasyon olarak imal edilen sert poliüretan köpük (PUR)-Özellikler
Fenolik Köpük (PF)	TS EN 13166	Isı Yalıtım Mamulleri-Binalar İçin-Fabrikasyon Olarak İmal Edilen Fenolik Köpük (PF) - Özellikler
Ahşap lifli levha (WW)	TS EN 13168	Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan-Fabrika Yapımı Rende Yongası(odun yünü) (WW) Mamulleri-Özellikler
Ahşap yünü levha (WF)	TS EN 13171+A1	Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan-Fabrika Yapımı Odun Lifli (WF) Mamuller-Özellikler
Genleştirilmiş mantar levhalar (ICB)	TS EN 13170+A1	Isı Yalıtım Mamülleri-Binalar İçin-Fabrika Yapımı Genleştirilmiş Meşe Mantarı Levhaları (ICB)-Özellikler
Genleştirilmiş perlit (EP)	TS EN 14316-1	Isı yalıtım malzemeleri - Binalar için - Genleştirilmiş perlitten (ep) yerinde yapılan ısı yalıtımı - Bölüm 1: Bağlı ve gevşek dolgulu malzemelerin yerleştirilme öncesi özellikleri
Genleştirilmiş perlit levha (EPB)	TS EN 13169+A1	Isı yalıtım malzemeleri – Binalar için – Genleştirilmiş perlitten fabrikada imal edilmiş mamuller (EPB) – Özellikler

Çizelge 3.2 (Devamı) : Isı yalıtım malzemelerinin düzenlendiği Türk Standartları [39].

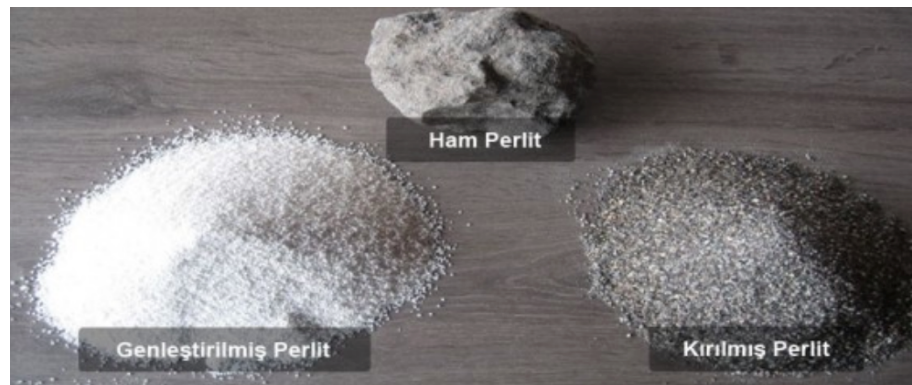
Isı yalıtım malzemesi	Referans numarası	Türk standardı adı
Genleştirilmiş vermikülit (EV)	TS EN 14317-1	Isı yalıtım mamulleri - Binalarda kullanılan - Pullu vermikülit (pv) mamullerle kullanım yerinde uygulanan ısı yalıtımı - Bölüm 1: Bağlı ve gevşek dolgulu mamullerin binaya yerleştirme öncesindeki özellikleri
Cam köpüğü (CG)	TS EN 13167+A1	Isı Yalıtım Ürünleri- Binalarda Kullanılan- Fabrika Yapımı Cam Yünü Ürünleri- Özellikler
Gevşek dolgulu selüloz yalıtım (LFCİ)	TS EN 15101	Binalar için ısı yalıtım mamulleri - Yerinde oluşan gevşek dolgulu selüloz (LFCİ) mamuller - Bölüm 1: Yerine yerleştirme öncesi mamuller için özellikler

3.4.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler

İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemeleri olarak ülkemizde standartlar ile düzenlenen genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş perlit levhası, genleştirilmiş vermikülit, mineral yünler ve cam köpüğü ısı yalıtım malzemesinden bahsedilmiştir.

3.4.1.1 Genleştirilmiş perlit (EP) ve genleştirilmiş perlit levhası (EPB)

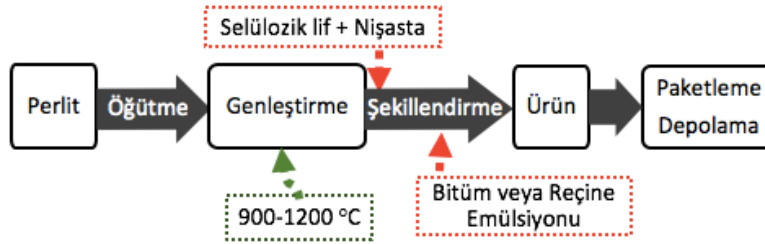
Perlit silisli volkanik kayalardan üretilir. Diğer camsı volkanik kayalardan farkı 900-1200 °C arası yumuşama sıcaklıklarına ulaştığında hacminin 5-20 kat arası artmasıdır (Şekil 3.7). Türkiye’de bolca bulunan perlit, ısı yalıtım uygulamalarında dökme veya levha şeklinde kullanılır [36,40].



Şekil 3.7 : Ham perlit, kırılmış perlit ve genleştirilmiş perlit [41].

Levha üretimi için selülozik liflerle karıştırılıp bağlayıcı olarak nişasta eklenir. Daha sonra basınç altında şekillendirilir. Su geçirimsizlik için bitüm veya reçine emülsiyonları eklenebilir (Şekil 3.8). Ses yalıtımı için mineral yün katmanı ile

birleştirilebilir. Yüksek basınç dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Genleştirilmiş perlit A1 yanmaz malzeme olarak sınıflandırılırken, genleştirilmiş perlit levhası içindeki katkıları nedeniyle C ve D sınıfı alevlenebilir malzemedir [36,40]. Isı iletim katsayıları EP için 0,045-0,055 W/m°C, genleştirilmiş perlit levhası için 0,060 W/m°C dir. Genleştirilmiş perlit birim hacim kütlesi 90-490 kg/m³, genleştirilmiş perlit levhası yoğunluğu birim hacim kütlesi 150-210 kg/m³ arasındadır [42].



Şekil 3.8 : Genleştirilmiş perlit levhası (EPB) üretim şeması.

3.4.1.2 Genleştirilmiş vermikülit (EV)

Vermikülit alüminyum-demir-magnezyum silikat bileşimli kil mineralidir. Renksiz ve yeşil, grimsi beyaz, sarımsı kahverengi, kahverengi ile bronz renklerde olabilen, yarı saydam özelliktedir. Ticari anlamda ise vermikülit, genişleme özelliğine sahip bazı mika grubu minerallerini de kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Vermikülit granülleri 1000 °C ve üzeri sıcaklıklarda ısıtıldığında taş katmanları arasındaki su aniden buharlaşarak, granüllerin hacminin 15-20 kat arası artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.9). Genleştirilmiş vermikülit yapılarda gevşek dolgu şeklinde ısı yalıtım amacıyla kullanıldığı gibi, içerisine bitüm ve çeşitli sentetik yapıştırıcılar katılıp, kalıplanarak levha şeklinde de üretilmektedir [36,43].

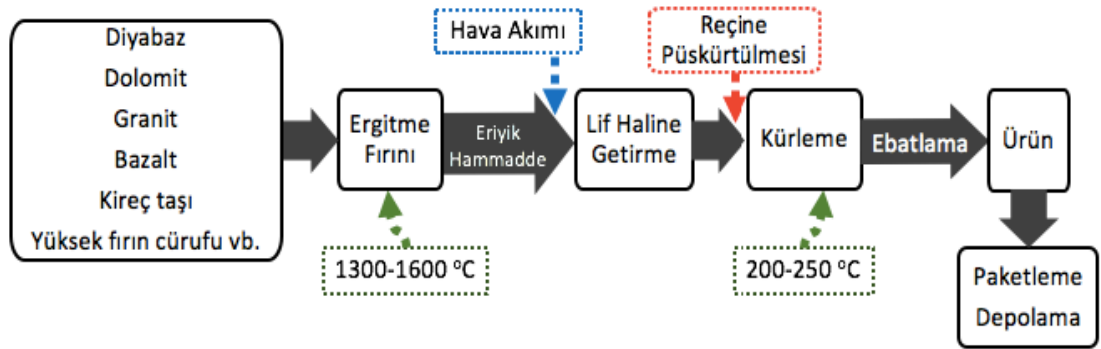


Şekil 3.9 : Vermikülit kayacı, kırılmış vermikülit ve genleştirilmiş vermikülit.

Genleştirilmiş vermikülitin birim hacim kütlesi 70-160 kg/m³, ısı iletkenliği 0,046-0,07 W/m.°C arasındadır. Su emilimi yüksektir ve A1 yanmaz malzeme olarak sınıflandırılır [36].

3.4.1.3 Mineral yünler (MW)

Mineral yün ısı yalıtım malzemeleri TS EN 13162+A1 standardına uygun olarak üretilir. Mineral yün, liflerden üretilmiş birçok inorganik yalıtım malzemesinin genel adıdır. Hammadelere bağlı olarak genellikle taşıyünü, camyünü ve cüruf yünü gibi farklı alt gruplara ayrılır. Mineral yünü üretimi için en sık kullanılan hammadde diyabaz, dolomit, granit, bazalt, kireç taşı vb. doğal taşlardır. Bunun yanısıra endüstriyel atık olarak kabul edilen yüksek fırın cürufu da kullanılır. Amorf yapısı nedeniyle, mineral yün mükemmel ses ve ısı yalıtımı özelliklerine sahiptir [44]. Çoğu kayacın erime sıcaklığı 1300-1600°C aralığındadır. Fırınlarda eriyik malzeme 1400-1600°C aralığında homojen bir yapıya ulaşır. Daha sonra bu malzeme dönen bir diskteki deliklerden merkezkaç kuvveti ile geçirilir ve su buharı püskürtülerek lif haline getirilir. Bu işlem lifleri hızlıca soğutur ve onları camlaştırır. Üretilen lifler bantlarla fırına taşınır ve 200-250°C kürlenir. Bu işlem malzemeyi stabil hale getirir. Daha sonra kesilir, boyutlandırılır, paketlenir ve depolanırlar. İsteğe bağlı olarak reçineli ve reçinesiz olarak üretilirler (Şekil 3.10). Fırınlarda enerji kaynağı olarak en çok kok kömürü kullanılır ancak bunun yanısıra elektrikli ve gazlı fırınlarda kullanılabilir [36,44].

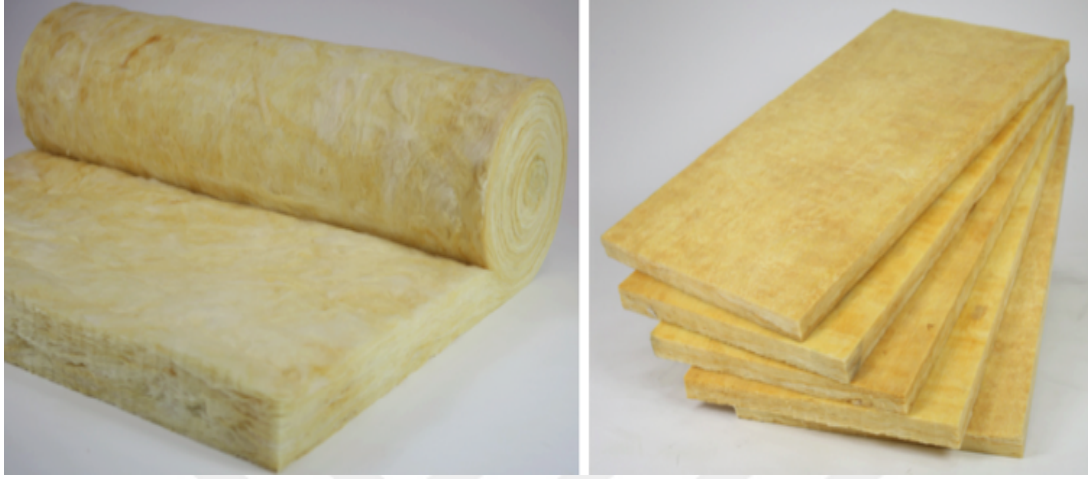


Şekil 3.10 : Mineral yünler üretim şeması.

Camyünü

Camyünü; yüksek silika içerikli kum, kireçtaşı ve geri dönüştürülmüş cam kullanılarak reçineli ve reçinesiz üretilir. Rengi içindeki reçine miktarına bağlı olarak açık veya koyu sarı tonlarındadır [36]. Hammadde kaynakları doğal malzemelerden ve atıklardan oluşmasına rağmen üretimi sırasında ergitme fırınlarında çok fazla enerji harcanır. Üretimi sırasında oluşan atıklar üretim prosesine geri katılır. Endüstriyel manada üretimi sanayi devriminden sonra, ülkemizde ise 1967 yılında olmuştur [35].

Camyünü ısı yalıtım şiltesi ve levhası Şekil 3.11’de verilmiştir. Isı iletim katsayısı 0,035-0,050 W/m.[°]C ve yoğunluğu 8-500 kg/m³ arasındadır [42]. A1 yanmaz, A2 zor yanıcı malzeme olan camyünü küfe, çürümeye, böceklenmeye, korozyona karşı dirençlidir. Taşınması, işlenmesi ve uygulaması kolaydır [36].



Şekil 3.11 : Camyünü ısı yalıtım şiltesi ve levhası [45].

Taşıyünü

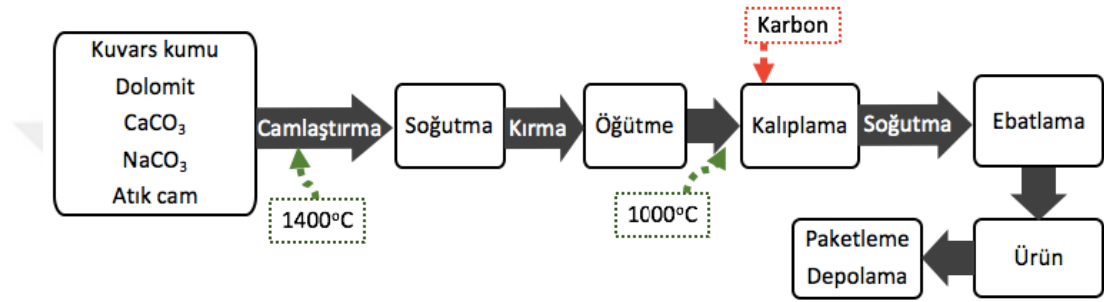
Taşıyünü; diyabaz, dolomit, bazalt gibi doğal taşlar kullanılarak reçineli veya reçinesiz olarak üretilirler. Genelde rengi gri-yeşil tonlardadır. Camyününe göre yoğunluğu daha yüksek olduğu için esnekliği biraz daha azdır. Üretimi sırasında oluşan atıklar üretim prosesine geri katılır [36]. Taşıyünü ısı yalıtım şiltesi ve levhası Şekil 3.12’de verilmiştir. Isı iletim katsayısı 0,035-0,050 W/m[°]C ve yoğunluğu 8-500 kg/m³ arasındadır [42]. A1 yanmaz malzeme olan taşıyünü küfe, çürümeye, böceklenmeye, korozyona karşı dirençlidir. Isı yalıtımı, yangın yalıtımı, akustik düzenleme ve ses yalıtımı için kullanılır. Taşınması, işlenmesi ve uygulaması kolaydır [36].



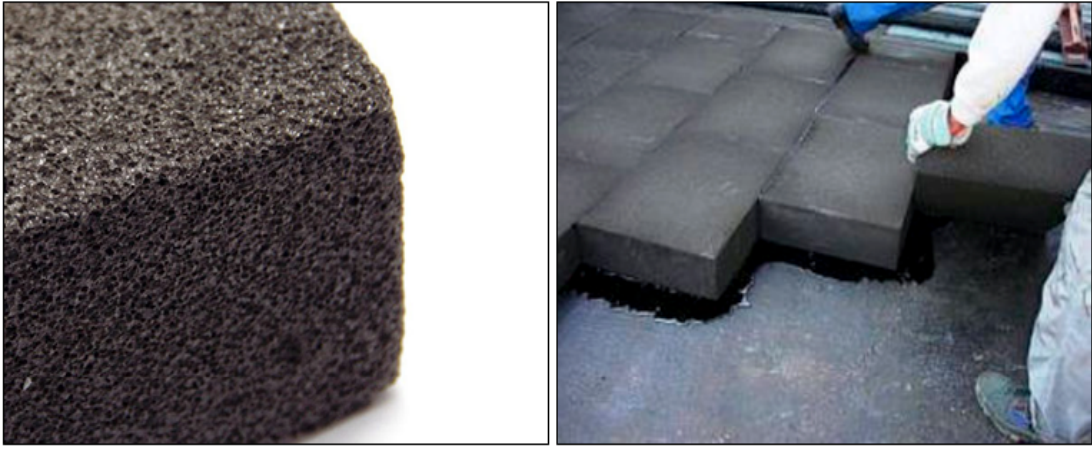
Şekil 3.12 : Taşıyünü ısı yalıtım şiltesi ve levhası [45].

3.4.1.4 Cam köpüğü (CG)

Cam köpüğü veya hücresel camsı ısı yalıtım malzemesi kuvars kumu, dolomit, kalsiyum ve sodyum karbonattan oluşur. Üretiminde atık camlarda kullanılabilir. Şişirici olarak karbon kullanılır. Karışım 1400 °C sıcaklığa ısıtılıp camlaştırılır. Daha sonra soğutulup kırılır ve toz haline getirilir. Oluşan toz tekrar 1000 °C üzerinde kalıplarda ısıtılırken karbon eklenir. Karbon oksitlenerek karışımı köpürten gaz baloncuklarını oluşturur ve malzemenin gözenekli bir yapıda olmasını sağlar. Daha sonra soğutulur ve ebatlanarak depolanır (Şekil 3.13, Şekil 3.14) [36].



Şekil 3.13 : Cam köpüğü ısı yalıtım levhası üretim şeması.



Şekil 3.14 : Cam köpüğü ısı yalıtım levhası ve sıcak bitüm ile uygulanması [46,47].

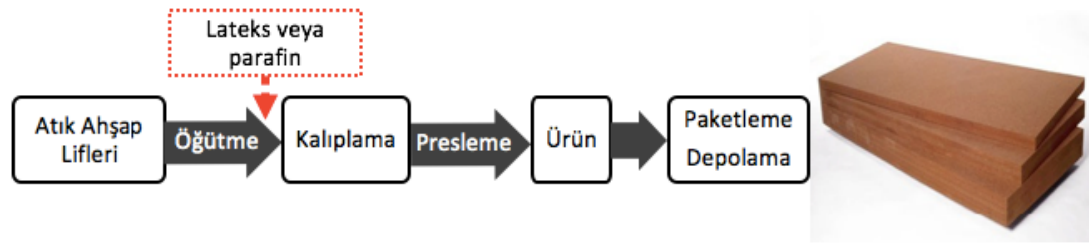
Cam köpüğü şişirici gaz, alev geciktirici veya bağlayıcı içermez. Kapalı gözeneklidir, yüksek basınç dayanımı sahiptir ancak noktasal yükler karşısında kırılabilir. Bu nedenle uygulanacağı yüzey düzgün olmalı, sıcak bitüm ile kaplanmalı ve malzeme yerleştirildikten sonra tüm boşluklar bitüm ile doldurulmalıdır (Şekil 3.14). Kemirgen ve böceklerle karşı dirençlidir. Noktasal yükler altında kolayca kırılabilir[36]. Isı iletim katsayısı 0,045-0,060 W/m.°C arasında, yoğunluğu 100-150 kg/m³ arasındadır [42]. A1 yanmaz malzeme olarak sınıflandırılır. Üstün özelliklerine rağmen yüksek maliyeti nedeniyle üretimi azdır [36].

3.4.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler

Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemeleri olarak ahşap yünü levha (WF), ahşap lifli levha (WW), genleştirilmiş mantar levha (ICB), gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCİ), kenevir, ekstrüde polistren levha (XPS), genleştirilmiş polistren levha (EPS), poliüretan sert köpük levha (PUR) ve fenolik köpük levha (PF) ısı yalıtım malzemesinden bahsedilmiştir.

3.4.2.1 Ahşap yünü levha (WF)

Ahşap yünü levhalar yumuşak veya sert ağaçların işlenmesi sırasında oluşan ahşap liflerinin bağlayıcı olarak lateks veya parafin emülsiyonu ile üretilir. Yangına ve böceklerle karşı koruyucu katkı olarak boraks eklenir. Bazı türlerinde bitüm veya doğal reçine emülsiyonları ile su itici özellikler verilebilir. Üretim şekli kuru ve ıslak olmak üzere iki şekilde olabilir (Şekil 3.15) [36].



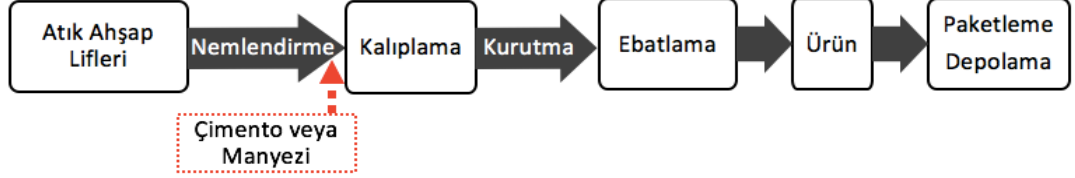
Şekil 3.15 : Ahşap yünü levha ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve malzeme örneği.

Her iki üretim için de önce ahşap lifler öğütülür daha sonra kuru üretim için lateks yapıştırıcı eklenerek basınç altında şekillendirilip levha üretilir. Islak üretim için öğütülmüş ahşap lifler su ve diğer malzemeler eklenerek hamur haline getirilir, basınçla şekillendirilir ve kurutulur. Islak üretimde esas olan ahşabın içinde varolan reçinenin bağlayıcı olmasıdır [36]. Isı iletkenlik katsayısı 0,065-0,070 W/m.°C, birim hacim kütlesi 360-460 kg/m³ arasındadır [42].

3.4.2.2 Ahşap lifli levha (WW)

Ahşap lifli levhalar yumuşak ağaçların işlenmesi sırasında oluşan uzun ahşap lifleri ve bağlayıcı olarak çimento veya manyezi kullanılmasıyla üretilir. Ahşap endüstrisinde ortaya çıkan makine atıkları manyezi veya çimento süspansiyonu ile karıştırılarak kalıplanır ve kuruduktan sonra kesilerek şekillendirilir [36]. Ahşap lifli ısı yalıtım levhası üretim şeması Şekil 3.16'de verilmiştir. Isı iletim katsayısı 0,035-0,070

W/m.°C ve yoğunluğu 110-450 kg/m³ arasındadır [42]. Piyasada polistren ısı yalıtım malzemeleri ile kompozit hale getirilmiş türleri de mevcuttur (Şekil 3.17). Levha yüzeyi pürüzlü yapısı gereği sıva ve harç uygulamaları için uygundur. Geri dönüşümü mümkün değildir. B sınıfı alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır [36].



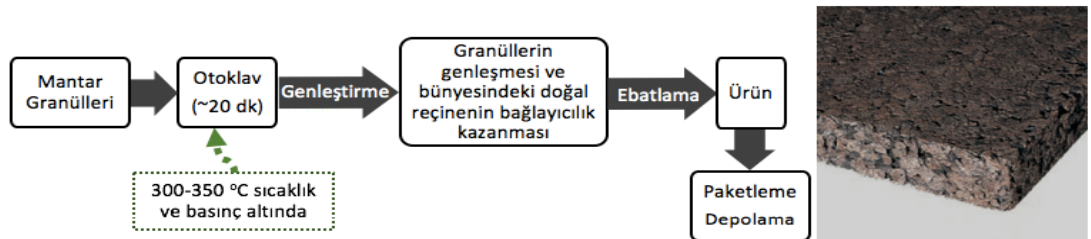
Şekil 3.16 : Ahşap lifli levha ısı yalıtım malzemesi üretim şeması.



Şekil 3.17 : Ahşap lifli levha malzeme örneği [48].

3.4.2.3 Genleştirilmiş mantar levha (ICB)

Genleştirilmiş mantar granülleri herhangi bir yapıştırıcı eklenmeden granüllerdeki doğal reçine ile bağlanır. Bu nedenle tamamen doğaldır. Bitüm ve formaldehit reçine emdirilmiş türleri de vardır. Granüller otoklavda 300-350 °C sıcaklıkta genleştirilir ve basınç altında 20 dakika kadar şekillendirilir. Granüllerin hücre duvarları gerilir ve cepher kalınlığı azalır. Bu işlem sırasında granüllerin hacmi %100 ün üzerinde genişler ve granüller içindeki doğal reçineler bağlayıcılık kazanır (Şekil 3.18). Genleştirilmiş mantar levhanın basınç dayanımı yüksektir ancak yangın geciktirici olmayan türleri alevlenebilir [36,49]. Isı ve ses yalıtım özellikleri (0,045-0,055 W/m°C) iyidir. Yoğunluğu 80-500 kg/m³ arasındadır [42].



Şekil 3.18 : Genleştirilmiş mantar levha üretim şeması ve malzeme örneği.

3.4.2.4 Gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCİ)

Gevşek dolgulu selüloz yalıtım TS EN 15101-1 standardına uygun olarak; atık kâğıt, inorganik yangın geciktirici, böceklenmeyi ve çürümeyi önleyici katkıları ile üretilir. Gevşek dolgu selüloz yalıtımın ısı ile katsayısı 0,040-0,045 W/m.°C arasındadır. Gevşek dolgu olduğu için basınç dayanımı yoktur. E sınıfı alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır [50,51]. Gevşek dolgu selüloz ısı yalıtım malzemesi ve uygulaması Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19 : Gevşek dolgu selüloz yalıtım ve uygulama örneği [52].

3.4.2.5 Kenevir

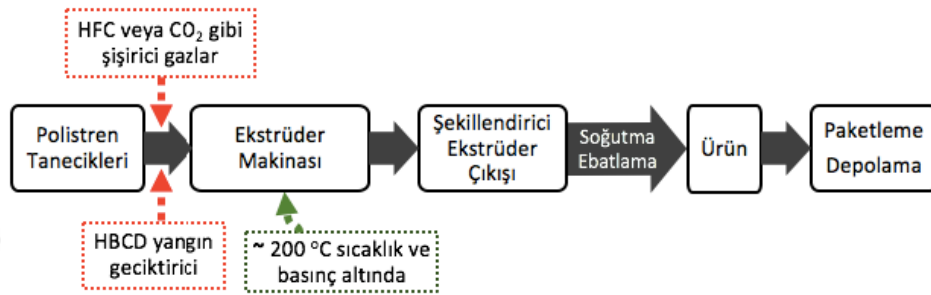
Kenevir yalıtım malzemesi bir standarda bağlanmamıştır. Kenevir bitkisi liflerinden ve hasat sonrası kalan kısımlardan üretilir. İstenilen ürüne bağlı olarak yangın geciktirici olarak borik tuzu veya su geçirimsiz hale getirmek için bitüm eklenebilir. Kenevir yalıtım malzemesinin nem tutma eğilimi fazladır. Nem içeriği arttıkça malzemenin ısı iletim katsayısı artar. Nemden, kemirgenlerden, böceklerden ve suya karşı korunmalıdır. Kenevir yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı 0.040-0.050 W/m.°C , yoğunluğu 20-68 kg/m³ arasındadır. Düşük basınç dayanımı nedeniyle yük altında kalmayacağı çatı duvar ve normal kat döşemesi alt yüzeylerinde, ahşap çerçeve sistemi arasında kullanılabilir (Şekil 3.20). E sınıfı alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır [36,50].



Şekil 3.20 : Kenevir bitkisi, kenevir yalıtım malzemesi ve uygulama örneği [53].

3.4.2.6 Ekstrüde polistren köpük levha (XPS)

1941 yılında Amerikan Savunma Bakanlığı nehirleri geçmek için yüzdürme amaçlı su geçirmeyen yüksek basınç dayanımına sahip hafif köpük malzeme üretimi gelişmelerini finanse etmiştir. Daha sonraları üretilen malzemenin iyi ısı yalıtım özelliği gösterdiğini görmüşlerdir. Ekstrüde polistren yalıtım malzemesi yaklaşık olarak 200 °C sıcaklıkta eritilmiş polistrenin (ham petrolden üretilir) eritilip HFC, CO₂ gibi genleştirici gazlar, yangın geciktirici olarak HBCD (Hexabrom cyclododecane) eklenerek bir ekstrüzyon makinasından geçirilmesiyle üretilir. Soğuduktan sonra istenilen boyutlarda ebatlandırılır, paketlenir ve depolanır (Şekil 3.21). Önceleri XPS üretiminde şişirici gaz olarak halojenli kloroflorokarbonlar (CFC 12, CFC 142b) kullanılıyordu. Yeni düzenlemeler sonrası klorin içermeyen şişirici gazlar (HFC 134a, CO₂, HFC 152a) kullanılmaktadır [36,38]. Şekil 3.22’de malzeme ve uygulama örneği verilmiştir.



Şekil 3.21 : XPS üretim şeması.

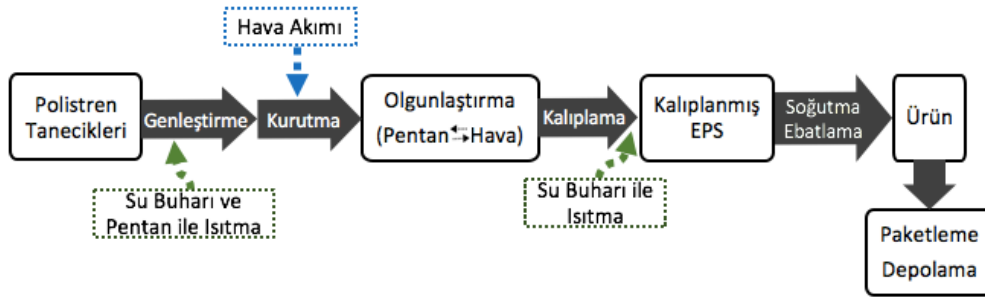


Şekil 3.22 : XPS malzeme ve uygulama örneği [45].

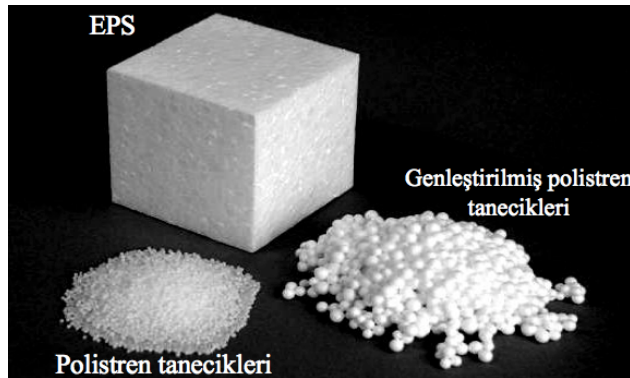
Ekstrüde polistrenin en önemli özellikleri düşük ısı iletim katsayısı (0,030-0,040 W/m.°C), yüksek basınç dayanımı ve nem direncidir. Yoğunluğu ≥ 25 kg/m³ arasındadır. Çürümez, kokmaz ve böcek barındırmaz [36,42]. Kapalı gözenekli yapısı sayesinde su emmesi çok düşüktür. Zemine oturan ve zemin altı döşemelerde uygulanabilir. Taşınması, depolanması ve uygulanması kolaydır. Bu iyi özelliklerinin yanı sıra yangın dayanımı diğer ısı yalıtım malzemelerine göre düşüktür. E sınıfı normal alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır [36].

3.4.2.7 Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)

Genleştirilmiş polistren yalıtım malzemesi üretilirken polistren, şişirici gaz olarak pentan (C_5H_{12}) ve alevlenmeyi geciktirici olarak HBCD (Hexabrom cyclododecane) eklenerek üretilir. Polistren tanecikleri pentan ve su buharı ile ısıtılarak genleştirilir, daha sonra kurutma ve olgunlaştırma sürecinde genleşen tanecikler içindeki pentan gazı yerine hava dolmaya başlar. Kalıplara alınan genleştirilmiş tanecikler yine buharla ısıtılarak ikinci kez genleştirilmesi ve taneciklerin birbirine kaynaşması sağlanır. Kalıplamadan sonra soğutulan blok şeklindeki malzeme istenilen ebatlarda kesilerek paketlenir ve depolanır (Şekil 3.23, Şekil 3.24). E sınıfı normal alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır [36]. Isı iletkenlik katsayısı $0,035-0,040 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ve birim hacim kütlesi $\geq 15 \text{ kg/m}^3$ tür [42].



Şekil 3.23 : EPS üretim şeması.

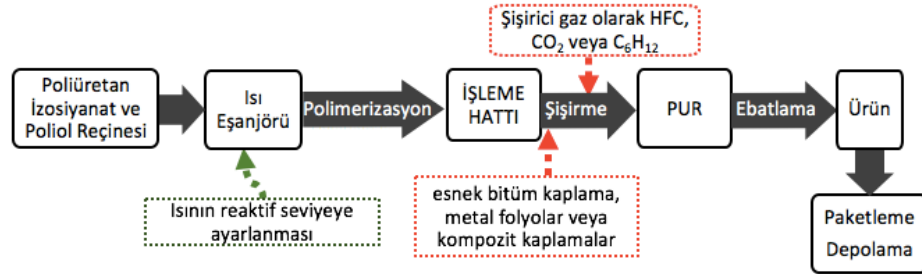


Şekil 3.24 : Polistren tanecikleri, genleştirilmiş polistren tanecikleri ve EPS [54].

3.4.2.8 Poliüretan sert köpük levha (PUR)

Poliüretan izosiyanat, birden fazla hidroksil grubu içeren poliöl reçinesi ve yangın geciktirici katkıları ile üretilir. HFC, CO_2 veya C_6H_{12} gibi şişirici gazlarla genleştirilir [38]. Karışım üretim hattında genleştirilirken alt ve üst yüzeyine isteğe bağlı olarak esnek bitüm kaplama, metal folyolar veya kompozit kaplamalar yapıştırılır (Şekil 3.25,

Şekil 3.26). Kaplamasız olarak kullanıldığında yangına elverişli hale gelir. Yangın durumunda çok zehirleyici olan hidrojeniyanit (HCN) ve izosiyanit gazı salınımı yapar. HCN zehirlenmesi hücresel solunumu engelleyen siyanit anyonundan (CN^-) kaynaklanır [38].



Şekil 3.25 : PUR sert köpük levha üretim şeması.

Isı iletim katsayısı ($0,030-0,040 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) düşüktür ve basınç dayanımı yüksektir. Yoğunluğu $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ tür [33]. Çürümez ve küfe karşı dayanıklıdır ancak ultraviyole ışığa karşı dayanıksızdır. Düz çatılarda, eğimli çatı ve döşemelerde kullanılır. Diğer bir uygulama alanı olarak sandviç panellerde çatı, cephe ve endüstriyel yapılarda kullanılır. Yüksek basınç dayanımı ve ses yalıtımı özellikleri sayesinde ağır yüklere maruz kalan endüstriyel döşemelerde kullanılabilir. B ve C sınıfı alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır [36].

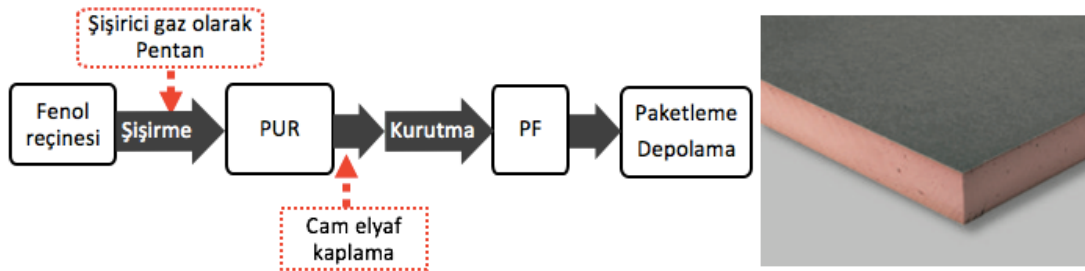


Şekil 3.26 : PUR sert köpük levha malzeme örneği [47].

3.4.2.9 Fenolik köpük levha (PF)

Fenolik köpük levhalar, fenol reçinesi ve şişirici olarak pentan gazının kullanılması ile üretilir. Fenol reçinesi ve şişirici malzeme karıştırılır, taşıyıcı bir bant üzerinde kontrollü ve sürekli bir işlemle köpürtülür. Yapışkan haldeki köpüğün her iki yüzü cam elyaf ile kaplanır ve kurutulur (Şekil 3.27). İlk kez 1970’li yıllarda üretilen bu köpükleri pek az üretici üretir ve yapılarda ısı yalıtımı olarak diğer köpük ısı yalıtımlar kadar kullanılmazlar. Kapalı gözenekli yapısı sayesinde ısı iletkenlik değeri düşüktür.

Yangın dayanımı C sınıfıdır ve tutuşmaz. Ancak yangın anında formaldehit gazı salınımı yapar. Kimyasallara, böceklerle ve çürümeye karşı dirençlidir. Ağır yüklere maruz kalan zeminlerde kullanılabilir. Kolay kesilir. Fenolik köpüklerin su emmesi çok düşüktür. Ancak metallerle bi arada kullanıldığında ve neme maruz kaldığında fenol içerisindeki sülfonik asit çözünerek metal yüzeyde korozyona neden olur. Bu nedenle PF'nin metallerle direkt temasından kaçınılmalıdır. Birim hacim kütlesi 40 kg/m^3 , ısı iletkenlik değeri $0,022-0,04 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ arasındadır [36].



Şekil 3.27 : Fenolik köpük levha üretim şeması ve malzeme örneği.

3.4.3 İleri teknoloji ürünler

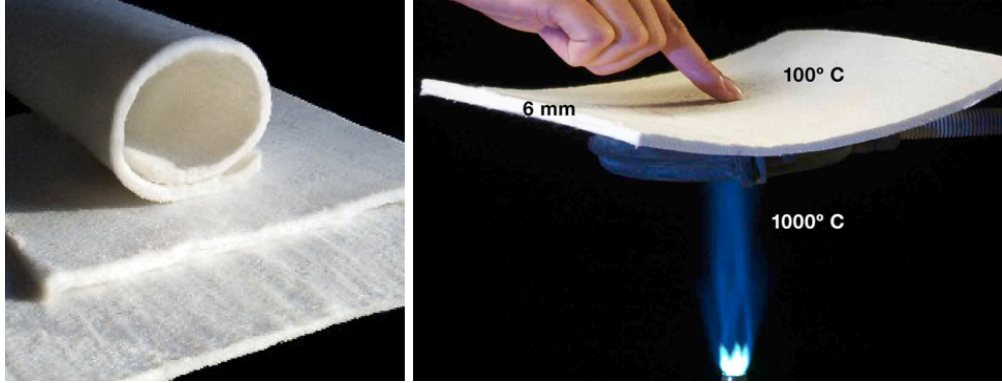
Bu bölümde aerogel ısı yalıtım malzemesi ve vakum yalıtım paneli (VYP)'den bahsedilmiştir.

3.4.3.1 Aerogel

Aerogeller, insanın bildiği en hafif katı maddelerden biridir. Bir polimerin bir çözücü ile bir jel oluşturmak üzere birleştirilmesi ve daha sonra jelin içindeki sıvının uzaklaştırılması ve havayla değiştirilmesi ile oluşturulurlar. Aerogeller nano boyutta gözeneklerden oluşur ve birim hacim kütlesi çok düşüktür [55]. Aerogeller %90 ile %98 aralığında gözenekliliğe sahiptir. Silika, çeşitli metal oksitler, organik polimerler, karbon ve metaller gibi değişik maddelerden elde edilebilirler [56].

Aerogeller 1930'lu yıllarda keşfedilmesine rağmen, NASA'nın araştırma merkezinde yeni tip aerogeller üretebilmek için metodlar geliştirilmiştir. Aerogeller ticari amaçla kullanıldığında genellikle granüler halde veya öteki materyallerle kompozit hale getirilirler. Örneğin; aerogeller yalıtım şiltesi oluşturmak için pamuk ile birleştirilir (Şekil 3.28) veya gün ışığı uygulamalarında saydam paneller oluşturmak için cam panellerin arasına doldurularak uygulanırlar [55]. Aerogellerde yapılan ilk yenilik polimerlerle güçlendirilmiş aerogellerin üretilmesidir. İkinci yenilik ise; aerogellerin tamamen polimerlerden üretilmesi yöntemidir. Polimer kökenli aerogeller %85-95

oranında gözeneklidir. Bu özelliği bildiğimiz klasik aerojellerle aynı avantajlara sahip olduğunu gösterir. Ayrıca polimer kökenli olması malzemeye inanılmaz bir esneklik kazandırır ve bu malzeme ince bir film haline getirilebilir [55].



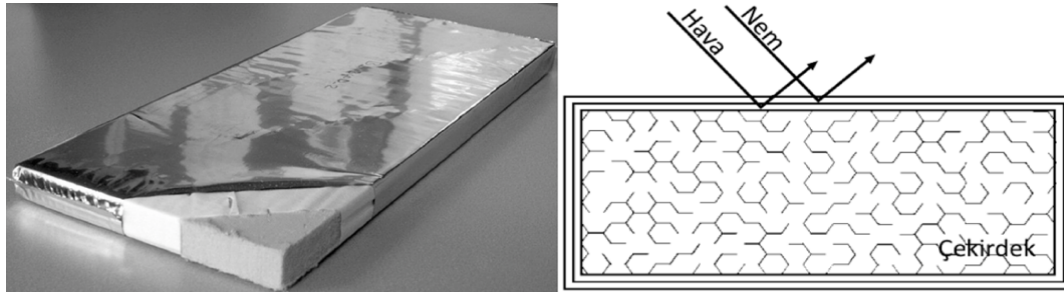
Şekil 3.28 : Aerojel ısı yalıtım örtüsü [57].

Yapıda kullanılan şiltelerin ısı iletkenliği 0,017-0,021 W/m.°C değerleri arasında olduğundan mükemmel ısı yalıtım özelliği gösterir. Yaklaşık 1200 °C sıcaklığa dayanıklıdır ve yoğunluğu 60-80 kg/m³ arasındadır. Nem ve küf oluşumuna karşı direçlidir ve ultraviole ışınlarına uzun süre maruz kaldığında renk kaybı yaşamaz. Kullanım süresi boyunca uzun dönemde özelliklerini kaybetmez. Bu üstün özelliklerine rağmen pahalı olduğu için (1 m² fiyatı yaklaşık 330 dolar) tercih edilme oranı düşüktür [36]. Yapıdaki uygulama alanları iç ve dış duvarlar, döşemeler, tavan ve çatı, teras ve balkon, pencere ve kapı olarak sayılabilir [57].

3.4.3.2 Vakum yalıtım paneli (VYP)

Vakum yalıtım panelleri gaz geçirmez bir muhafaza ve havanın boşaltılmış olduğu açık gözenekli rijit bir çekirdeği kapsar. Kapalı gözenekli malzemeler vakumlama sırasında gözenekler arasındaki gaz ve su buharının atılmasına engel olur bu durum yalıtım panelinin konvansiyonel ısı transferini arttırır. Çekirdek malzemesi olarak aerogel, ısıl işleminden geçirilmiş silika, açık gözenekli poliüretan ve cam lifi gibi malzemeler kullanılır. Panelin zamanla ısı yalıtım özelliklerini kaybetmemesi için hava ve neme karşı korunaklı olması gerekir. Bu nedenle bir koruyucu zarf ile kaplanırlar (Şekil 3.29). Bu zarf 3 katmandan oluşur. İçteki katman sızdırmazlık katmanıdır. Çekirdek malzemesini kapatır ve düşük veya yüksek yoğunluklu polietilenden (PE) oluşur. Ortadaki katman bariyer katmanıdır. Bu katman bir alüminyum folyo veya çok tabakalı bir laminat olabilir. Bariyer tabakasının amacı çekirdeği su buharı ve hava geçişine karşı korumaktır. Dış katmanı oluşturan polietilen

tereftalat (PET) paneli dış etkenlere karşı korur. Taşınması ve montajı sırasında alt katmanların yırtılmasını önler [58].



Şekil 3.29 : Vakum yalıtım paneli ve prensip şeması [58,59].

VYP ile 0,0053 gibi çok düşük ısı iletkenlik değerine ulaşılabilir. Bu değerler geleneksel ısı yalıtım malzemelerinden 5-10 kat daha azdır. Çekirdek malzemesine bağlı olarak, hasar görmüş olsa bile yalıtım paneli düşük ısı iletkenlik (örneğin 0,02 W/m.°C) sağlayabilir. Standart üretim boyutları dışına çıkınca iki kat kadar maliyet artışı olabilmektedir [36]. Yapıda duvar, döşeme, tavan, çatı, dış cephe, pencere yalıtımı ve hazır prefabrik beton panel uygulamalarında kullanılır. [59].

Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri Çizelge 3.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.3 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri ve ilgili Türk Standartları.

		ISI YALITIM MALZEMESİ																
		İNORGANİK KÖKENLİ HAMMADDE İLE ÜRETİLENLER						ORGANİK KÖKENLİ HAMMADDE İLE ÜRETİLENLER									İLERİ TEKNOLOJİ ÜRÜNLER	
DOĞAL			YAPAY			DOĞAL					YAPAY							
MALZEME ÖZELLİKLER İ		EP	EPB	EV	Camyünü	Taşyünü	CG	WF	WW	ICB	LFCİ	Kenevir	XPS	EPS	PUR	PF	Aerojel	VYP
TERMİK	Isı iletkenlik (W /m. °C)	0,060	0,045 0,07	0,046 0,070	0,035 0,050	0,035 0,050	0,045 0,060	0,065 0,090	0,035 0,070	0,045 0,055	0,040 0,045	0,040 0,050	0,030 0,040	0,035 0,040	0,030 0,040	0,022 0,040	0,017 0,020	≤ 0.0053
	Yangın dayanımı	A1	C D	A1	A1 A2	A1	A1	B	B	E	E	E	E	E	B C	C	C	—
FİZİKSEL	Birim hacim kütle(kg/m³)	90 490	150 210	70 160	15 150	20 200	100 150	360 460	110 450	90 490	30 80	20 68	≥25	≥15	≥30	40	60 80	210
	Ort. Su emilimi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük
	Buhar difüzyon direnci(μ)	3 5	3 5	3 4	1	1	∞	2 5	5	5 10	1 2	1 2	80 250	20 100	30 100	60	5	∞
MEKANİK	Basınç dayanımı (kPa)	—	200 300	—	15 80	15 80	700 1700	40 200	150 200	100 200	—	—	150 700	60 200	100 500	120	>80	≥150
Kimyasal etkilere dayanıklılık		+++	+++	+++	+++	++	+++	++	++	++	-	-	-	-	+++	++	—	—
Parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık		+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Çürümezlik		Çürümez	Çürümez	Çürümez	Çürümez	Çürümez	Çürümez	Çürüyebilir	Çürüyebilir	Çürümez	Çürüyebilir	Çürüyebilir	Çürümez	Çürümez	Çürümez	—	Çürümez	Çürümez
İşlenebilirlik		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
Maliyet *		Orta	Yüksek	Orta	Orta Düşük	Düşük	Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Orta	—	Orta Düşük	Orta Yüksek	Orta Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
İlgili Türk Standartı		TS EN 14316-1	TS EN 13169+A1	TS EN 14317	TS EN 13162+A1	TS EN 13162+A1	TS EN 13167+A1	TS EN 13171+A1	TS EN 13168	TS EN 13170+A1	TS EN 15101-1	Yok	TS EN 13164+A1	TS EN 13163+A2	TS EN 13165+A2	TS EN 13166	Yok	Yok
(+++): iyi, (++): orta, (-): kötü, (—): Bilgi yok																		
(*) Maliyet değerlendirmesi piyasadaki birim fiyat ortalaması ve [60] yararlanılarak belirlenmiştir.																		

3.5 Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması

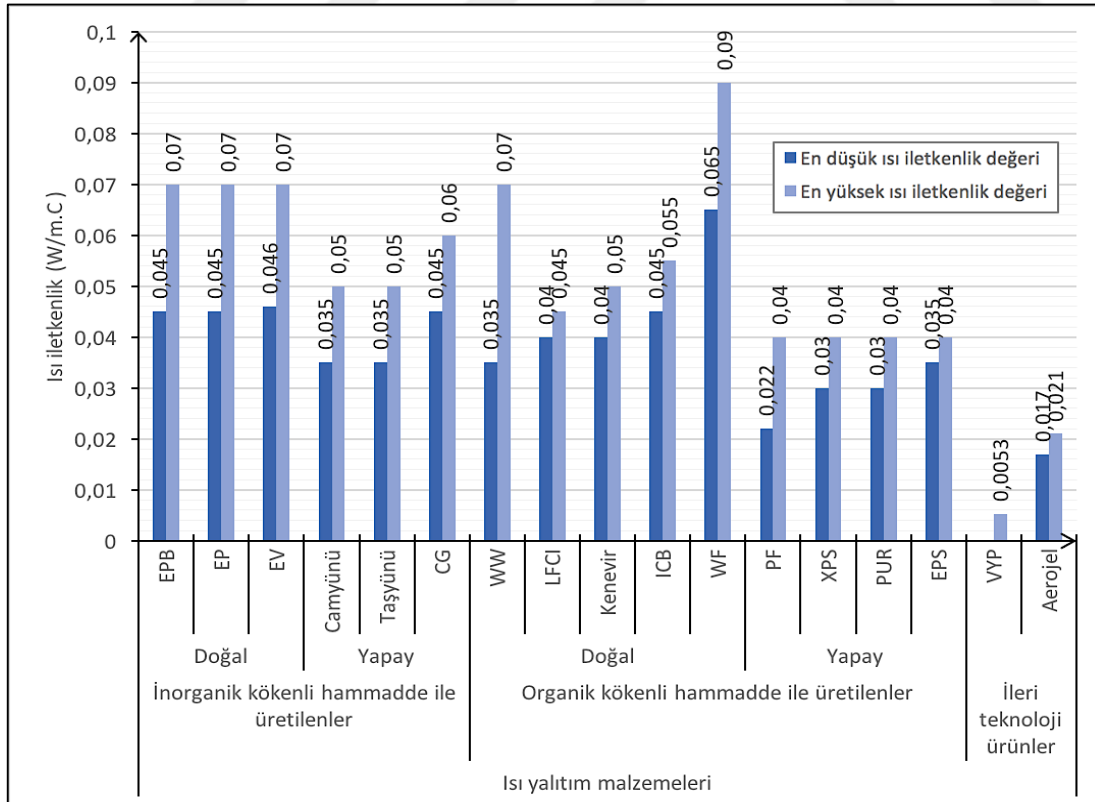
Bu bölümde, anlatımı yapılan yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin türlerine göre termik özellikleri (ısı iletkenlik ve yangın dayanımı), fiziksel özellikleri (birim hacim kütle, su emilimi, buhar difüzyon direnci), mekanik özelliği (basınç dayanımı), kimyasal etkilere dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik, işlenebilirlik ve maliyet özellikleri açısından karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.5.1 Termik özellikler

Termik özellikler açısından karşılaştırma yapılırken malzemelerin ısı iletkenliği ve yangın dayanım özelliği dikkate alınmıştır.

3.5.1.1 Isı iletkenlik

Isı yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik değerinin $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 'den düşük olması istenir. Genel olarak ısı yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik değeri $0,03-0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ değerleri arasındadır. Şekil 3.30'da verilen sütun grafikte ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenlik değeri verilmiş ve en düşük ısı iletkenlik değerine göre sıralanmıştır.



Şekil 3.30 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.

İnorganik kökenli ısı yalıtım malzemeleri:

- **Doğal** türleri yapay olan türlerine göre daha yüksek ısı iletkenlik göstermektedir. Doğal olan EP ve EV ısı yalıtım malzemelerinin üretimleri benzerdir ve gevşek dolgu şeklinde uygulanır. EP bağlayıcı ile levha haline (EPB) getirilebilir. Levha haline getirilince birim hacim kütlesi artar ancak ısı iletkenlik özelliği değişmez [40].
- **Yapay** türleri içinde mineral yünler, CG'ye göre daha düşük ısı iletkenlik göstermektedir. CG mineral yünlerden farklı olarak kapalı gözenekli bünye yapısına sahiptir. Isı iletkenlik, birim hacim kütle ve maliyet dışındaki özellikler bakımından mineral yünlerden daha üstün özelliktedir.

Organik kökenli ısı yalıtım malzemeleri:

- **Doğal** olan türleri yapay olan türlerine göre daha yüksek ısı iletkenlik göstermektedir. Organik kökenli doğal ısı yalıtım malzemeleri WW, LFCİ, kenevir ve ICB benzer ısı iletkenlik değerine sahiptir ancak LFCİ ısı yalıtım farklı olarak gevşek dolgu şeklinde çatı aralarına veya yapı boşluklarına püskürtülerek uygulanmaktadır. LFCİ ısı iletkenlik değeri liflerin zamanla çökmesi sonucu zamanla yükselebilmektedir [32].
- **Yapay** türleri genelde köpük şeklindedir ve ileri teknoloji ürünler hariç diğer ısı yalıtımlara göre daha düşük ısı iletkenliğine sahiptir.

İleri teknoloji ürünler: VYP ve aerojel ısı yalıtım malzemeleri ileri derecede düşük ısı iletkenlik göstermektedir.

3.5.1.2 Yangın dayanımı

Günümüzde ısı yalıtımının uygulanma şekilleri veya yangın güvenliğinin göz ardı edilmesi yangın anında ek tehlikeler getirebilmektedir. Tüm organik köpük ısı yalıtımlar, selüloz ısı yalıtım ve organik bağlayıcılı ısı yalıtımların hepsi yanıcıdır [27]. Isı yalıtım malzemelerinin yangın dayanım sınıfları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

- Genel olarak inorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin organik kökenlilere göre daha iyi yangın dayanımı gösterdiği görülmektedir.
- Organik kökenli ısı yalıtımlar yangın anında zehirli gaz salınımı yaparlar. Poliüretan köpükler hidrojeniyanit (HCN) ve izosiyanit gazı salınımı yaparak

HCN zehirlenmesine neden olurken [29], EPS köpükler stiren ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) salınımı yapar. PF'nin ise yangın anında tutuşması nerdeyse imkansızdır ancak formaldehit salımı yapar [36].

- Organik kökenli doğal yalıtım malzemelerinden ICB yüksek ısıya maruz kaldığında fenol ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) salınımı yaparken yangın anında ayrıca alkol, aldehytler ve asetik asit salınımı yapmaktadır [29]. LFCİ ise içerdiği borik asit tuzları nedeniyle, yangın anında su ile söndürülmesi durumunda borik tuzların yer altı sularını kirletme riski bulunmaktadır [36].

Çizelge 3.4 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin yangın dayanım sınıfları.

Isı Yalıtım Malzemesi			Yangın Dayanım Sınıfı
İnorganik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Genleştirilmiş perlit (EP)	A1
		Genleştirilmiş Perlit Levha (EPB)	C-D
		Genleştirilmiş vermikülit (EV)	A1
	Yapay	Camyünü	A1-A2
		Taşıyünü	A1
		Cam Köpüğü (CG)	A1
Organik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Ahşap lifli levha (WW)	B
		Ahşap yünü levha (WF)	B
		Genleştirilmiş mantar levhalar (ICB)	E
		Gevşek dolgulu selüloz yalıtım (LFCİ)	E
		Kenevir	E
	Yapay	Ekstrüde polistren köpük levhalar (XPS)	E
		Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)	E
		Poliüretan sert köpük levhalar (PUR)	B-C
İleri Teknoloji Ürünler		Fenolik köpük (PF)	C
		Aerojel	C
		Vakum yalıtım paneli (VYP)	—

(—) Bilgi yok.

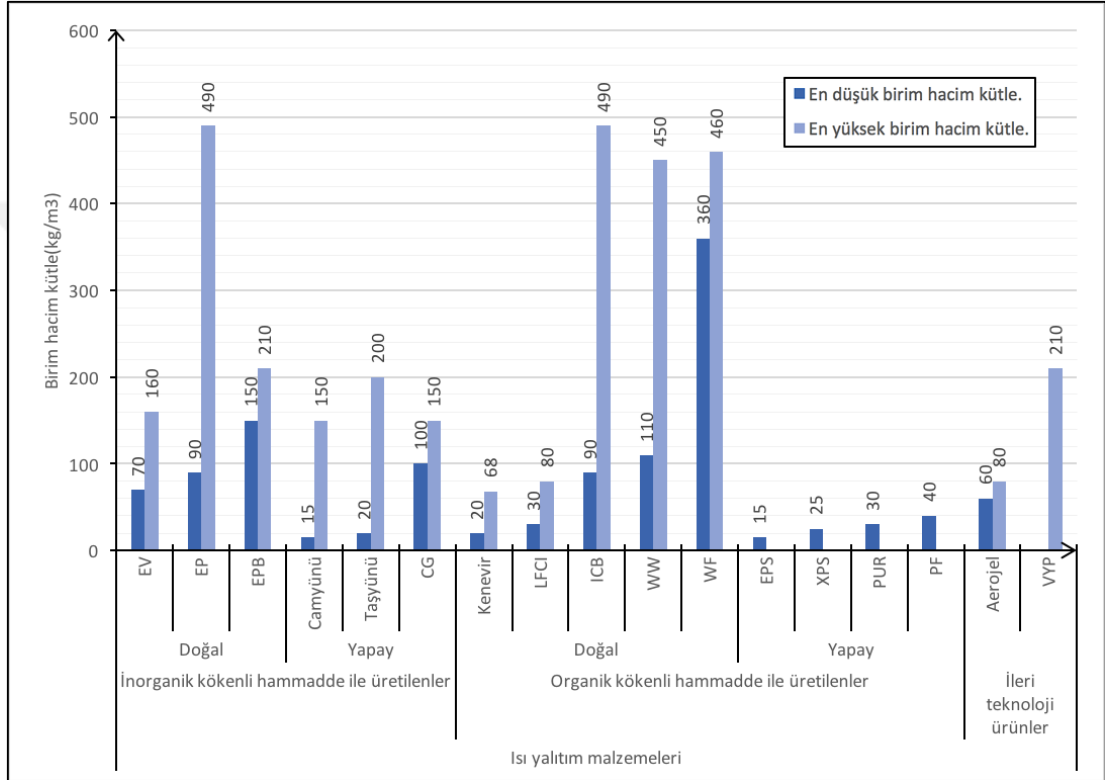
3.5.2 Fiziksel özellikler

Fiziksel özellikler açısından karşılaştırma yapılırken malzemelerin birim hacim kütlesi, su emilimi, buhar difüzyon direnç faktörü özellikleri dikkate alınmıştır.

3.5.2.1 Birim hacim kütle

Düşük birim hacim kütle ısı yalıtım malzemelerinde aranan bir özelliktir ve yüksek boşluk hacmiyle, dolayısıyla düşük ısı iletkenlik ile ilişkilendirilir. Isı yalıtım malzemelerinde genelde tercih edilen yoğunluk değeri 20-100 kg/m³ arasındadır. Daha düşük yoğunluklarda radyasyon(ışınım) yoluyla ısı iletimi artarken, daha yüksek

yoğunluklarda taşınım yoluyla ısı iletimi artmaktadır [36]. Isı yalıtım malzemelerinin tüm türleri piyasada çok değişik yoğunluklarda üretilmektedir. Kullanım yerine göre birim hacim kütle önem kazanmaktadır. Örneğin; üstü açık döşemelerde cam yünü kullanılacaksa 60 kg/m^3 'ten, polistren köpükler kullanılacaksa 30 kg/m^3 'ten yüksek birim hacim kütleyle sahip türleri tercih edilir [27]. Şekil 3.31'de verilen sütun grafikte yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi verilmiş ve en düşük birim hacim kütle değerine göre sıralanmıştır.



Şekil 3.31 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.

İnorganik kökenli ısı yalıtımlar:

- Genel olarak yapay türleri doğal türlerine oranla daha düşük birim hacim kütleyle sahiptir.
- **Doğal** olan EPB levhaların birim hacim kütlesi EP'ye göre yüksek olmasına rağmen aynı ısı iletkenlik özelliği gösterir. Genleştirilmiş vermikülit, genleştirilmiş perlit ürünlerine göre daha düşük birim hacim kütleyle sahiptir.
- **Yapay** türlerinden olan mineral yünler, cam köpüğüne göre daha düşük birim hacim kütleyle sahiptir. Mineral yünler basınca maruz kaldığında kalınlık kaybına uğrar ve birim hacim kütlesi artar. Dolayısıyla ısı yalıtımı özelliğini kaybeder. Cam köpüğü için böyle bir durum söz konusu değildir.

Organik kökenli ısı yalıtımlar:

- Genel olarak organik kökenli doğal ısı yalıtımlar (kenevir ve LFCİ hariç), organik kökenli yapay ısı yalıtım köpüklerine göre daha yüksek birim hacim kütleyle sahiptir. Buda organik kökenli yapay ısı yalıtımlara çok iyi ısı yalıtım özelliği kazandırmaktadır.

İleri teknoloji ürünler: Aerojeller mineral yünlere benzer olarak düşük birim hacim kütleyle sahiptir.

3.5.2.2 Su Emilimi

Isı yalıtım malzemeleri bünyelerine su aldıkları zaman ısı yalıtım özelliğini kaybederler. Çünkü hava boşluklarına dolan suyun ısı iletkenlik değeri havaya göre 20 kat daha fazladır. Dolayısıyla su emilimi genellikle ısı iletkenlik değerinin yükselmesi ile bağlantılıdır [36]. Bu nedenle ısı yalıtım malzemelerinde su emilimi istenmeyen bir özelliktir. Isı yalıtım malzemelerinin ortalama su emilimi değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin ortalama su emilimi.

Isı Yalıtım Malzemesi			Ort. Su emilimi
İnorganik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Genleştirilmiş perlit (EP)	Yüksek
		Genleştirilmiş Perlit Levha (EPB)	Yüksek
		Genleştirilmiş vermikülit (EV)	Yüksek
	Yapay	Camyünü	Yüksek
		Taşıyünü	Yüksek
		Cam Köpüğü (CG)	Düşük
Organik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Ahşap lifli levha (WW)	Yüksek
		Ahşap yünü levha (WF)	Yüksek
		Genleştirilmiş mantar levhalar (ICB)	Orta
		Gevşek dolgulu selüloz yalıtım (LFCİ)	Yüksek
		Kenevir	Yüksek
	Yapay	Ekstrüde polistren köpük levhalar (XPS)	Düşük
		Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)	Düşük
		Poliüretan sert köpük levhalar (PUR)	Düşük
İleri Teknoloji Ürünler		Fenolik köpük (PF)	Düşük
		Aerojel	—
		Vakum yalıtım paneli (VYP)	Düşük

(—) Bilgi yok.

İnorganik kökenli ısı yalıtımlar:

- Doğal** türlerinin su emmesi yüksektir. Genleştirilmiş perlit ürünleri üretilirken su itici özellik vermek için içerisine sentetik reçine veya bitüm emilsiyonları

eklenebilir. Genleştirilmiş vermikülitin su itici içermeyen türleri su ve nemden korunmalıdır.

- **Yapay** olan mineral yünler ve cam köpüğü yapıları gereği hafiftir. Ancak cam köpüğü kapalı gözenekli yapısı sayesinde bünyesine su almazken, lifsel yapıdaki mineral yünler bünyelerine çok fazla su alır. Mineral yünlerin su ve nemden korunmaları gerekmektedir. Mineral yünlerin üretimi sırasında içerisine su itici kimyasallar eklenebilir.

Organik kökenli ısı yalıtımlar:

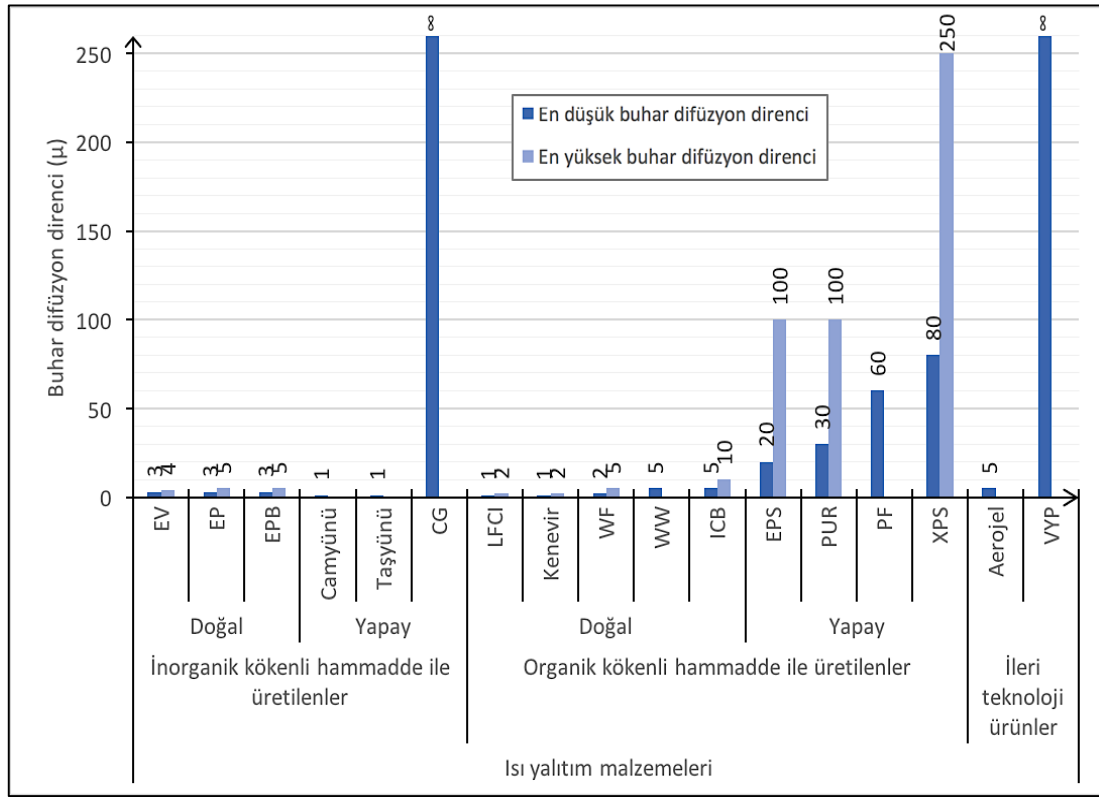
- **Doğal** türlerinin su emilimi, yapay türlerine göre daha yüksektir. WW ve WF bünyesine su alınca şişme yaparlar bu nedenle sudan korunmalıdırlar. LFCİ hidrofilik özelliktedir ve su ile şişme yapar. Kesinlikle su ve neme karşı korunmalıdır. Kenevirin su emmesi yüksektir ancak üretilirken içine su itici olarak bitüm katılabilir.
- **Yapay** türlerinin su emilimi çok düşüktür. XPS nerdeyse hiç su emmediği için yeraltı suyuna maruz kalacak yerlerde ek bir koruyucu katman gerektirmeden uygulanan tek ısı yalıtım malzemesidir. Fenolik köpüklerin su emmesi çok düşüktür. Ancak metallerle bir arada kullanıldığında ve neme maruz kaldığında fenol içerisindeki sülfonik asit çözünerek metal yüzeyde korozyona neden olur. Bu nedenle PF'nin metallerle direkt temasından kaçınılmalıdır [36].

İleri teknoloji ürünler: Vakum yalıtım panelleri su geçirimsiz sayılabilir. Koruyucu zarflar ile çevrelenmiş çekirdek malzemesi açık gözenekli yapıdadır. Bu nedenle koruyucu zarfın taşınma ve montaj sırasında zarar görmesi malzemenin bünyesine su almasına dolayısıyla ısı iletkenlik değerinin yükselmesine neden olacaktır.

3.5.2.3 Buhar difüzyon direnci

Isı yalıtım malzemesi seçiminde buhar difüzyon direnci önemli bir değerdir. Isı yalıtımlı duvarlarda ısı yalıtımın içte veya dışta kullanılması durumuna göre malzemenin buhar direnci önem kazanmaktadır. Buhar basıncının daha düşük olduğu dış kısımda kullanılacaksa ısı yalıtım malzemesinin μ değerinin daha düşük olması istenir. Eğer buhar basıncının yüksek olduğu iç kısımda kullanılacaksa μ değerinin yüksek olması istenir veya kesit içinde buhar kontrolünün yapılması gerekir. Aksi durumda su buharı ısı yalıtım üzerinde yoğunlaşacak ve malzemenin ıslanıp ısı yalıtım

özelliğini kaybetmesine, çürümesine vb. neden olacaktır. Isı yalıtım malzemelerinin buhar difüzyon direnci Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek buhar difüzyon direnci.

İnorganik kökenli ısı yalıtımlar: Doğal ve yapay türlerinin genel olarak buhar difüzyon direnci düşüktür. Su buharına fazla bir direnç göstermeden içinden geçmesine izin verecek şekilde açık gözeekli yapıdadırlar. Cam köpüğü diğerlerinin aksine kapalı gözenekli yapısı nedeniyle buharın geçişine izin vermez. Bu nedenle buhar difüzyon direnci sonsuz (∞) olarak kabul edilmektedir. Mineral yünler buhar geçirimsiz hale getirilmek için yüzeyleri alüminyum folyo ile kaplanabilir.

Organik kökenli ısı yalıtımlar: Doğal olan türleri yapay olanlara göre daha düşük μ değerine sahiptir. Yapay olan türleri diğer ısı yalıtım malzemelerine göre (VYP ve CG hariç) su buharının geçişine daha fazla direnç gösterir. İhtiyaç durumunda PUR ısı yalıtım malzemesinin yüzeyleri buhar geçirimsiz kaplamalar ile kaplanabilir.

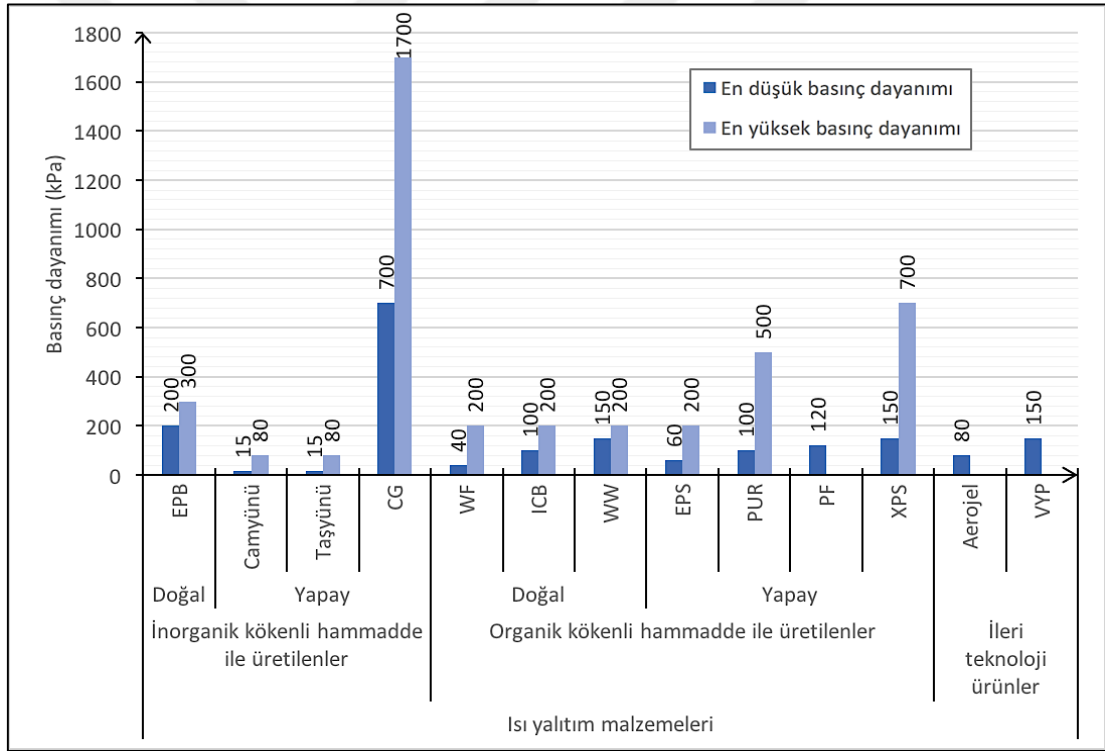
İleri teknoloji ürünler: Aerojeller su buharının geçişine izin verecek bünye yapısına sahiptir. VYP buhar geçirimsizdir bu nedenle μ değerleri sonsuz (∞) kabul edilir. Ancak VYP’nin koruyucu zarfının zarar görmesi durumunda açık gözenekli yapısı nedeniyle buhar geçirimli bir hale dönüşecektir.

3.5.3 Mekanik özellikler

Mekanik özellikler açısından karşılaştırma yapılırken malzemelerin basınç dayanımı dikkate alınmıştır.

3.5.3.1 Basınç dayanımı

Isı yalıtım malzemeleri için minimum basınç dayanımı gerekliliği kullanıldığı kesite göre değişmektedir. Üzerine yük gelen döşeme kesitlerinde ısı yalıtım malzemesinin noktasal yüklere karşı yeterli mukavemette olması ve/veya korunması gerekmektedir. Örneğin; yüke maruz kalan toprak temalı perde duvar yalıtımında veya ters teras çatı yalıtımında basınç mukavemetinin 300 kPa'dan yüksek olması istenmektedir [42]. Isı yalıtım malzemelerinin sahip olduğu en düşük ve en yüksek basınç dayanımı Şekil 3.33'de verilmiştir.



Şekil 3.33 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.

İnorganik kökenli ısı yalıtımlar: EPB ısı yalıtım malzemesi mineral yünlere göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Cam köpüğü ise tüm ısı yalıtımlara göre yüksek basınç dayanımı göstermektedir. Ancak cam köpüğü noktasal yüklere karşısında oldukça kırılgandır. Bu nedenle uygulanacağı yüzey düzgün olmalı, sıcak bitüm ile kaplanmalı ve yerleştirildikten sonra tüm boşluklar bitüm ile doldurulmalıdır [36].

Organik kökenli ısı yalıtımlar: Yapay olan türleri genel olarak doğal olan türlerine göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. XPS yüksek basınç dayanımına sahip olduğu için genelde zemin altı uygulamalarda tercih edilmektedir. PUR yüksek basınç dayanımı nedeniyle ağır yük taşıyan endüstriyel döşemelerde tercih edilmektedir.

İleri teknoloji ürünler: VYP yüksek basınç dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilmesede [36], yüksek basınç dayanımına sahiptir. Aerojellerin yapıdaki uygulamaları şilte şeklinde olduğundan basınç dayanımı düşüktür.

3.5.4 Kimyasallara karşı dayanıklılık, parazit barındırmama ve çürümezlik

Yaygın kullanılan ısı yalıtımların kimyasallara karşı dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik karşılaştırma tablosu Çizelge 3.6’te gösterilmiştir. Tüm yapı malzemelerinde olduğu gibi ısı yalıtım malzemelerininde kimyasallara, parazitlere karşı dayanıklı olması, parazit barındırmaması ve çürümez nitelikte olması istenir [30].

Çizelge 3.6 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin kimyasal etkilere dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik özellikleri.

Isı Yalıtım Malzemesi			Kimyasal etkilere dayanıklılık	Parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık	Çürümezlik
İnorganik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Genleştirilmiş perlit (EP)	+++	+++	Çürümez
		Genleştirilmiş Perlit Levha (EPB)	+++	+++	Çürümez
		Genleştirilmiş vermikülit (EV)	+++	+++	Çürümez
	Yapay	Camyünü	+++	+++	Çürümez
		Taşıyünü	++	+++	Çürümez
		Cam Köpüğü (CG)	+++	+++	Çürümez
Organik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Ahşap lifli levha (WW)	++	++	Çürüyebilir
		Ahşap yünü levha (WF)	++	++	Çürüyebilir
		Genleştirilmiş mantar levhalar (ICB)	++	+++	Çürümez
		Gevşek dolgulu selüloz yalıtım (LFCI)	-	+++	Çürüyebilir
		Kenevir	-	-	Çürüyebilir
	Yapay	Ekstrüde polistren köpük levhalar (XPS)	-	+++	Çürümez
		Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)	-	+++	Çürümez
		Poliüretan sert köpük levhalar (PUR)	-	+++	Çürümez
		Fenolik köpük (PF)	++	+++	—
İleri Teknoloji Ürünler	Aerojel		—	+++	Çürümez
	Vakum yalıtım paneli (VYP)		—	+++	Çürümez

(+++): iyi, (++) : orta, (-) : kötü, (—) Bilgi yok.

Isı yalıtım malzemeleri türlerine ve bünye yapılarına bağlı olarak böceklenebilir veya bazı kimyasallara karşı duyarlı olabilir. Bitkisel kökenli ısı yalıtım malzemeleri parazitlerin barınmasına ortam hazırlayabilir [30]. Organik kökenli yapay ısı yalıtım

malzemeleri kimyasallara karşı diğer ısı yalıtım malzemelerine oranla daha duyarlıdır. PUR sert köpük levhalar yapıştırıcılardaki çözücülere karşı iyi direnç gösterirken; yakıtlara, mineral yağlara, seyreltik asitlere ve alkalilere belirli bir derece direnç gösterebilir. XPS ısı yalıtım malzemesinin çözücü, yapıştırıcı ve mineral yağlar karşısında yüzeyi zarar görebilir ve hatta bu kimyasalların yüksek konsantrasyonları karşısında tamamen eriyebilir. EPS ısı yalıtım malzemesi yakıtlara, çözücülere ve madeni yağlara karşı oldukça duyarlı olmasına karşın asit ve alkalilerden önemli ölçüde etkilenmez. Ayrıca LFCİ ısı yalıtım malzemesinde asit ve alkalilerden etkilenir [36].

3.5.5 İşlenebilirlik ve maliyet

Isı yalıtım malzemeleri uygulanırken değişik aletlerle kesme, delme gibi işlemlerin kolayca yapılabilmesi istenir. Güç işlenen malzemeler işçilik maliyetini artırır [28]. Isı yalıtım malzemelerinin işlenebilirlik ve maliyet değerlendirmesi Çizelge 3.7’te verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin işlenebilirlik ve maliyet değerlendirmesi.

Isı Yalıtım Malzemesi			İşlenebilirlik	Maliyet
İnorganik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Genleştirilmiş perlit (EP)	+++	Orta
		Genleştirilmiş Perlit Levha (EPB)	+++	Yüksek
		Genleştirilmiş vermikülit (EV)	+++	Orta
	Yapay	Camyünü	+++	Düşük
		Taşyünü	+++	Orta-Düşük
		Cam Köpüğü (CG)	+++	Yüksek
Organik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Ahşap lifli levha (WW)	++	Orta
		Ahşap yünü levha (WF)	+++	Orta
		Genleştirilmiş mantar levhalar (ICB)	-	Düşük
		Gevşek dolgulu selüloz yalıtım (LFCİ)	+++	Orta
		Kenevir	+++	—
	Yapay	Ekstrüde polistren köpük levhalar (XPS)	+++	Orta-Düşük
		Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)	+++	Orta-Yüksek
		Poliüretan sert köpük levhalar (PUR)	+++	Orta-Yüksek
		Fenolik köpük (PF)	+++	Orta
İleri Teknoloji Ürünler		Aerojel	+++	Yüksek
		Vakum yalıtım paneli (VYP)	-	Yüksek

(+++): iyi, (++): orta, (-): kötü, (—) Bilgi yok.

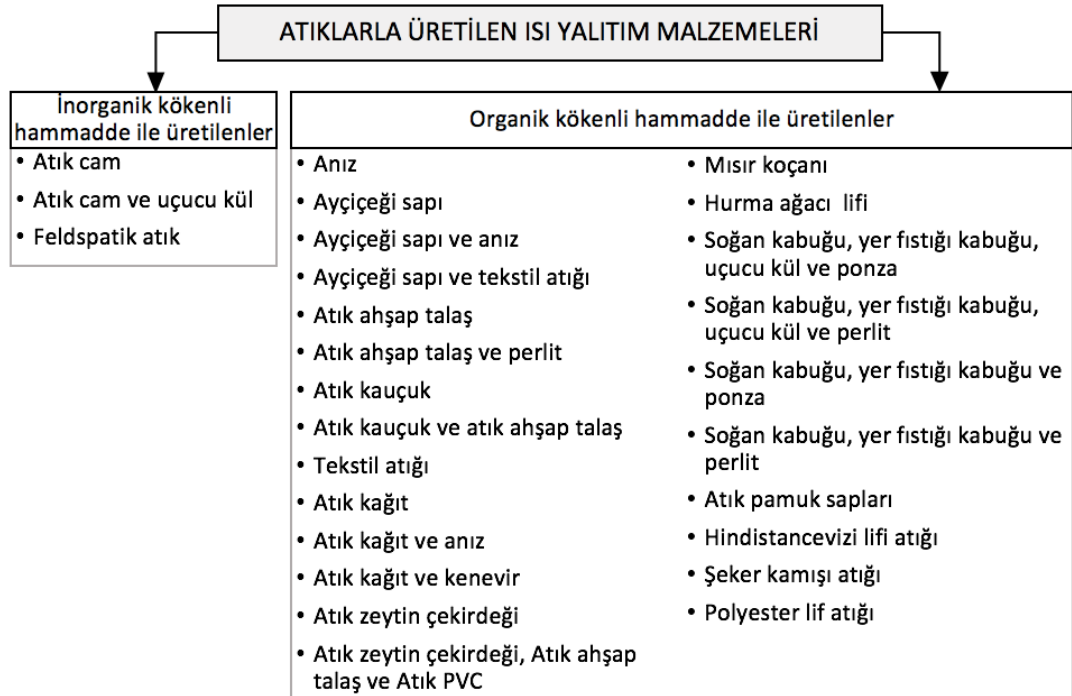
ICB levhalar esnek yapıda oldukları için kesilmeleri zordur. VYP ısı yalıtım malzemesinin uygulama esnasında kesilmesi mümkün değildir. Koruyucu zarf zarar gördüğünde ısı yalıtım özelliğini kaybeder. Bu nedenle kurulum öncesinde ve

sırasında herhangi bir hasara karşı korunmalıdır. Yapı malzemeleri seçilirken malzemedan beklenen performans için gerekli özellikleri sağlamasının yanısıra ekonomik olmasıda beklenir. Isı yalıtım malzemelerinin maliyet karşılaştırması yapılırken Akelçi (2016) 'nin yaptığı çalışma ile malzemelerin piyasadaki birim fiyatları üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır [60]. Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk arttıkça maliyetinde arttığı görülmektedir. Cam köpüğü, arojel yalıtım ve VYP üstün ısı yalıtım özellikleri gösterirken oldukça pahalı malzemelerdir. Bu nedenle yapılarda pek fazla tercih edilmezler.



4. ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN İNCELENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde atık kullanılarak üretilen ısı yalıtım malzemelerin incelemesi ve daha sonra yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.1’de verildiği gibi kullanılan hammadde türüne göre inorganik ve organik olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.1 : İncelenen çalışmaların sınıflandırılması.

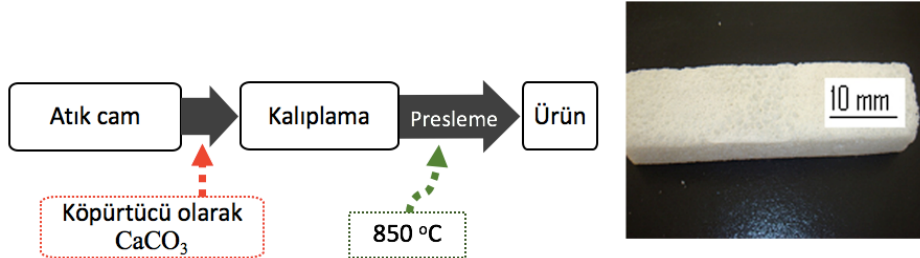
4.1 İnorganik Kökenli Atıklar İle Üretilenler

Atık cam, uçucu kül ve feldspatik atık inorganik kökenli atıklar olarak sınıflandırılmış ve incelenen çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

4.1.1 Atık cam

Ayadi ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada atık camlardan cam köpüğü ısı yalıtım malzemesine benzer bir malzeme üretme olanaklarını araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada cam (%99 oranında) toz haline getirildikten sonra, malzemeyi gözenekli

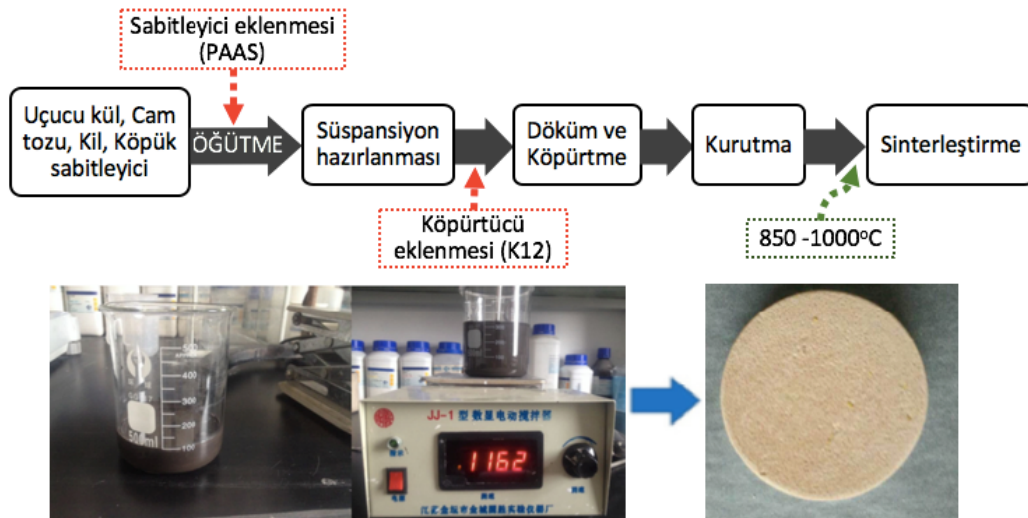
hale getirmek için köpürtücü katkı malzemesi olarak CaCO_3 (%1 oranında) ile birlikte kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra %8 nem ve 850°C sıcaklık altında preslenmiştir. Elde edilen numunenin ısı iletkenliği $0,031 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, birim hacim kütlesi $>500 \text{ kg/m}^3$, su emilimi %10'dan büyük ve basınç dayanımı $>17500 \text{ kPa}$ olarak bulunmuştur [61]. Bu malzemenin numune örneği ve üretim şeması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Atık camdan üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği [61].

4.1.2 Atık cam ve uçucukül

Zhang ve diğ. (2014) hammadde olarak uçucukül ve atık cam, şişirici olarak sodyum dodesil sülfat (K12) ve köpüğü stabil hale getirmek için belirli miktarda sodyum poliakrilat (PAAS) kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim olanaklarını incelemiştir. Deneyisel çalışmada çeşitli oranlarda hazırlanan süspansiyonlar içerisinde PAAS eklenerek kırıcı makinada homojen hale getirilip, K12 eklenerek yüksek hızlı karıştırıcılarda karıştırılarak köpürtülmüştür. Daha sonra köpürtülen sıvı kalıplara dökülüp ve kurutulmuştur. Üretilen malzeme yüksek sıcaklıklarda ($850-1000^\circ\text{C}$) sinterlenmiş ve ortamda bekletilerek soğutulmuştur (Şekil 4.3) [62].

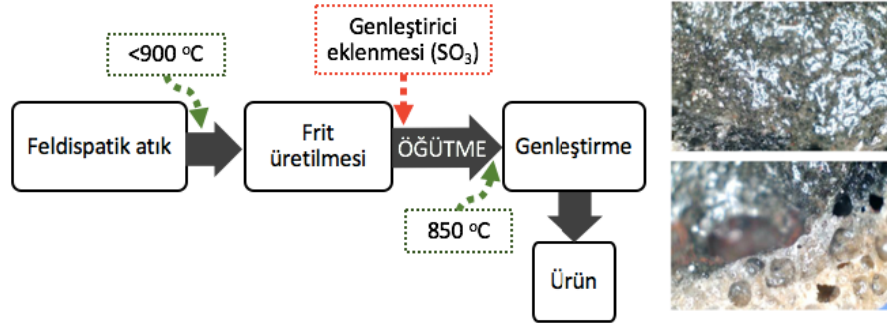


Şekil 4.3 : Atık cam ve uçucukülden üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği [62].

Üretilen numunelerde ulaşılan en düşük ısı iletkenlik değeri 0.049–0.071 W/m.°C, birim hacim kütlesi 196-357 kg/m³ değerleri arasında bulunmuştur. Katılan K12 katkı maddesi miktarına göre porozitesi %86,3-94,5 arasındadır. Sinterleşme sıcaklığı ve karışımdaki hammadde miktarına bağlı olarak basınç dayanımı 430-1010 kPa arasında değişir. Üretilen yeni malzemenin ısı yalıtım malzemesi olarak duvar sistemlerinde kullanılabileceği ortaya koyulmuştur [62].

4.1.3 Feldspatik atık

Kazmina vd. (2016) yaptıkları çalışmada demir ve çelik dışındaki metallerin işlenmesi sırasında açığa çıkan feldspatik (quartzofeldspathic) atıkların genleştirilmiş cam ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Genleştirilmiş cam üretilirken atık camlar öğütülür ve daha sonra su ile karıştırılıp hamur haline getirilir. Daha sonra genleştirici katkı maddesi eklenerek yaklaşık 900°C sıcaklıkta genleştirilir. Bu işlem sırasında çok fazla enerji tüketimi gerçekleşir. Şekil 4.4'te verildiği gibi feldspatik atıklardan düşük sıcaklıklarda (<900°C) frit üretildikten sonra genleştirme ajanı olarak SO₃ eklenip öğütülmüş ve genleştirilmiştir. 850 °C sıcaklıkta ısı iletkenliği 0,083-0,087 W/m.°C, yoğunluğu 330-380 kg/m³ ve basınç dayanımı 2800-3500 kPa arasında olan genleştirilmiş cam ısı yalıtım malzemesine alternatif bir malzeme üretilebileceği görülmektedir [63].



Şekil 4.4 : Feldspatik atıktan üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği [63].

4.2 Organik Kökenli Atıklar İle Üretilenler

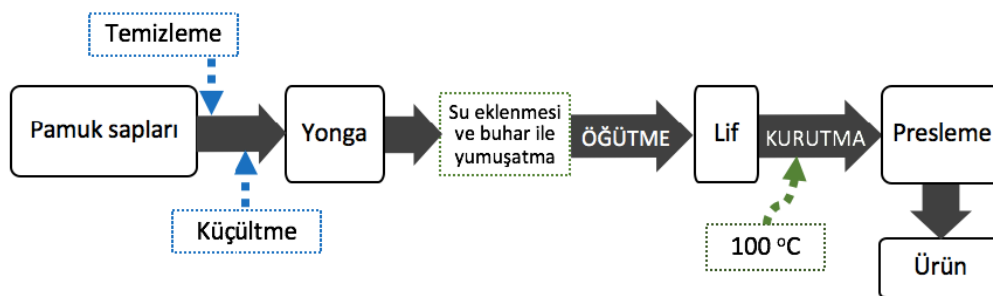
Anız, ayçiçeği sapı, tekstil atığı, atık ahşap talaş, atık kauçuk, atık kâğıt, atık zeytin çekirdeği, atık PVC, mısır koçanı, hurma ağacı lifi, soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu, atık pamuk sapları, hindistancevizi lifi atığı, şeker kamışı atığı, polyester lif atığı atık organik kökenli atıklar olarak sınıflandırılmış ve incelenen çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

4.2.1 Anız (kireç, alçı, çimento bağlayıcılı)

Yağanoğlu (1994) yaptığı çalışmada kırsal bölgelerde tarımsal yapılarda kullanılabilecek ekonomik ısı yalıtım malzemesi üretim olanaklarını incelemiştir. Kırsal bölgelerde kolaylıkla bulunabilecek anız (sap, saman), hızar talaşı, hızar altı tozu ve kömür cürufu ile bağlayıcı olarak çimento, sönmüş kireç ve alçı ile çok çeşitli oranlarda 39 değişik levha hazırlamıştır. Anız, kireç, çimento ve alçı karışımli olan levha darbe ile dağılmamış, testere ile düzgün olarak kesilebilmiş ve matkap ile delik açılabilmiştir. Bu levhanın ısı iletkenlik değeri 0,069 W/m.°C, birim hacim kütlesi 370 kg/m³ değerleri arasında bulunmuştur. Ayrıca çalışmada bu levhanın camyününe göre daha ekonomik olduğu vurgulanmıştır [64].

4.2.2 Atık pamuk sapları (bağlayıcısız)

Zhou ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada atık pamuk sapı liflerinden bağlayıcısız ısı yalıtım levhası üretme imkanlarını araştırmışlardır. Deneysel çalışmada Şekil 4.5’de görüldüğü gibi zengin selüloz ve lignin içeren pamuk sapları dallarından ve kirlerinden temizlendikten sonra lif üretimi için uygun boyutlara getirilmiştir. Ortalama 25mmx10mmx5mm boyutlarındaki yongalar bir gece suda bekletildikten sonra basınçlı bir tankta buhar ile yumuşatılmıştır. Yumuşayan yongalar lif haline getirilip ve 100 °C fırınlarda çeşitli nem düzeylerinde (%7, 10 ve 13) kurutulmuştur. Daha sonra kurutulan lifler çeşitli yoğunluk ve basınç altında bağlayıcısız lif levha haline getirilmiştir [65].

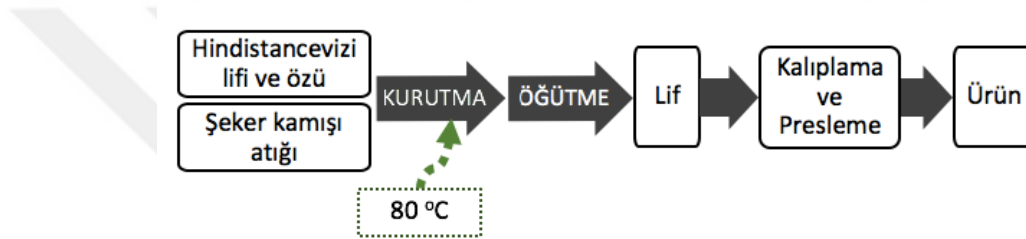


Şekil 4.5 : Atık pamuk saplarından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması [65].

Üretilen levhanın ısı iletim katsayısı 0,058-0,081 W/m°C, yoğunluğu 150-450 kg/m³ değerleri arasında bulunmuştur. Genel olarak lif levhaların üretimindeki asıl enerji tüketimi liflerin hazırlanması, kurutulması ve sıcak presleme aşamasında gerçekleşir. Atık pamuk saplarından üretilen bu lif levhanın üretimi ahşap yünü levhalara benzemektedir ancak üretimi için gereken enerji ihtiyacı daha azdır [65].

4.2.3 Hindistan cevizi lifi ve şeker kamışı üretim atığı

Panyakaew ve Fotios (2011) yaptıkları çalışma da yatak üretiminde kullanılan hindistancevizi lifinin üretiminden oluşan atıklar ve şeker kamışı üretiminden oluşan üretim atıkları kullanarak ısı yalıtım levhası üretim olanaklarını incelemişlerdir. Şekil 4.6'da verildiği gibi yüksek selüloz içeren bu atıklar sıcak pres yöntemiyle sentetik bağlayıcı içermeyen levha üretme olanağı verir. Şeker kamışı üretim atığı, hindistancevizi lifi ve özü atığı kullanılmadan önce sırasıyla %11-13 ve %6-7 nem içerecek şekilde fırınlarda kurutulmuştur. Daha sonra uygun boyutlarda öğütülen malzemeler kalıplandıktan sonra değişik yoğunluk, sıcaklık ve sürelerde preslenmişlerdir [66].

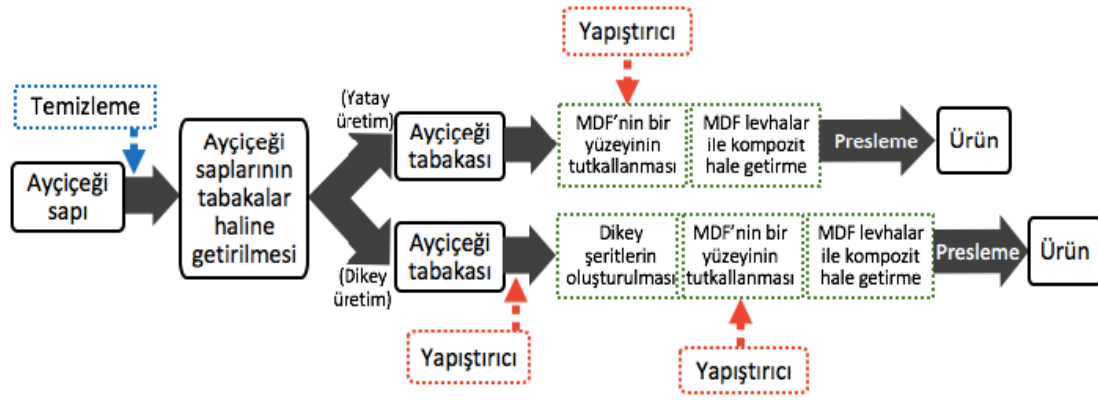


Şekil 4.6 : Hindistan cevizi lifi ve şeker kamışı üretim atığından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması [66].

Üretilen levhaların ısı iletim katsayısı sırasıyla 0.046-0.068 W/m°C ve 0.049-0.055 W/m°C , yoğunlukları 250-350 kg/m³ arasındadır. Organik içerikli bu levhalar için su emme, böceklenme, nem içeriği kontrolü ve mantarlanma gibi özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir [66].

4.2.4 Ayçiçeği sapı (yatay ve dikey levhalar)

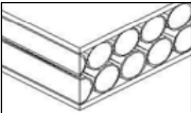
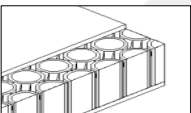
Efe (2011) yaptığı çalışmada atık pamuk saplarını öğütmeden yatay ve dikey olarak kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretme olanaklarını araştırmıştır. Deneysel çalışma da yapıştırıcı olarak üre formaldehit tutkalı, melamin üre formaldehit tutkalı, PVA-D2 tutkalı ve laminat yüzey tutkalı kullanılmıştır. Ayçiçeği sapları kirlerinden temizlendikten sonra saplar yanyana bağlanarak tabakalar haline getirilmiştir. Dikey levha üretimi için tabakalar haline getirilen saplar tutkallanarak sıcak pres ile kütük haline getirilmiş ve daha sonra dikey levhalar için uygun boyutlarda şeritler hazırlanmıştır. Yatay ve dikey levhaların üretimi için hazır olan sap şeritleri tutkallanmış MDF levhalar arasına yerleştirilip sıcak pres ile preslenmiştir. Üretilen levhalar dinlendirilmiş ve ebatlanmıştır (Şekil4.7) [67].



Şekil 4.7 : Ayçiçeği sapından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması [67].

Üretilen levhaların taşıdığı özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre üretilen yatay ve dikey levhaların alternatif bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.

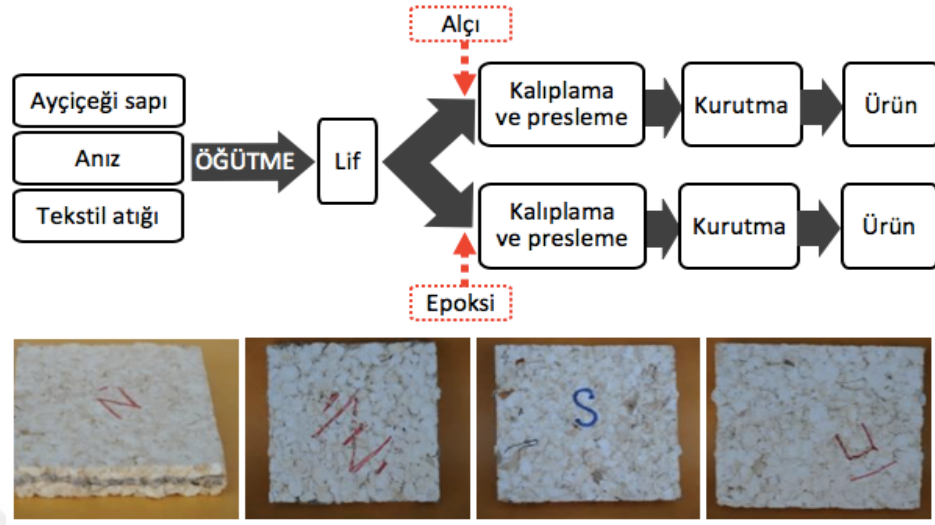
Çizelge 4.1 : Ayçiçeği sapından üretilen ısı yalıtım levhalarının özellikleri [67].

Numunenin şematik gösterimi	Numune adı	Isı İletkenlik W/m°C	Birim Hacim Kütle kg/m ³	Basınç dayanımı kPa
	Ayçiçeği sapı (Yatay levha)	0,045	250-330	220
	Ayçiçeği sapı (Dikey levha)	0,036	220-270	5130

4.2.5 Ayçiçeği sapı, tekstil atığı, anız (alçı veya epoksi bağlayıcılı)

Binici ve diğ. (2013) ayçiçeği sapı, anız ve tekstil atığı kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim olanaklarını araştırmışlardır. Bağlayıcı olarak alçı ve epoksi kullanarak çeşitli levhalar üretmişlerdir. Şekil 4.8’de verildiği gibi her iki bağlayıcı ile üretilen levhalar için önce malzemeler öğütülmüş daha sonra değişik oranlarda karıştırılıp kalıplanmış ve basınç altında şekillendirilmiştir. Alçı, ayçiçeği sapı ve tekstil atıkları ile yapılan deneyde üretilen levhanın ısı iletim katsayısı 0,16 W/m°C, yoğunluğu 720 kg/m³ ve su emmesi %71 dir. Epoksi bağlayıcıyla üretilen ve ısı yalıtım malzemesi özelliği gösteren levhalarda atık kombinasyonları ayçiçeği sapı-tekstil atığı, ayçiçeği sapı-anız şeklindedir. Ayçiçeği sapı-tekstil atığından üretilen levhalar için ısı iletim katsayısı 0,072-0,089 W/m°C, yoğunluğu 99-136 kg/m³, su emmesi %56-67 ve basınç dayanımı 283-303 kPa değerleri arasındadır. Ayçiçeği sapı-anız

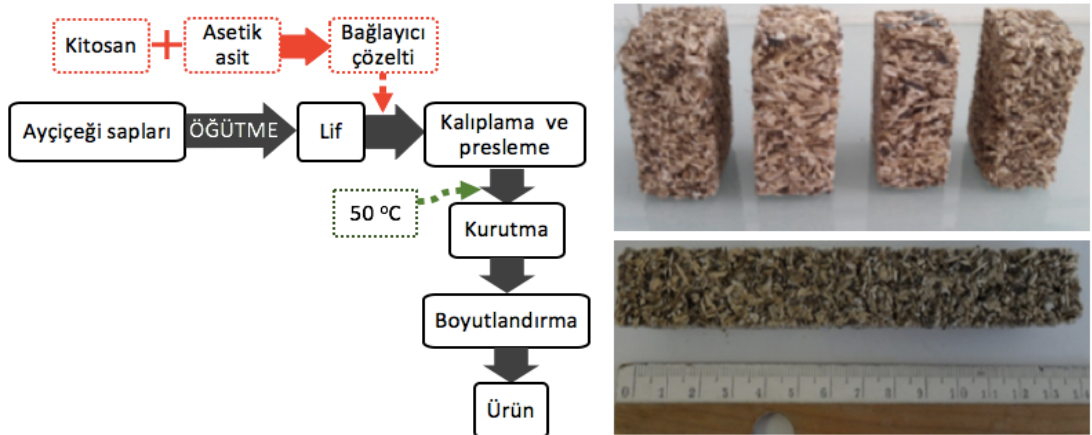
atığından üretilen levhalar için ısı iletim katsayısı 0,078-0,1 W/m°C, yoğunluğu 78-187 kg/m³, su emmesi %65 ve basınç dayanımı 312 kPa ‘dır [68,69].



Şekil 4.8 : Ayçiçeği sapı, anız ve tekstil atığı kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [68,69].

4.2.6 Ayçiçeği sapı (kitosan bağlayıcılı)

Mati-Baouche ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada kitosan bağlayıcı kullanarak ayçiçeği sapından ısı yalıtım malzemesi üretme imkanlarını araştırmışlardır. Şekil 4.9’da verildiği gibi önce ayçiçeği saptarı 20 mm elek göz açıklığı bulunan bir kesme makinesinde öğütülmüştür [70].



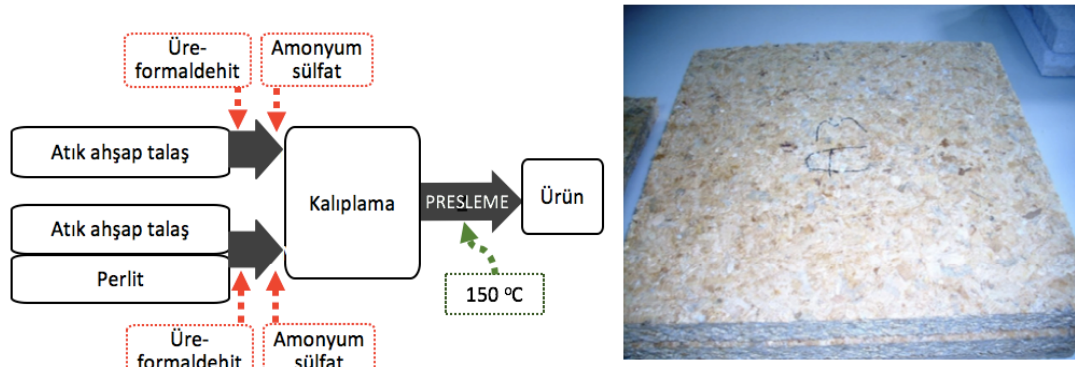
Şekil 4.9 : Ayçiçeği sapı ve kitosan bağlayıcı kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [70].

Bağlayıcı olarak kullanılan kitosan özellikle deniz kabuklularında bulunan ve endüstriyel olarak üretilen bir biopolimerdir. Temin edilen kitosan oda sıcaklığında ve asetik asit içerisinde çözündürülmüştür. Ayçiçeği sapı lifleri ve kitosan bağlayıcı değişen oranlarda karıştırılıp polivinilklorür kalıplarda basınç altında

şekillendirilmiştir (Şekil 4.9). Daha sonra 50°C fırınlarda 50 saat kurutulmuş ve şerit testere ile ebatlanmıştır. Elde edilen ürünün güvenli paketlenme, taşıma ve montaj sağlayacak şekilde ısı iletkenlik katsayısı 0,06 W/m°C, yoğunluğu 150 kg/m³ ve basınç dayanımı 2000 kPa olarak bulunmuştur [70].

4.2.7 Atık ahşap talaş ve perlit (üreformaldehit bağlayıcılı)

Ceviz (2008) yaptığı çalışmada atık ahşap talaş ve perliti çeşitli oranlarda karıştırarak bağlayıcı olarak üreolmaldehit, sertleştirici katkı maddesi olarak amonyum sülfat, su itici katkı maddesi olarak parafin kullanarak sıcak pres ile ısı yalıtımlı dış cephe kaplama elemanı geliştirilmesi konusunda deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada atık ahşap talaşlar ve perlit önce 1 mm'lik elekten elenmiştir. Daha sonra üreolmaldehit bağlayıcı, parafin ve amonyum sülfat ilave edilerek 150 °C sıcaklıkta 5 dk süre ile preslenmiştir (Şekil 4.10) [71].



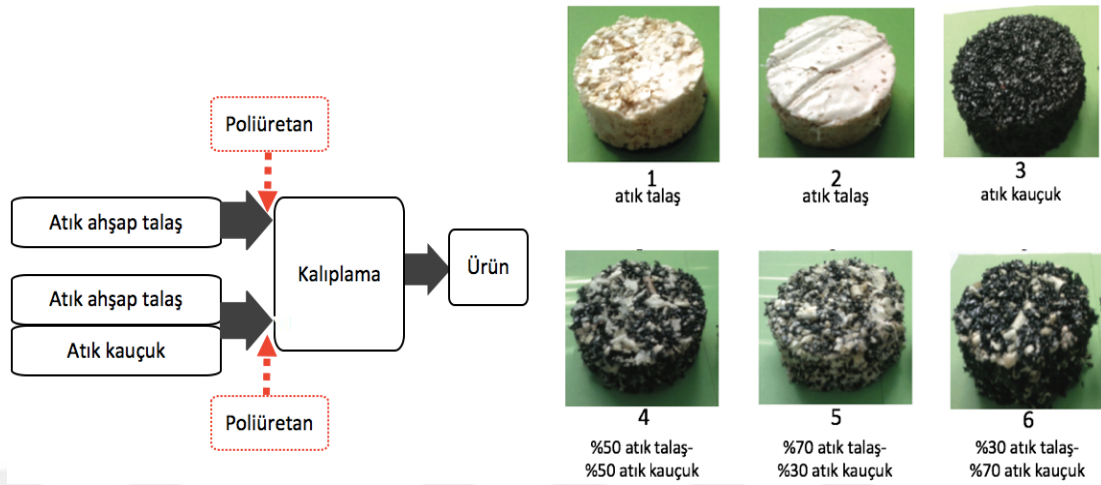
Şekil 4.10 : Atık ahşap talaş ve perlitten üretilen ısı yalıtım malzemesinin üretim şeması ve numune örneği [71].

Sadece atık ahşap talaşı kullanılarak 5,68-22,77 kg/cm² arasında değişen basınçlar altında üretilen numunelerde ısı iletkenlik değeri 0,086-0,090 W/m°C, basınç dayanımı 1126-1936 kPa, su emmesi 0,63-1,13 kg/m² arasında bulunmuştur. %50 perlit-%50atık ahşap talaş içeren ve 5,68-22,77 kg/cm² aralığındaki değişen basınçlarda üretilen levhalarda ısı iletkenlik değeri 0,067-0,078 W/m°C, basınç dayanımı 648-1056 kPa, su emmesi 0,73-1,59 kg/m² arasında bulunmuştur [71]. Çalışmada numunelerin birim hacim kütlesi belirtilmemiştir.

4.2.8 Atık ahşap talaş ve atık kauçuk (poliüretan bağlayıcılı)

Tiuc ve Moga (2013) yaptıkları çalışmada atık ahşap talaş ve atık kauçuk kullanarak ısı yalıtım özelliği ve ses emiciliği yüksek bir malzeme üretme imkanlarını araştırmışlardır. Test numuneleri 4 mm'den büyük boyutlu talaş ve 1-3 mm

boyutlarındaki geri dönüştürülmüş atık kauçuk granüllerinin çeşitli oranlarda karıştırılıp bağlayıcı olarak poliüretan kullanılması ile üretilmiştir (Şekil 4.11) [72].

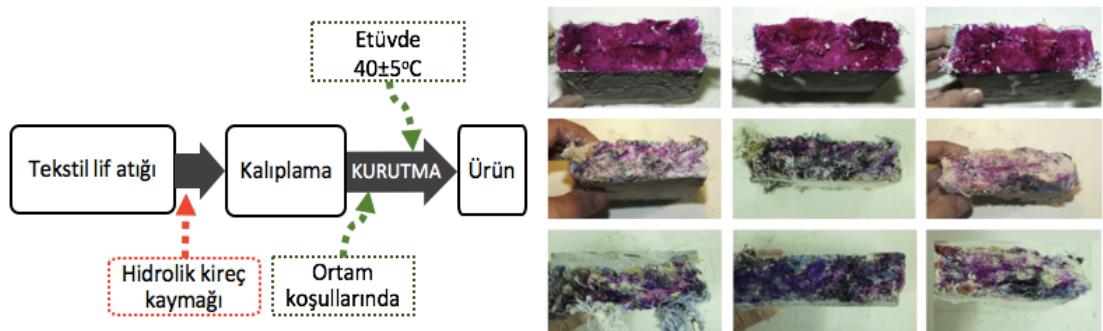


Şekil 4.11 : Atık ahşap talaş ve atık kauçuktan ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [72].

Atık talaştan üretilen numunelerin (1-2 nolu) ısı iletkenliği sırasıyla 0,056 ve 0,063 W/m°C, atık kauçuktan (3 nolu) üretilen numunelerin ısı iletkenliği 0,1 W/m°C'dir. Atık talaş ve atık kauçuktan (4-5-6 nolu) üretilen numunelerin ısı iletkenliği 0,067 ve 0,095 W/m°C arasındadır [72].

4.2.9 Tekstil atığı (hidrolik kireç bağlayıcılı)

Barbero-Barrera ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada tekstil lif atıkları ve doğal hidrolik kireç bağlayıcı kullanarak üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir (Şekil 4.12) [73].



Şekil 4.12 : Tekstil lif atığından hidrolik kireç bağlayıcılı malzeme üretim şeması ve numune örnekleri [73].

Levha üretim maliyetini düşürmek için tekstil atıkları olduğu gibi kullanılmıştır. Yapılan ön deneylerde liflerin suya doymun ve kuru halde kullanımı incelenmiş ve kuru halde üretilen levhaların porozitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil

4.12’de verildiği gibi tekstil lif atıkları el ile harmanlandıktan sonra kalıplara alınmış ve üzerine kireç kaymağı eklenip ortam koşullarında kurutulmuştur. Tam kuruma sağlamak için etüvde $40\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 15 gün kurutulmuştur. Bu levhaların ısı iletim katsayısı 0,14-0,21 $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, yoğunluğu $716\text{-}1013 \text{ kg/m}^3$ ve basınç dayanımı 3220-7620 kPa değerleri arasındadır [73].

4.2.10 Tekstil atığı (sentetik lif bağlayıcılı)

Zach ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada atık tekstil lifleri (pamuk ve polyester lifleri) kullanarak günümüzde kullanılan ısı yalıtım malzemelerine alternatif olabilecek bir malzeme geliştirme olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla çeşitli oranlarda bir araya getirilen atık pamuk ve polyester lifleri, iki komponentli bağlayıcı polyester lifleri kullanılarak ısı ile bağlama (thermal bonding) tekniği ile keçe haline getirilmiştir. Üretilen keçelerin özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir [74].

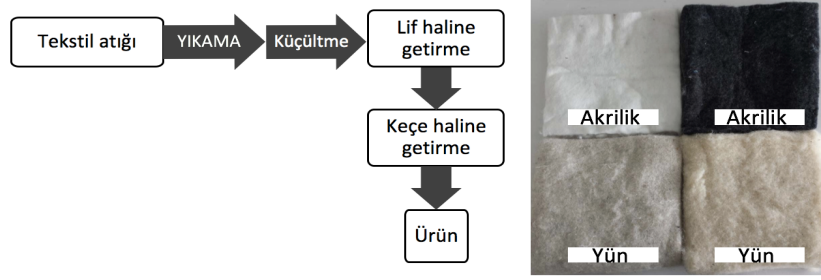
Çizelge 4.2 : Tekstil atığı (sentetik elyaf bağlayıcılı) kullanılarak üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri [74].

Atık lif karışımı	Bağlayıcı polyester lif oranı	Isı İletkenlik $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$	Birim Hacim Kütle kg/m^3	Basınç Dayanımı kPa
%40 Pamuk +%40 Polyester	%20	0,036	38	0,24
%80 Polyester	%20	0,042	27	0,81
%80 Polyester	%20	0,037	105	1,45
%40 Pamuk +%45 Polyester	%15	0,039	28	0,3

Isı ile bağlama tekniğinde önce gelişi güzel durumdaki liflerin taraklama makinasından geçirilerek açılması ve homojen bir şekilde yönlendirilip düzenlenmesini sağlanır. Daha sonra taraklama makinasından çıkan tül benzeri yapı $210\text{-}230^{\circ}\text{C}$ sıcaklık altında oluklu ve düz silindirlerden geçirilerek iki komponentli bağlayıcı polyester liflerin birbirine bağlanıp sabitlenmesi sağlanır [75]

4.2.11 Tekstil atığı (keçe şeklinde)

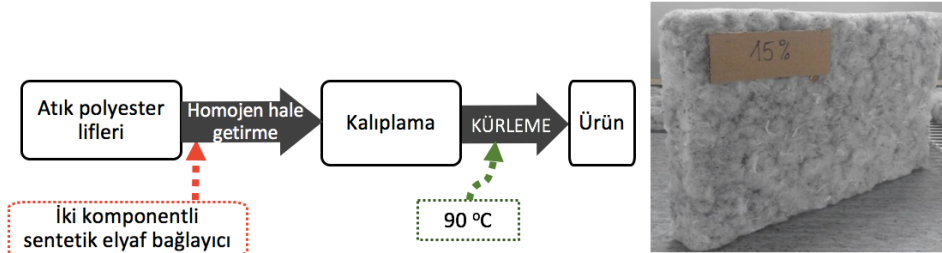
Wazna ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada tekstil atıklarının keçe şeklinde ısı yalıtım malzemesi olarak kullanım olanaklarını incelemişlerdir. Bu amaçla yün ve akrilik kökenli dört farklı tekstil atığı yıkanmış, 40-50 mm uzunluklarında kesildikten sonra işlenip lif haline getirilmiştir. Daha sonra bu liflerden yüksek poroziteye sahip bir dokuma olan keçe üretilmiştir (Şekil 4.13). Üretilen keçelerin ısı iletkenliği 0,031-0,035 $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, yoğunluğu $25\text{-}62 \text{ kg/m}^3$ arasındadır [76].



Şekil 4.13 : Tekstil atığından keçe şeklinde ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [76].

4.2.12 Polyester lif atığı (sentetik lif bağlayıcılı)

Drochytka ve diğ. (2017) yaptıkları çalışma da çatıda su yalıtım membranı olarak kullanılan çok katmanlı sentetik membran üretiminde ortaya çıkan poliviniklorür (PVC-P) granül kalıntılı atık polyester liflerinden ısı yalıtım malzemesi üretme olanaklarını araştırmışlardır. Farklı özelliklere sahip iki polimerden yapılmış iki komponentli sentetik elyaf bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Atık polyester lifleri iki komponentli bağlayıcı elyaf ile homojen hale getirilip yalıtım levhası oluşturulmuş, 90 °C sıcaklıkta kürlenmiş ve soğutulmuştur (Şekil 4.14). Üretilen levhaların ısı iletkenlik değeri 0,043-0,055 W/m°C, yoğunluğu 65-95 kg/m³ arasındadır. Polyester liflerinden üretilen levhalar neme ve bozulmalara karşı yüksek dirence sahiptir. Kimyasal bağlayıcı olmadan üretildiğinden toksik değildir ve tamamen geri dönüştürülmüş hammadde ile üretilmiştir [77].

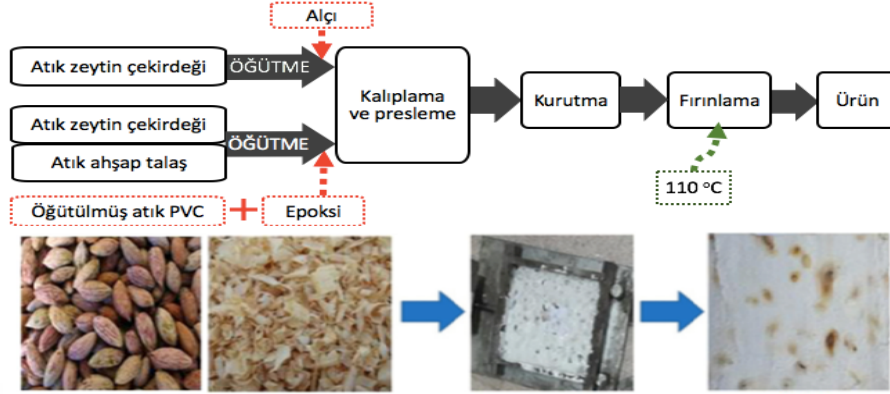


Şekil 4.14 : Tekstil lif atığından keçe şeklinde malzeme üretim şeması ve numune örneği [77].

4.2.13 Zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC (epoksi veya alçı bağ.)

Binici ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada zeytin yağı üretimi yan ürünü olan zeytin çekirdeği atığı, ahşap işlerinde oluşan ahşap talaş atıkları, atık PVC ve bağlayıcı olarak epoksi veya alçı kullanılarak çeşitli numuneler üretmişlerdir. Organik malzeme olan ahşap talaşları zararlı bakteriler geliştirebileceği için karışıma anti bakteriyel katkı maddesi eklenmiştir. Şekil 4.15’de verildiği gibi atık PVC çimento boyutlarında öğütülerek epoksi bağlayıcı içine eklenmiştir. Zeytin çekirdeği, ahşap talaşları öğütülerek değişen oranlarda karışım kabına alınmıştır. 5 dakika harmanlandıktan

sonra bağlayıcı malzeme eklenmiştir. Alçı ile üretilen numunelerde alçı karışım üzerine eklendikten sonra su ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan karışım kalıplara döküldükten sonra basınç altında 2 dakika preslenmiştir. 1 gün sonra kalıptan çıkarılan numuneler 110°C sıcaklıktaki fırınlarda 2 gün kurutulmuştur [78].



Şekil 4.15 : Zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC ile ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [78].

Epoksi ile üretilen levhaların ısı iletim katsayısı 0,074-0,084 W/m°C, yoğunluğu 970-1110 kg/m³ ve basınç dayanımı 420-570 kPa değerleri arasındadır. Alçı ile üretilen levhaların ısı iletim katsayısı 0,096-0,099 W/m°C, yoğunluğu 1280-1330 kg/m³ ve basınç dayanımı 250-350 kPa değerleri arasındadır [78].

4.2.14 Anız, atık kâğıt, kenevir (gevşek dolgu şeklinde)

Reif ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada doğal lifler kullanarak dolgu ısı yalıtım malzemesi (particulate insulation) üretim olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla anız, atık kâğıt (selüloz) ve kenevir liflerini değişik oranlarda bir araya getirilmiştir. Bu karışımların özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir [79].

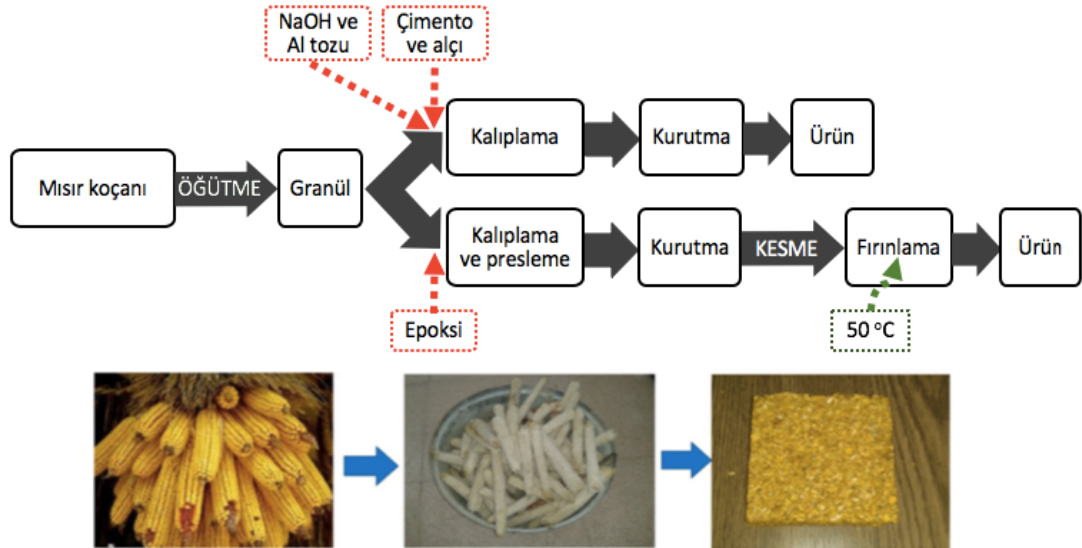
Çizelge 4.3 : Anız, atık kâğıt ve kenevir liflerinden gevşek dolgu şeklinde üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri [79].

Karışım	Isı İletkenlik W/m°C	Birim Hacim Kütle kg/m ³	Buhar difüzyon direnci μ
%60 Kenevir +%40 Selüloz	0,046-0,047	30-60	3-4
%100 Selüloz	0,039-0,041	30-60	3-5
%30 Selüloz+%70 Anız	0,043-0,044	30-60	3-4
%100 Anız	0,047-0,050	95-120	4

4.2.15 Mısır koçanı (epoksi veya çimento-alçı bağlayıcılı)

Binici ve diğ. (2015) yaptıkları başka bir çalışmada tarımsal atık olan mısır koçanı kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretme imkanlarını araştırmışlardır. Bağlayıcı olarak epoksi ve çimento-alçı kullanmışlardır. Şekil 4.16'da verildiği gibi önce olarak mısır

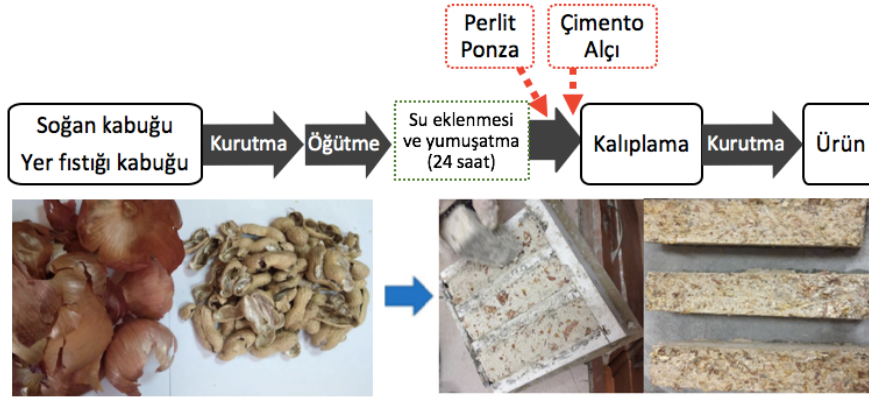
koçanları kurutulmuş daha sonra uygun boyutlarda öğütülmüştür. Epoksi bağlayıcı kullanılarak yapılan deneyde öğütülen mısır koçanları epoksi ile karıştırıldıktan sonra sıcaklık ve basınç altında preslenmiştir. Elde edilen malzeme 50 °C fırında 50 saat kurutulup stabil hale getirildikten sonra ebatlanmıştır. Çimento-alçı bağlayıcı kullanılarak yapılan deneyde öğütülmüş mısır koçanları değişen oranlarda çimento ve alçı ile karıştırılmış daha sonra NaOH, alüminyum tozu ve su kullanılarak malzeme gözenekli hale getirilmiştir. Epoksi kullanılan malzemede ısı iletim katsayısı 0,075-0,09 W/m°C, yoğunluğu 260-310 kg/m³ ve su emmesi %25-26 arasındadır. Bu değerler mısır koçanı ve epoksi kullanılarak ısı yalıtım malzemesi üretilebileceğini göstermektedir. Çimento ve alçı kullanılan örneklerde ısı iletim katsayısı 0,10-0,19 W/m°C, birim hacim kütlesi 500-800 kg/m³ ve su emmesi %12-24 arasındadır [80,81].



Şekil 4.16 : Mısır koçanından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [80,81].

4.2.16 Soğan ve yer fıstığı kabuğu, uçucukül (çimento veya alçı bağlayıcılı)

Binici ve Aksoğan (2016) yaptıkları çalışmada soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu, uçucukül, ponza ve perlit kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim olanaklarını araştırmışlardır. Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu 60 dakika boyunca 110 °C fırında kurutulduktan sonra öğütülmüş ve 1mm'lik elekten geçirilmiştir. Öğütülmüş atıklar yumuşaması için 24 saat suda bekletilmiş ve mikro gözenekli filtre ile suyu süzölmüştür. Uçucukül, ponza ve perlit çeşitli oranlarda karıştırılıp soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu eklenip çimento veya alçı bağlayıcılı karışımlar elde edilmiştir (Şekil 4.17) [82].



Şekil 4.17 : Soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve uçucukülden ısı yalıtım malzemesi üretim şeması ve numune örnekleri [82].

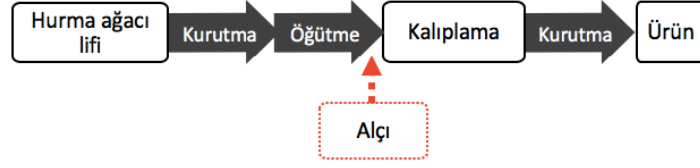
Üretilen numunelerin özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgede yer alan tüm numunelerin ısı iletkenlik değerleri $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ değerinden düşüktür. Çimento bağlayıcılı numuneler içinde, soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve perlit içerikli numunenin en düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Alçı bağlayıcılı numuneler içinde, en düşük ısı iletkenlik değerine soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit içerikli numunenin en düşük ısı iletkenliğine sahip olduğu görülmektedir [82].

Çizelge 4.4 : Soğan kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve uçucukülden üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri [82].

Karışım	Bağlayıcı	Isı İletkenlik $\text{W/m}^\circ\text{C}$	Birim Hacim Kütle kg/m^3	Su emme %	Basınç Dayanımı kPa
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza	Çimento	0,083	1880	27	420
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, perlit	Çimento	0,081	1150	54	380
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza	Çimento	0,078	1590	22	460
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit	Çimento	0,062	1330	17	440
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza	Alçı	0,078	1890	63	360
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza	Alçı	0,070	1120	44	250
Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit	Alçı	0,058	1040	53	240

4.2.17 Hurma ağacı lifi (alçı bağlayıcılı)

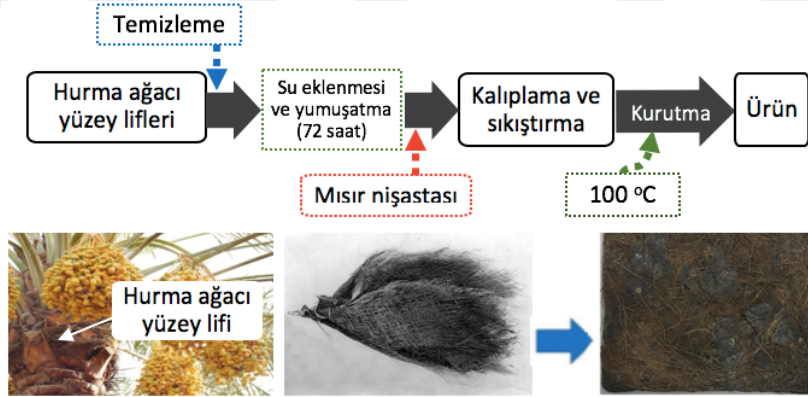
Chikhi ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada hurma ağacı lifi kullanarak ısı yalıtım malzemesi üretim olanaklarını incelemişlerdir. Atık lifler kurutulup öğütüldükten sonra alçı ile çeşitli oranlarda karıştırıcı içerisinde karıştırılmış ve kalıplanmıştır (Şekil 4.18). Hazırlanan numuneler 14-28 gün sonra fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üretilen numunelerde ısı iletkenlik değeri $0,15\text{-}0,17 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ arasında, birim hacim kütlesi 753 kg/m^3 'tür [83].



Şekil 4.18 : Hurma ağacı lif atığından alçı bağlayıcılı ısı yalıtım malzemesi üretim şeması [83].

4.2.18 Hurma ağacı lifi (mısır nişastası bağlayıcılı)

Ali ve Alabdulkarem (2017) yaptıkları çalışmada özellikle ortadoğuda bulunan hurma ağacının yüzey lif atıklarının ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanım olanaklarını incelemişlerdir. Şekil 4.19’de verildiği gibi bağlayıcı olarak mısır nişastası kullanarak tamamen doğal bir malzeme üretilmişlerdir. Atık yüzey lifleri ilk önce su ile yıkanarak tozdan ve kirden arındırıldıktan sonra 1 gün süreyle oda sıcaklığındaki suda bekletilerek yumuşatılmıştır. Hazırlanan çeşitli yoğunluktaki mısır nişastası çözeltileri ile karıştırıldıktan sonra kalıplanmış ve 72 saat süreyle 100 °C sıcaklıktaki fırınlarda içindeki tüm suyu kaybedene kadar kurutulmuştur. Yoğunluğu 176-260 kg/m³ arasında değişen, en düşük ve en yüksek ısı iletim katsayısı sırasıyla 0.047-0.069 W/m.°C olan ısı yalıtım levhaları üretilmiştir [84].



Şekil 4.19 : Hurma ağacı lif atığından ısı yalıtım malzemesi üretim şeması [84].

Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. Bu çizelgede ısı iletkenlik, birim hacim kütle, basınç dayanımı, su emilimi ve buhar difüzyon direnci değerleri verilmiştir. Isı yalıtım malzemelerinin sahip olması gereken diğer özellikler incelenen çalışmalar içerisinde ortaya koyulmadığı için tabloya eklenememiştir.

Çizelge 4.5 : Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

ATIKLADAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMESİ								
Ham madde Kökeni	Kullanılan Atık	Bağlayıcı	Isı iletkenlik katsayısı (W /m. °C)	Birim hacim kütlesi (kg / m ³)	Basınç dayanımı (kPa)	Ort. Su emilimi	Su buharı direnç faktörü (μ)	Kaynak
İnorganik	Atık cam	-	0,031	>500	>17500	Yüksek	—	[61]
	Atık cam ve uçucu kül	-	0,049-0,071	196-357	430-1010	—	—	[62]
	Feldspatik atık	-	0,083-0,087	330-380	2800-3500	Düşük	—	[63]
Organik	Anız (dolgu şeklinde)	-	0,047-0,050	95-120	—	—	4	[79]
	Anız	Kireç+alçı+çimento	0,069	370	—	—	—	[64]
	Ayçiçeği sapı (yatay)	UF, MUF, PVA-D2, LT	0,045	250-350	220	—	—	[67]
	Ayçiçeği sapı (dikey)	UF, MUF, PVA-D2, LT	0,036	220-270	5130	—	—	[67]
	Ayçiçeği sapı	Kitosan	0,06	150	2000	—	—	[70]
	Ayçiçeği sapı ve anız	Epoksi	0,078-0,1	78-187	312	Yüksek	—	[68,69]
	Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı	Epoksi	0,072-0,089	99-136	283-303	Yüksek	—	[68,69]
	Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı	Alçı	0,16	720	—	Yüksek	—	[68,69]
	Atık ahşap talaş	Poliüretan	0,056-0,063	—	—	—	—	[72]
	Atık ahşap talaş	Üre formaldehit	0,086-0,090	—	1126-1936	Yüksek	—	[71]
	Atık ahşap talaş ve perlit	Üre formaldehit	0,067-0,078	—	648-1056	Yüksek	—	[71]
	Atık kauçuk ve atık ahşap talaş	Poliüretan	0,067-0,095	—	—	—	—	[72]
	Atık kauçuk	Poliüretan	0,1	—	—	—	—	[72]
	Tekstil atığı (keçe şeklinde)	-	0,031-0,035	25-62	—	—	—	[76]
	Tekstil atığı	Sentetik elyaf	0,036-0,042	27-105	0,24-1,45	—	—	[74]
	Tekstil atığı	Hidrolik kireç	0,14-0,21	716-1013	3220-7620	Yüksek	—	[73]
	Atık kâğıt (dolgu şeklinde)	-	0,039-0,041	30-60	—	—	3-5	[79]
	Atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde)	-	0,043-0,044	30-60	—	—	3-4	[79]
	Atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde)	-	0,046-0,047	30-60	—	—	3-4	[79]
	Atık zeytin çekirdeği	Alçı	0,096-0,099	1280-1330	250-350	Yüksek	—	[78]
	Atık zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC	Epoksi	0,074-0,084	970-1110	420-570	Yüksek	—	[78]
	Mısır koçanı	Epoksi	0,075-0,090	260-310	—	Yüksek	—	[80,81]
	Mısır koçanı	Alçı+çimento	0,1-0,19	500-800	—	Yüksek	—	[80,81]
	Hurma ağacı lifi	Mısır nişastası	0,047-0,069	176-260	—	—	—	[84]
	Hurma ağacı lifi	Alçı	0,15-0,17	753	—	—	—	[83]

(—): Bilgi yok, UF: Üre formaldehit tutkalı, MUF: Melanin üre formaldehit tutkalı, LT: Laminat yüzey tutkalı

Çizelge 4.5 (Devamı) : Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

ATIKLADAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMESİ									
Hammadde Kökeni	Kullanılan Atık	Bağlayıcı	Isı iletkenlik katsayısı (W /m. °C)	Birim hacim kütlesi (kg / m ³)	Basınç dayanımı (kPa)	Ort. Su emilimi	Su buharı direnç faktörü (μ)	Kaynak	
Organik	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza	Çimento	0,083	1880	420	Yüksek	—	[82]	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, perlit	Çimento	0,081	1150	380	Yüksek	—	[82]	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza	Çimento	0,078	1590	460	Yüksek	—	[82]	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit	Çimento	0,062	1330	440	Yüksek	—	[82]	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza	Alçı	0,078	1890	360	Yüksek	—	[82]	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza	Alçı	0,070	1120	250	Yüksek	—	[82]	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit	Alçı	0,058	1040	240	Yüksek	—	[82]	
	Atık pamuk sapsarı	-	0,058-0,081	150-450	—	—	—	[65]	
	Hindistan cevizi lifi atığı	-	0,046-0,068	250-350	—	—	—	[66]	
	Şeker kamışı üretim atığı	-	0,055-0,069	250-350	—	—	—	[66]	
	Polyester lif atığı	Sentetik elyaf	0,043-0,055	65-95	—	—	—	[77]	

(—): Bilgi yok.



5. ATIKLARDAN ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAYGIN KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölüme kadar anlatımı yapılan ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği, birim hacim kütlesi, basınç dayanımı, su emilimi ve buhar difüzyon direnci açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1 Isı iletkenlik Açısından Karşılaştırma

Bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi olabilmesi için ısı iletkenliğinin $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 'den küçük olması beklenmektedir [28]. Birçok ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin $0,03-0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ arasında olduğu görülür, bu nedenle bu değer iyi olarak kabul edilebilir. Isı iletkenliği $<0,03 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ olduğunda çok iyi, $0,06 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ olduğunda orta ve $>0,07 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ olduğunda ise ısı iletkenliğinin nispeten yüksek olduğu söylenebilir [36].

5.1.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler

İnorganik atıklardan üretilen bu malzemeler üretim şekline göre “Yapay” olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 5.1’de inorganik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek ısı iletkenlik değerleri verilmiştir.

Bu çizelgeye göre;

- Atık camdan üretilen malzemenin mineral yünlere göre daha düşük ısı iletkenlik gösterdiği görülmektedir. Atık cam kullanılarak inorganik esaslı doğal ve yapay ısı yalıtımlara göre daha düşük ısı iletkenliğe sahip malzeme üretiminin mümkün olduğu görülmektedir.
- Atık cam ve uçucukül kullanılarak üretilen malzeme CG’ye ve inorganik esaslı doğal ısı yalıtım malzemesi türlerine yakın ısı iletkenlik değeri göstermektedir.
- Feldspatik atıktan üretilen malzeme ise diğerlerine göre nispeten daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir.

Çizelge 5.1 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.

Isı Yalıtım Malzemesi			Isı İletkenlik (W/m.°C)	
			En Düşük	En Yüksek
İnorganik Kökenli Hammadde ile Üretilenler	Doğal	EPB	0,045	0,07
		EP	0,045	0,07
		EV	0,046	0,07
	Yapay	Atık cam	0,031	—
		Camyünü	0,035	0,05
		Taşyünü	0,035	0,05
		CG	0,045	0,06
		Atık cam ve uçucu kül	0,049	0,071
		Feldspatik atık	0,083	0,087

(—) Bilgi yok.

5.1.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler

Organik atıklardan üretilen bu malzemeler üretim şekline göre “Doğal” olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 5.2’de organik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek ısı iletkenlik değerleri verilmiştir. Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C ‘den büyük olanlar çizelgede işaretlenmiştir. Bu çizelgeye göre;

- Atık kauçuk (poliüretan bağlayıcılı), mısır koçanı (alçı+çimento bağlayıcılı), ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (alçı bağlayıcılı), tekstil atığı (hidrolik kireç bağlayıcılı) ve hurma ağacı lifi (alçı bağlayıcılı) ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C ‘den büyüktür. Bu nedenle bu atık ve bağlayıcılardan üretilen malzemelerin ısı yalıtım malzemesi özelliği taşımadığı görülmektedir.
- Tekstil atığından bağlayıcısız olarak keçe şeklinde üretim yapıldığında veya bağlayıcı nitelikteki sentetik elyaf ile üretim yapıldığında yaygın kullanılan ısı yalıtımlara eşdeğer ısı iletkenlik göstermektedir. Hatta tekstil atığından keçe şeklinde üretilen malzeme, organik esaslı yaygın kullanılan ısı yalıtımlardan daha düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir. Ancak tekstil atığı hidrolik kireç ile karıştırıldığında veya alçı bağlayıcı kullanılarak ayçiçeği sapı ile karıştırıldığında, ısı iletkenliği 0,1 W/m.°C’den yüksek çıkmaktadır.
- Atık kâğıt kullanılarak üretilen gevşek dolgu şeklindeki ısı yalıtım malzemesi (0,039 W/m.°C) piyasadaki eş değeri LFCİ (0,04 W/m.°C) ile benzer ısı iletkenlik değerine sahiptir. Bu malzemenin içerisine anız veya kenevir katıldığında ısı iletkenlik değeri sırasıyla 0,043 ve 0,046 W/m.°C değerine

çıkılmaktadır. Anız ve kenevir katılması ısı iletkenlik değerini yükseltmiş olsada makul sınırlar içerisinde dir.

Çizelge 5.2 : Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.

Isı Yalıtım Malzemesi		Isı İletkenlik (W/m.°C)		
		En Düşük	En Yüksek	
Organik Kökenli Hammaddeler ile Üretilenler	Doğal	Tekstil atığı (keçe şeklinde)	0,031	0,035
		WW	0,035	0,07
		Ayçiçeği sapı (dikey)	0,036	—
		Tekstil atığı (Sentetik elyaf)	0,036	0,042
		Atık kâğıt (dolgu şeklinde)	0,039	0,041
		LFCİ	0,04	0,045
		Kenevir	0,04	0,05
		Atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde)	0,043	0,044
		Polyester lif atığı (Sentetik elyaf)	0,043	0,055
		Ayçiçeği sapı (yatay)	0,045	—
		ICB	0,045	0,055
		Atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde)	0,046	0,068
		Hindistan cevizi lifi atığı	0,046	0,068
		Anız (dolgu şeklinde)	0,047	0,05
		Hurma ağacı lifi (Mısır nişastası)	0,047	0,069
		Şeker kamışı üretim atığı	0,055	0,069
		Atık ahşap talaş (Poliüretan)	0,056	0,063
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Alçı)	0,058	—
		Atık pamuk sapları	0,058	0,081
		Ayçiçeği sapı (Kitosan)	0,06	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Çimento)	0,062	—
		WF	0,065	0,09
		Atık ahşap talaş ve perlit (Üreformataldehyt)	0,067	0,078
		Atık kauçuk ve atık ahşap talaş (Poliüretan)	0,067	0,095
		Anız (Kireç+alçı+çimento)	0,069	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Alçı)	0,07	—
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Epoksi)	0,072	0,089
		Atık zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC (Epoksi)	0,074	0,084
		Mısır koçanı (Epoksi)	0,075	0,09
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Çimento)	0,078	—
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Alçı)	0,078	—	
	Ayçiçeği sapı ve anız (Epoksi)*	0,078	0,1	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, perlit (Çimento)	0,081	—	
	Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Çimento)	0,083	—	
	Atık ahşap talaş (Üreformataldehyt)	0,086	0,09	
	Atık zeytin çekirdeği (Alçı)	0,096	0,099	
Atık kauçuk (Poliüretan)*	0,1	—		
Mısır koçanı (Alçı+çimento)*	0,1	0,19		
Tekstil atığı (Hidrolik kireç)*	0,14	0,21		
Hurma ağacı lifi (Alçı)*	0,15	0,17		
Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Alçı)*	0,16	—		
Yapay	PF	0,022	0,04	
	XPS	0,03	0,04	
	PUR	0,03	0,04	
	EPS	0,035	0,04	

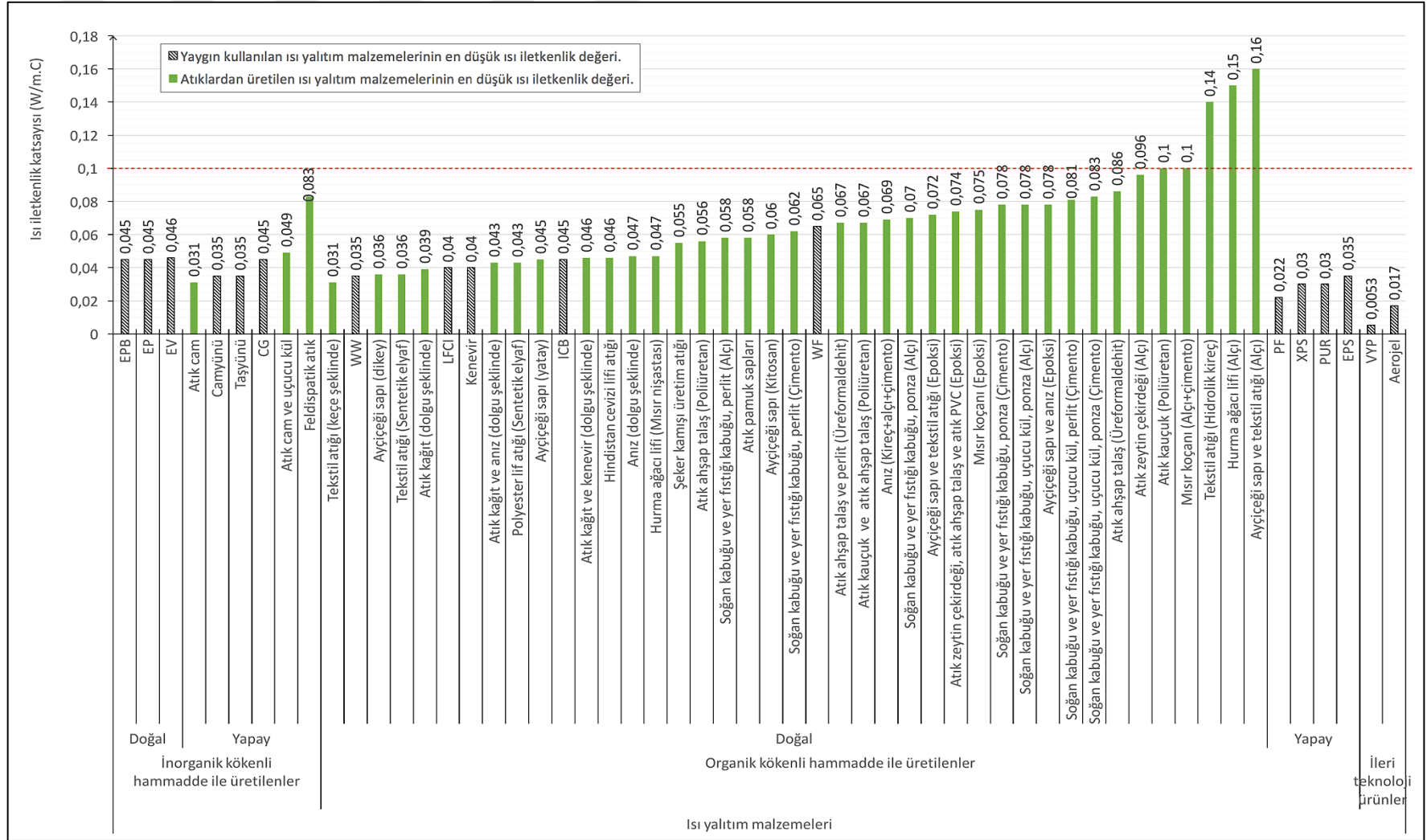
(—) Bilgi yok, (*) Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C 'den büyük.

- Sentetik elyaf bağlayıcılı polyester lif atığının ve bağlayıcı içermeyen hindistan cevizi lif atığının ICB ısı yalıtım malzemesine yakın ısı iletkenlik değeri taşıdığı görülmektedir. Hindistan cevizi lifi atığı ICB'ye benzer olarak hiçbir bağlayıcı katkı maddesi içermez. Bu bakımdan tamamen doğal ve yaygın kullanılan ısı yalıtımlarına benzer ısı iletkenlik değeri göstermektedir.
- Mısır nişastası bağlayıcı ile hurma ağacı lifinden ve bağlayıcısız olarak şeker kamışı üretim atığından üretilen malzemelerin benzer ısı iletkenlik değerine sahiptir. Bu atıklardan üretilen malzemelerin yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre orta düzeyde ısı iletkenlik özelliği göstermektedir. Hurma ağacı lifine bağlayıcı olarak mısır nişastası yerine alçı katılarak üretilen malzemede ısı iletkenlik değeri yaklaşık 3,5 kat artarak 0,15-0,17 W/m.°C değerlerine çıkmaktadır.
- Atık ahşap talaş kullanılarak üretilen malzemelerde en iyi sonucu poliüretan bağlayıcılı örneğin verdiği görülmektedir. Bağlayıcı olarak poliüretan kullanıldığında en düşük ısı iletkenlik 0,056 W/m.°C olurken, bağlayıcı olarak ürefoaldehyt kullanıldığında bu değer yaklaşık 1,5 kat artarak 0,086 W/m.°C'ye çıkar. Ürefoaldehyt bağlayıcılı karşıma perlit eklendiğinde ise ısı iletkenlik değeri çok az artmaktadır. Atık kauçuk tek başına poliüretan bağlayıcı ile karıştırıldığında ısı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C olurken, karşıma atık ahşap talaş eklendiğinde ısı iletkenlik değeri 0,067 W/m.°C değerine kadar düşebilmektedir. Poliüretan bağlayıcılı atık ahşap talaş levhalar WW ve WF arasında ısı iletkenlik değerine sahiptir. Ahşap yünü levhalar (WF) lateks veya parafin bağlayıcı ile ahşap lifli levhalar (WW) ise manyezi veya çimento bağlayıcı ile üretilmektedir.
- Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu kullanılarak ponza, perlit veya uçucu kül ile değişik oranlarda karıştırılıp, çimento veya alçı bağlayıcılar kullanılması ile oluşturulan levhaların yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre nispeten daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahip oldukları görülmektedir. Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğuna perlit katılarak oluşturulan alçı ve çimento bağlayıcılı numuneler diğer karışımlara göre daha düşük ısı iletkenlik göstermektedir.
- Ayçiçeği sapından yapılan üretimlerde en düşük ısı iletkenlik değerini, ayçiçeği saplarının levha içerisinde dikey olarak konumlandırıldığı levhalar

(Çizelge 4.5) vermektedir ($0,036 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$). Ayçiçeği saplarının yatay olarak konumlandırıldığı levhalar (Çizelge 4.5) yaygın kullanılan ısı yalıtımlara benzer ısı iletkenlik gösterirken, ayçiçeği sapından kitosan bağlayıcılı olarak yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre nispeten daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahiptir. Ayçiçeği sapı tek başına kitosan bağlayıcı ile kullanıldığında üretilen malzemenin ısı iletkenliği $0,06 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ayçiçeği sapı, tekstil atığı ile karıştırıp epoksi bağlayıcı kullanıldığında ısı iletkenlik $0,072 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ iken, anız ile karıştırılıp epoksi bağlayıcı kullanıldığında bu değer $0,078 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkmaktadır. Benzer olarak ayçiçeği sapı ve tekstil atığı, bağlayıcı olarak alçı ile karıştırıldığında ısı iletkenliği yaklaşık 2 kat artarak $0,16 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ olmaktadır. Ayçiçeği sapının tek başına (kitosan bağlayıcılı) veya tekstil atığı (epoksi bağlayıcılı) ile kullanıldığında yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu görülmektedir.

- Atık zeytin çekirdeğinin kullanıldığı alçı bağlayıcılı malzeme $0,1 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ 'nin hemen altında bir ısı iletkenlik değerine sahiptir. Ancak atık zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ile karıştırılıp atık PVC ve epoksi ile bağlandığında ısı iletkenlik yaklaşık 1,2 kat düşmektedir. Her iki durumda da yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre yüksek ısı iletkenlik değeri göstermektedirler.
- Mısır koçanı ile yapılan çalışmalarda epoksi bağlayıcı kullanıldığında ısı iletkenliği en düşük $0,075 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ olmaktadır. Bağlayıcı olarak epoksi yerine çimento ve alçı kullanıldığında, mısır koçanı ısı yalıtım malzemesi özelliğini kaybederek ısı iletkenlik değeri $0,1-0,19 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$ değerine çıkmaktadır. Ancak yaygın kullanılan ısı yalıtımlar ile karşılaştırıldığında epoksi bağlayıcı kullanılan malzemenin yüksek ısı iletkenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.
- Ayrıca tekstil atığından üretilen (keçe şeklinde veya sentetik elyaf bağlayıcılı) organik esaslı doğal malzemelerin, organik esaslı yapay ısı yalıtımlara benzer ısı iletkenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.1'de yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve atıklardan üretilen malzemelerin, üretildiği hammadde esaslarına dikkat edilerek en düşük ısı iletkenliğine göre sıralamaları verilmiştir.



Şekil 5.1 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtımların türlerine göre en düşük ısı iletkenliği.

5.2 Birim Hacim Kütle Açısından Karşılaştırma

Düşük birim hacim kütle genellikle yüksek porozite veya yüksek boşluk hacmi anlamına gelir ve malzemenin ısı iletkenlik değerini düşürür. Isı yalıtım malzemelerinde genelde tercih edilen yoğunluk değeri 20-100 kg/m³ arasındadır. Daha düşük yoğunluklarda radyasyon(ışınım) yoluyla ısı iletimi artarken, daha yüksek yoğunluklarda taşınım yoluyla ısı iletimi artmaktadır [36].

5.2.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler

Çizelge 5.3'te inorganik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi verilmiştir.

Çizelge 5.3 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.

Isı Yalıtım Malzemesi			Birim hacim kütle (kg/m ³)	
			En Düşük	En Yüksek
İnorganik Kökenli Hammadde ile Üretilenler	Doğal	EV	70	160
		EP	90	490
		EPB	150	210
	Yapay	Camyünü	15	150
		Taşıyünü	20	200
		CG	100	150
		Atık cam ve uçucu kül	196	357
		Feldspatik atık	330	380
		Atık cam	500	—

(—) Bilgi yok.

Bu çizelgeye göre;

- İnorganik esaslı atıklardan üretilen malzemeler yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre yüksek birim hacim kütleyle sahiptir.
- Atık cam, mineral yünlerden düşük ısı iletkenlik gösterirken birim hacim kütlesi oldukça yüksektir.
- Genel olarak atık cam, atıkcamlar ve uçucukül, fedispatik atıktan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin birim hacim kütlesi tercih edilen değerlerden yüksektir.

5.2.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler

Çizelge 5.4'te organik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi verilmiştir. Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C 'den büyük olanlar çizelgede işaretlenmiştir.

Çizelge 5.4 : Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.

Isı Yalıtım Malzemesi			Birim hacim kütlesi (kg/m ³)	
			En Düşük	En Yüksek
Organik Kökenli Hammadde ile Üretilenler	Doğal	Kenevir	20	68
		Tekstil atığı (keçe şeklinde)	25	62
		Tekstil atığı (Sentetik elyaf)	27	105
		Atık kâğıt (dolgu şeklinde)	30	60
		Atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde)	30	60
		Atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde)	30	60
		LFCİ	30	80
		Polyester lif atığı (Sentetik elyaf)	65	95
		Ayçiçeği sapı ve anız (Epoksi)	78	187
		ICB	90	490
		Anız (dolgu şeklinde)	95	120
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Epoksi)	99	136
		WW	110	450
		Ayçiçeği sapı (Kitosan)	150	—
		Atık pamuk sapları	150	450
		Hurma ağacı lifi (Mısır nişastası)	176	260
		Ayçiçeği sapı (dikey)	220	270
		Hindistan cevizi lifi atığı	250	350
		Şeker kamışı üretim atığı	250	350
		Ayçiçeği sapı (yatay)	250	350
		Mısır koçanı (Epoksi)	260	310
		WF	360	460
		Anız (Kireç+alçı+çimento)	370	—
		Mısır koçanı (Alçı+çimento)*	500	800
		Tekstil atığı (Hidrolik kireç)*	716	1013
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Alçı)*	720	—
		Hurma ağacı lifi (Alçı)*	753	—
		Atık zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC (Epoksi)	970	1110
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Alçı)	1040	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Alçı)	1120	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, perlit (Çimento)	1150	—
		Atık zeytin çekirdeği (Alçı)	1280	1330
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Çimento)	1330	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Çimento)	1590	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Çimento)	1880	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Alçı)	1890	—
		Atık ahşap talaş (Poliüretan)	—	—
		Atık ahşap talaş (Ürefoaldehyit)	—	—
		Atık ahşap talaş ve perlit (Ürefoaldehyit)	—	—
		Atık kauçuk ve atık ahşap talaş (Poliüretan)	—	—
		Atık kauçuk (Poliüretan)*	—	—
	Yapay	EPS	15	—
		XPS	25	—
		PUR	30	—
		PF	40	—

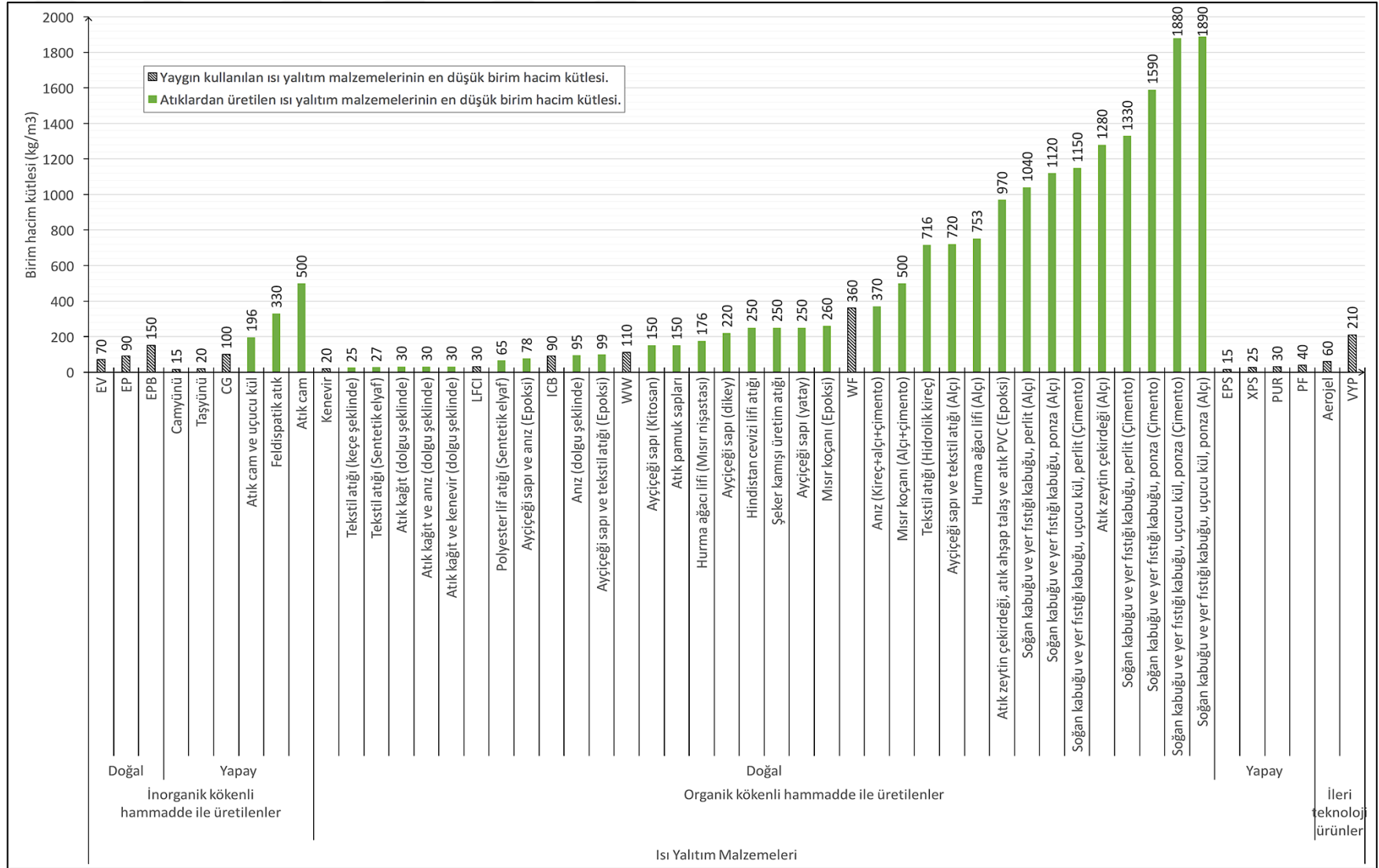
(—) Bilgi yok, (*) Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C 'den büyük.

Bu çizelgeye göre;

- Kenevir ısı yalıtım malzemesinin birim hacim kütlesi (min 20 kg/m³) en düşük değere sahiptir.

- Keçe şeklinde veya sentetik elyaf bağlayıcı ile tekstil atığından üretilen malzeme, tek başına atık kâğıttan veya, atık kağıda anız veya kenevir karıştırılarak gevşek dolgu şeklide üretilen malzemelerin birim hacim kütlesi, LFCİ gevşek dolgu ısı yalıtım malzemesinin birim hacim kütlesine (min 30 kg/m³) eşdeğerdir. Dolgu şeklinde üretilen ısı yalıtım malzemelerinin birim hacim kütlesi çok düşük olsada, malzemenin kullanımı sırasında zamanla çökmesi ile ısı iletkenlik değerinin yükselebileceği unutulmamalıdır.
- Polyester lif atığı (sentetik elyaf bağlayıcı), ayçiçeği sapı ve anız (epoksi), anız (dolgu şeklinde), ayçeği sapı ve tekstil atığı (epoksi bağlayıcı) malzemelerin birim hacim kütlesi tercih edilen değerler arasındadır. Organik esaslı doğal ısı yalıtımlar arasında WF ve WW dahil olmak üzere atıklardan üretilen ısı yalıtımların birim hacim kütlesi yüksektir. Özellikle alçı veya çimento bağlayıcı ile üretilen malzemelerin birim hacim kütlesi epoksi, kitosan ve sentetik elyaf bağlayıcı malzemelere göre oldukça yüksektir.
- Poliüretan bağlayıcı atık ahşap talaş, atık kauçuktan üretilen malzemelerin ve üreformatdehit bağlayıcı atık ahşap talaş içeren malzemelerin birim hacim kütlesi incelenen çalışmalar içerisinde belirtilmediğinden değerlendirmesi yapılamamıştır.

Şekil 5.2’de yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve atıklardan üretilen malzemelerin, üretildiği hammadde esaslarına dikkat edilerek en düşük birim hacim kütle değerlerine göre sıralamaları verilmiştir.



Şekil 5.2 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin türlerine göre en düşük birim hacim kütlesi.

5.3 Basınç Dayanımı Açısından Karşılaştırma

Isı yalıtım malzemeleri için minimum basınç dayanımı gerekliliği kullanıldığı kesite göre değişmektedir. Üzerine yük gelen döşeme kesitlerinde ısı yalıtım malzemesinin noktasal yüklere karşı yeterli mukavemette olması ve/veya korunması gerekmektedir. Örneğin; yüke maruz kalan toprak temaslı perde duvar yalıtımında veya ters teras çatı yalıtımında basınç mukavemetinin 300 kPa'dan yüksek olması istenmektedir [42].

5.3.1 İnorganik kökenli hammadde ile üretilenler

Çizelge 5.5'te inorganik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.

Isı Yalıtım Malzemesi			Basınç Dayanımı (kPa)	
			En Düşük	En Yüksek
İnorganik Kökenli Hammadde ile Üretilenler	Doğal	EPB	200	300
		EP	—	—
		EV	—	—
	Yapay	Camyünü	15	80
		Taşıyünü	15	80
		Atık cam ve uçucu kül	430	1010
		CG	700	1700
		Feldspatik atık	2800	3500
		Atık cam	17500	—

(—) Bilgi yok.

Bu çizelgeye göre;

- Atık cam ve uçucukül ile üretilen malzemenin basınç dayanımı CG'ye yakın olmakla birlikte yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre yüksektir.
- Feldspatik atıktan üretilen malzemenin basınç dayanımı CG'ye göre oldukça yüksektir.
- Atık camdan üretilen malzemenin basınç dayanımı CG'ye göre 25 kat daha yüksektir. Üretilen malzemenin CG'ye göre ısı iletkenliği düşükken basınç dayanımı çok yüksektir.

5.3.2 Organik kökenli hammadde ile üretilenler

Çizelge 5.6'da organik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C 'den büyük olanlar çizelgede işaretlenmiştir.

Çizelge 5.6 : Organik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.

Isı Yalıtım Malzemesi		Basınç Dayanımı (kPa)		
		En Düşük	En Yüksek	
Organik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	Tekstil atığı (Sentetik elyaf)	0,24	1,45
		WF	40	200
		ICB	100	200
		WW	150	200
		Ayçiçeği sapı (yatay)	220	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Alçı)	240	—
		Atık zeytin çekirdeği (Alçı)	250	350
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Alçı)	250	—
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Epoksi)	283	303
		Ayçiçeği sapı ve anız (Epoksi)	312	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Alçı)	360	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, perlit (Çimento)	380	—
		Atık zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC (Epoksi)	420	570
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Çimento)	420	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Çimento)	440	—
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Çimento)	460	—
		Atık ahşap talaş ve perlit (Ürefoaldehyt)	648	1056
		Atık ahşap talaş (Ürefoaldehyt)	1126	1936
		Ayçiçeği sapı (Kitosan)	2000	—
		Tekstil atığı (Hidrolik kireç)*	3220	7620
		Ayçiçeği sapı (dikey)	5130	—
		Anız (dolgu şeklinde)	—	—
		Anız (Kireç+alçı+çimento)	—	—
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Alçı)*	—	—
		Atık ahşap talaş (Poliüretan)	—	—
		Atık kauçuk ve atık ahşap talaş (Poliüretan)	—	—
		Atık kauçuk (Poliüretan)*	—	—
		Tekstil atığı (keçe şeklinde)	—	—
		Atık kâğıt (dolgu şeklinde)	—	—
		Atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde)	—	—
		Atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde)	—	—
		Mısır koçanı (Epoksi)	—	—
		Mısır koçanı (Alçı+çimento)*	—	—
		Hurma ağacı lifi (Mısır nişastası)	—	—
		Hurma ağacı lifi (Alçı)*	—	—
		Atık pamuk sapları	—	—
		Hindistan cevizi lifi atığı	—	—
		Şeker kamışı üretim atığı	—	—
	Polyester lif atığı (Sentetik elyaf)	—	—	
	LFCİ	—	—	
	Kenevir	—	—	
	Yapay	EPS	60	200
		PF	120	—
		PUR	100	500
		XPS	150	700

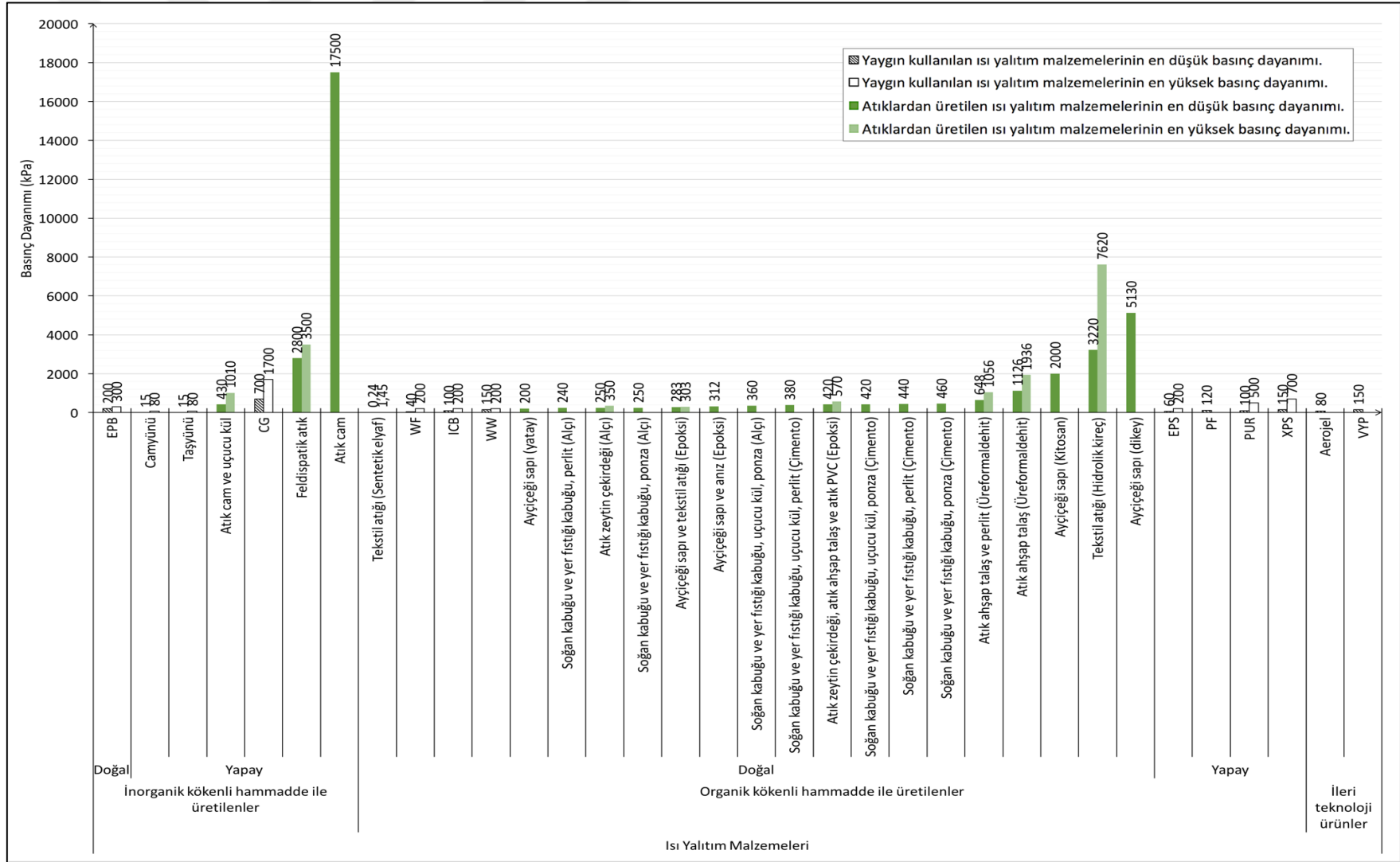
(—) Bilgi yok, (*) Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C 'den büyük.

Bu çizelgeye göre;

- Sentetik elyaf bağlayıcılı tekstil atığından üretilen malzemenin basınç dayanımı çok düşüktür.

- Ayçiçeği sapının dikey olarak konumlandırıldığı levhalarda (çizelge 4.5) basınç dayanımı yaygın kullanılan ısı yalıtımlara ve atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerine göre oldukça yüksektir. Ayçiçeği sapının yatay olarak konumlandırıldığı levhalara göre yaklaşık 23 kat daha fazla basınç dayanımı göstermektedir. Ayçiçeği sapının dikey konumlandırıldığı levhalarda yatay olanlara göre basınç dayanımı yüksektir ancak ısı iletkenlik değeri ve birim hacim kütlesi düşüktür.
- Ayçiçeği sapı ve tekstil atığından epoksi bağlayıcı ile üretilen malzemenin birim hacim kütlesi (99 kg/m^3), WW'nin birim hacim kütlesine (110 kg/m^3) benzerken; basınç dayanımı WW'nin basınç dayanımının yaklaşık 1,8 katıdır.
- Ayçiçeğinden kitosan bağlayıcı ile üretilen malzemenin birim hacim kütlesi (150 kg/m^3), WW'nin birim hacim kütlesine (110 kg/m^3) benzerken; basınç dayanımı (2000 kg/m^3) WW'nin basınç dayanımının yaklaşık 13 katı, ısı iletkenlik değeri de ($0,06 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) yaklaşık 1,7 katıdır.
- Atık ahşap talaştan üretilen formaldehit bağlayıcı kullanılarak üretilen malzemenin basınç dayanımı karışıma perlit eklenince düşmektedir. Benzer şekilde ısı iletkenlik değeri perlit eklenince düşmektedir.
- Tekstil atığından hidrolik kireç ile üretilen malzemenin basınç dayanımı yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre yüksektir. Ancak ısı iletkenlik değeri $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 'den büyüktür.
- Organik esaslı atıklarla üretilen doğal malzemelerin, yaygın kullanılan organik esaslı yapay ısı yalıtımlara göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir.
- İncelenen çalışmalarda organik esaslı atıklarla üretilen 36 farklı malzemenin sadece 18 tanesinin basınç dayanımı incelenmiştir. Geriye kalan 18 tanesi hakkında basınç dayanımı açısından yaygın kullanılan ısı yalıtımlar ile karşılaştırma yapılamamıştır.

Şekil 5.3'te yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve atıklardan üretilen malzemelerinin, en düşük ve en yüksek basınç dayanımı gösterilmiş ve üretildiği hammadde esaslarına dikkat edilerek en düşük basınç dayanımına göre sıralamaları yapılmıştır.



Şekil 5.3 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtımların türlerine göre en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.

5.4 Su Emilimi Açısından Karşılaştırma

Isı yalıtım malzemeleri boşluk içeren malzemelerdir ve prensip olarak ısı yalıtım malzemelerinin hiçbiri için nem ve su emilimi istenen bir durum değildir. Suyun ısı iletkenlik değeri durgun havanın ısı iletkenlik değerinden 20 kat daha fazladır. Dolayısıyla su emilimi genellikle ısı iletkenlik değerinin yükselmesi ile bağlantılıdır [36].

5.4.1 İnorganik hammadde ile üretilenler

Çizelge 5.7’de inorganik esaslı malzemelerin su emme değerlendirmeleri verilmiştir.

Çizelge 5.7 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin su emilimi değerlendirmesi.

Isı Yalıtım Malzemesi			Su emilimi
İnorganik Kökenli Hammadde ile Üretilenler	Doğal	EPB	Yüksek
		EP	Yüksek
		EV	Yüksek
	Yapay	Camyünü	Yüksek
		Taşyünü	Yüksek
		CG	Düşük
		Atık cam ve uçucu kül	—
		Feldspatik atık	Düşük
		Atık cam	Yüksek

(—) Bilgi yok.

Bu çizelgeye göre;

- Atık cam ve uçucukülden üretilen malzemenin su emilimi hakkında bir inceleme yapılmamıştır.
- Feldspatik atıktan üretilen malzemenin su emilimi oldukça düşüktür.
- Atık camdan üretilen malzemenin su emiliminin diğer inorganik esaslı malzemeler gibi (CG ve feldspatik atık hariç) yüksek olduğu görülmektedir.

5.4.2 Organik hammadde ile üretilenler

Çizelge 5.8’de organik esaslı malzemelerin su emme değerlendirmeleri verilmiştir. Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C ’den büyük olanlar çizelgede işaretlenmiştir. Bu çizelgeye göre;

- İncelenen çalışmalar içerisinde organik kökenli atıklardan üretilen 36 malzemenin sadece 17 tanesinin su emilimi değerine bakılmıştır.

- Organik esaslı doğal malzemelerin su emilimi değerlerinin yaygın kullanılan ısı yalıtımlar gibi yüksektir. Bu nedenle uygulanacakları yapı kesitinde mutlaka sudan korunmaları gerekmektedir.

Çizelge 5.8 : İnorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin su emilimi değerlendirmesi.

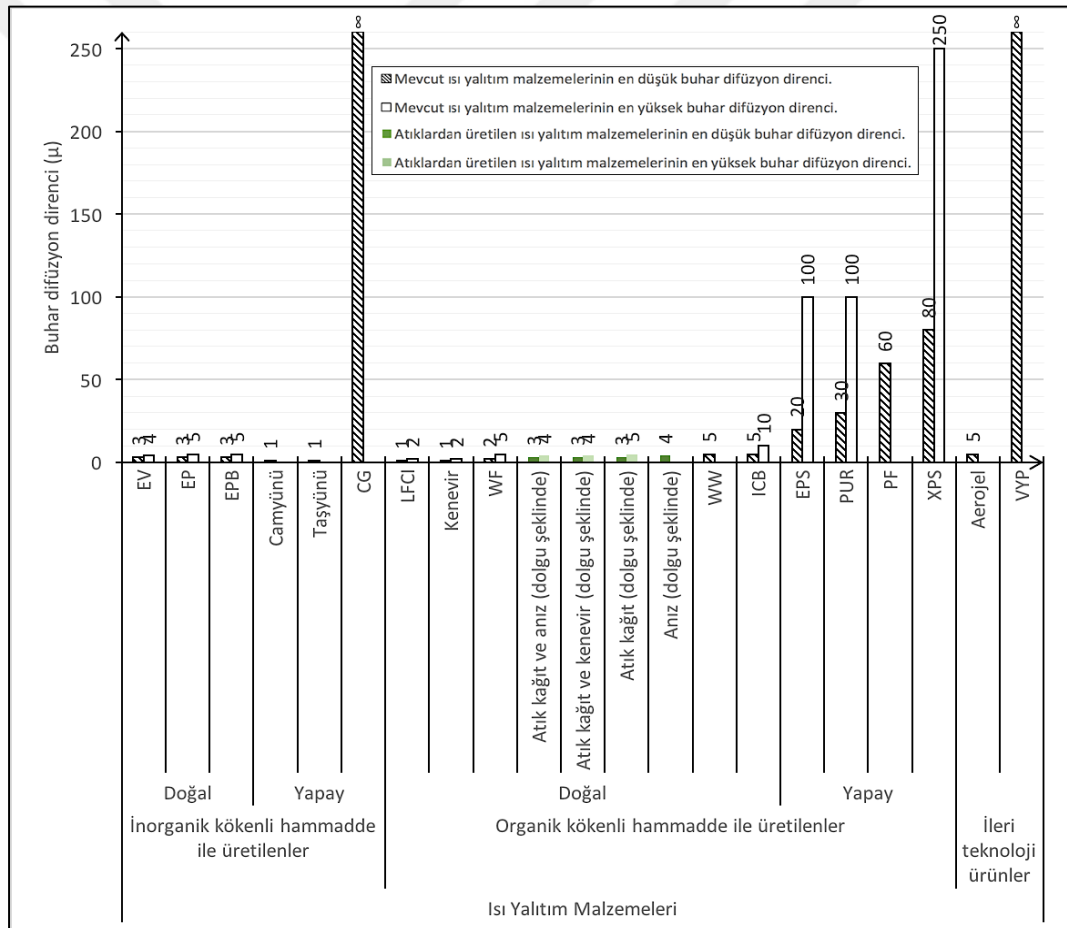
Isı Yalıtım Malzemesi		Su emilimi
Organik Kökenli Hammadde İle Üretilenler	Doğal	WW
		WF
		ICB
		LFCİ
		Kenevir
		Ayçiçeği sapı ve anız (Epoksi)
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Epoksi)
		Ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (Alçı)*
		Atık ahşap talaş (Ürefoaldehyt)
		Atık ahşap talaş ve perlit (Ürefoaldehyt)
		Tekstil atığı (Hidrolik kireç)*
		Atık zeytin çekirdeği (Alçı)
		Atık zeytin çekirdeği, atık ahşap talaş ve atık PVC (Epoksi)
		Mısır koçanı (Epoksi)
		Mısır koçanı (Alçı+çimento)*
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Çimento)
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, perlit (Çimento)
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Çimento)
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Çimento)
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, uçucu kül, ponza (Alçı)
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, ponza (Alçı)
		Soğan kabuğu ve yer fıstığı kabuğu, perlit (Alçı)
		Anız (dolgu şeklinde)
		Anız (Kireç+alçı+çimento)
		Ayçiçeği sapı (Kitosan)
		Ayçiçeği sapı (Yatay)
		Ayçiçeği sapı (Dikey)
		Atık ahşap talaş (Poliüretan)
		Atık kauçuk ve atık ahşap talaş (Poliüretan)
		Atık kauçuk (Poliüretan)*
		Tekstil atığı (keçe şeklinde)
		Tekstil atığı (Sentetik elyaf)
		Atık kâğıt (dolgu şeklinde)
		Atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde)
		Atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde)
		Hurma ağacı lifi (Mısır nişastası)
		Hurma ağacı lifi (Alçı)*
		Atık pamuk sapları
		Hindistan cevizi lifi atığı
		Şeker kamışı üretim atığı
		Polyester lif atığı (Sentetik elyaf)
	Yapay	EPS
		PF
		PUR
		XPS

(—) Bilgi yok, (*) Isı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C 'den büyük.

5.5 Buhar Difüzyon Direnci Açısından Karşılaştırma

Isı yalıtım malzemesi seçilirken kullanılacak yerin koşullarına ve yapı elemanı kesitine göre aranan buhar geçirgenlik direnci değişmektedir. Bu koşullara uygun seçilmeyen veya buhardan korunmayan ısı yalıtım malzemesi yapı kesitinde yoğuşmaya neden olabilir [28].

İncelenen çalışmalar içerisinde buhar difüzyon direnci sadece organik esaslı doğal olarak sınıflandırılan anız (dolgu şeklinde), atık kâğıt (dolgu şeklinde), atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde), atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde) malzemelerinde incelenmiştir. Şekil 5.4'te inorganik ve organik esaslı malzemelerin en düşük ve en yüksek buhar difüzyon direnci verilmiştir.



Şekil 5.4 : Atıklardan üretilen ve yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin buhar difüzyon direnci.

Bu grafiğe göre;

- Anız (dolgu şeklinde), atık kâğıt (dolgu şeklinde), atık kâğıt ve anız (dolgu şeklinde), atık kâğıt ve kenevir (dolgu şeklinde) üretilen malzemelerin LFCI gevşek dolgu ısı yalıtım malzemesine benzer μ değerine sahiptir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda yapılan öneriler verilmiştir.

6.1 Sonuç

İncelenen deneysel çalışmalar ışığında çok çeşitli inorganik ve organik kökenli atıkların çöp olmaktan çıkıp hammadde olarak yeniden üretim sürecine dahil edilebildiği ve üretim maliyetini düşürdüğü görülmektedir.

İncelenen çalışmalar ısı yalıtım malzemesinin taşınması gereken özellikler bakımından değerlendirildiğinde, deneysel çalışmalarda irdelenen malzeme özellikleri ısı iletkenlik, birim hacim kütle, su emilimi, basınç dayanımı ve çok azı için buhar difüzyon direnci ile sınırlı kalmıştır. Bu nedenle beşinci bölümde yapılan değerlendirme bu beş özellik üzerinden yapılabilmektedir.

Çalışmalar içerisinde kullanılan söz konusu atıklar çoğunlukla organik kökenli atıklardır. İnorganik kökenli atıklarla yapılan çalışmaların genel olarak organik kökenli atıklarla yapılan çalışmalara göre daha fazla enerji tüketimi gerektiren yüksek ısı işlemler gerektirdiği görülmektedir.

Isı iletkenlik açısından inorganik ve organik kökenli atıklardan üretilen ısı yalıtımların en düşük ısı iletkenlik değerlerinin benzer olduğu görülmektedir. Ancak düşük ısı iletkenliğe sahip organik kökenli atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemeleri inorganiklere göre çok daha düşük birim hacim kütlelerine ve basınç dayanımına sahiptir. Su emilimleri organik ve inorganikler için genel olarak yüksek olsada (feldspatik atık hariç), organik kökenli atıklardan üretilenlerin su emilimleri inorganiklere göre çok daha yüksektir.

İnorganik kökenli atıklarla üretilen ısı yalıtım malzemeleri yaygın kullanılan inorganik kökenli ısı yalıtımlara benzer ısı iletkenlik gösterirken, atıklardan üretilenlerin birim hacim kütleleri yüksektir. Basınç dayanımları açısından feldspatik atık ve özellikle atık camdan üretilen ısı yalıtım malzemesi oldukça yüksek basınç dayanımına sahiptir.

Atık cam üstün ısı iletkenlik ve basınç dayanımı gösterse de su Emilimi yüksektir. Feldspatik atıktan üretilen malzemenin su Emilimi organik kökenli polimer köpük ısı yalıtımlara benzer olarak oldukça düşüktür.

Organik esaslı atıklarla üretilen doğal malzemelerin, yaygın kullanılan organik esaslı yapay ısı yalıtımlara göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Organik esaslı doğal malzemelerin su Emilimi değerlerinin yaygın kullanılan ısı yalıtımlar gibi yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle uygulanacakları yapı kesitinde mutlaka sudan korunmaları gerekmektedir.

Organik esaslı doğal ısı yalıtımlar arasında WF ve WW dahil olmak üzere atıklardan üretilen ısı yalıtımların birim hacim kütlesi ısı yalıtım malzemelelerinde aranan birim hacim kütlesine göre (20-100 kg/m³ [29]) yüksektir. Özellikle alçı veya çimento bağlayıcı ile üretilen malzemelerin birim hacim kütlesi epoksi, kitosan ve sentetik elyaf bağlayıcılı malzemelere göre oldukça yüksektir.

Atık kauçuk (poliüretan bağlayıcılı), mısır koçanı (alçı+çimento bağlayıcılı), ayçiçeği sapı ve tekstil atığı (alçı bağlayıcılı), tekstil atığı (hidrolik kireç bağlayıcılı) ve hurma ağacı lifi (alçı bağlayıcılı) ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değeri 0,1 W/m.°C'den büyüktür. Bu nedenle bu atık ve bağlayıcılardan üretilen malzemelerin ısı yalıtım malzemesi özelliği taşımamaktadır.

Organik kökenli atıklarla üretilen ısı yalıtım malzemelerin aynı türden yaygın kullanılan ısı yalıtımlara benzer ısı iletkenlik göstermektedir. Tekstil atığı (sentetik elyaf bağlayıcılı veya keçe şeklinde), atık kâğıt (gevşek dolgu şeklinde), atık kâğıt ve anız (gevşek dolgu şeklinde), polyester lif atığı (sentetik elyaf bağlayıcılı), atık kâğıt ve kenevir (gevşek dolgu şeklinde), anız (gevşek dolgu şeklinde), ayçiçeği sapından (yatay ve dikey levhalar) üretilen malzemeler, yaygın kullanılan ısı yalıtımlara benzer ısı iletkenlik değerine ve birim hacim kütlesine (ayçiçeği sapından üretilenler hariç) sahiptir. Bu malzemelerden gevşek dolgu şeklinde olanların buhar difüzyon dirençleride yaygın kullanılan ısı yalıtımlara benzemektedir. Ancak LFCİ gibi gevşek dolgu şeklinde üretilen ısı yalıtımların zamanla çökmesi nedeniyle zamanla ısı iletkenlik değerleri yükselebilmektedir.

Organik kökenli atıklardan üretilen hindistan cevizi lifi (bağlayıcısız), hurma ağacı lifi (nişasta bağlayıcılı), şeker kamışı üretim atığı, atık pamuk sapları ve ayçiçeği sapı (kitosan) ısı yalıtım malzemeleri, yaygın kullanılan ısı yalıtımlara göre nispeten

yüksek ısı iletkenliğe ve birim hacim kütleyle sahip olsada bu değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

6.2 Öneriler

Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre öneriler aşağıda sıralanmıştır. Elde edilen tüm veriler ışığında;

- Atıklardan üretilen ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik, birim hacim kütle, basınç dayanımı ve buhar difüzyon direncinin yanısıra; yangın dayanımı, işlenebilirlik ve malzemenin uzun dönem performansını belirleyen kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, parazitler karşısındaki davranışı, çürüme durumu gibi malzeme özelliklerinin ortaya koyulmasında yarar vardır.
- Atıklardan üretilen ve ısı yalıtım malzemesi özelliği gösteren malzemelerin performans değerlendirmeleri çeşitli yapı kesitleri üzerinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]**Worldwatch Enstitüsü** (2014). Dünyanın Durumu 2013 Sürdürülebilirlik Hala Mümkün mü?, İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.
- [2]**T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü** (2008), Küresel İklim Değişikliği ve İnsan Sağlığına Etkileri. Erişim: Ocak 2017, <https://www.mgm.gov.tr/genel/makale.aspx>.
- [3]**Url-1** < <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions> > , erişim tarihi: 10.01.2017.
- [4]**Url-2** <<http://www.wri.org/blog/2014/05/history-carbon-dioxide-emissions>> , erişim tarihi: 10.01.2017.
- [5]**İZODER**, 2010-2023 Isı Yalıtım Planlama Raporu.
- [6]**Çakıllı, H.** (2013). TRC2 Bölgesi (Diyarbakır-Şanlıurfa) Yalıtım Sektörü Raporu, Şanlıurfa Yatırım Destek Ofisi.
- [7]**Url-3** <<http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>> , erişim tarihi: 10.01.2017
- [8]**Directive 2008/98/EC of The European Parliament and of The Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives.** (2008). Official Journal of the European Union, L 312/3, 22 November 2008.
- [9]**Atık Yönetim Yönetmeliği.** (2015). T. C. Resmi Gazete, 29314, 2 Nisan 2015.
- [10]**2872 Sayılı Çevre Kanunu.** (1983). T. C. Resmi Gazete, 18132, 11 Ağustos 1983.
- [11]**Manual on waste statistics. A Handbook for Data Collection on Waste Generation and Treatment.** (2013), Eurostat European Commission, 2013 Edition.
- [12]**Steiner, M. & Wiegel, U.** (2009). Katı atık yönetimi: Atık yönetiminin temellerine yönelik rehber kitap (A. Dizdar Çev.). İstanbul: Eflatun.
- [13]**T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü.** Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017.
- [14]**European Commission** (2010). Being Wise With Waste: The EU's approach to waste management. Publications Office of the European Union.
- [15]**T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.** (2008). Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012).
- [16]**T.C. Sayıştay Başkanlığı** (2007). Türkiye'de Atık Yönetimi Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi Performans Denetimi Raporu.
- [17]**Yıldız N.** (2005). Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Çevre Politikalarının Karşılaştırmalı Analizi. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (6-1) 164-173.

- [18]**European Commission** (n.d.) The Story Behind the Strategy EU Waste Policy. Retrieved June 21, 2017, from http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/story_book.pdf.
- [19]**Review of the Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste.** (n.d.). Retrieved June 21, 2017, from <http://ec.europa.eu/environment/waste/strategy.htm>.
- [20]**Url-4**< <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>>, erişim tarihi 06.10.2017.
- [21]**Url-5**<<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr>>, erişim tarihi 10.06.2017.
- [22]**Url-6** < <http://www.resmigazete.gov.tr> >, erişim tarihi 10.06.2017.
- [23]**Yapıcı A.** (2012). Tehlikeli Atık Geri kazanım/Bertaraf Tesislerinde İş Sağlığı Ve Güvenliğinin Mevcut Durumunun Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [24]**The European List of Waste.** (2017). Retrieved June 21, 2017, from <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/list.htm>.
- [25]**Waste statistics.** (2017). Eurostat Statistics Explained. Retrieved June 21, 2017, from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics#Further_Eurostat_information.
- [26]**Url-7** < <http://www.tuik.gov.tr>>, erişim tarihi 01.05.2017.
- [27]**Strother, E.F. & Turner, W.C.** (1990). Thermal Insulation Building Guide. Florida, Robert E. Krieger Publishing Company.
- [28]**Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan L.** (2000). Yapı elemanı tasarımında malzeme, İstanbul.
- [29]**Eriç, M.** (2011). Yapı fiziği ve malzemesi, İstanbul.
- [30]**Akıncı, H.** (2007) Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri Özellikleri Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri, Sakarya Üniversitesi(YL), Sakarya.
- [31]**Kulaksızoğlu, Z.** (2006). Isı Yalıtım Sektör Araştırması, İstatistik Şubesi, Eylül 2006.
- [32]**Bozasky, D.** (2010), The historical development of thermal insulation materials, Periodica polytechnic, 41(2),49-56.
- [33]**Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği** (2008). T. C. Resmi Gazete, 27075, 5 Aralık 2008.
- [34]**Sezer, F. Ş.** (2005). Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi Ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 2005.
- [35]**İzocam Diyalog**, Ocak-Şubat-Mart, 2015.
- [36]**Pfundstein M., Gellert R, Spitzner M. H. , Rudolphi A.** (2007). Insulation materials Principles Materials Applications, Germany.
- [37]**Özgünler, M.** (1999). Yangın güvenliği açısından malzeme kontrolü, Yangın Ve Deprem Güvenliği Açısından Malzeme Ve Taşıyıcı Sistem Seçimi Semineri, (s.45-60). İstanbul: TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi Arşiv Dizisi.

- [38]**Jelle, B. P.** (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities, *Energy and Buildings*, 43, 2549–2563, 2011.
- [39]**Url-8** <<https://www.tse.org.tr>>, erişim tarihi 01.08.2017.
- [40]**Rashad, A. M.** (2016). A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer, *Construction and Building Materials*, 121, 338–353, 2016.
- [41]**Url-9** <<http://www.siteper.com>> , erişim tarihi: 07.11.2017.
- [42]**TSE** (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825).
- [43]**Ehsani, İ.** (2015). Bir Vermikülitin Fiziksel, Kimyasal Ve Isıl Özellikleri Üzerine Sülfürik Asit Liçinin Etkileri, Hacettepe Üniversitesi (YL), Ankara.
- [44]**Sirok, B., Blagojevic, B. and Bullen, P.** (2008). Mineral wool production and properties, England.
- [45]**Url-10** < <http://www.izocam.com.tr/>> , erişim tarihi: 01.06.2017.
- [46]**Url-11** < <http://intertherm.co.za/>>, erişim tarihi: 07.11.2017.
- [47]**Url-12** < <http://www.archiexpo.com/>> ,erişim tarihi: 07.11.2017.
- [48]**Url-13** < <https://www.akustikkaplama.com>>, erişim tarihi: 07.11.2017.
- [49]**Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J. S. and Pereira H.** (2016). Cork as a building material: a review, *European Journal of Wood and Wood Products*, 74, 775-791.
- [50]**Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F. and Asdrubali, F.** (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988–1011, 2016.
- [51]**Hurtado, P. L., Rouilly, A., Vandenbossche, V. and Raynaud, C.** (2016). A review on the properties of cellulose fibre insulation, *Building and Environment*, 96, 170-177, 2016.
- [52]**Url-14** < <https://www.isolationtoiture-expert.fr>> , erişim tarihi: 07.11.2017.
- [53]**Url-15** < <http://www.tectonica-online.com/>>, erişim tarihi: 07.11.2017.
- [54]**Url-16** < <http://www.polstate.com/>>, erişim tarihi: 07.11.2017.
- [55]**Aerogels: Thinner, Lighter, Stronger.** (2011). Retrieved June 23, 2017, from <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/aerogels.html>.
- [56]**Yılmaz, Y.** (2013). Farklı Başlangıç Maddeleri Kullanılarak Sol-jel Yöntemiyle Monolitik Silika Aerojel Ve Silika Aerojel Sentezi Ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi (YL), Ankara.
- [57]**Url-17** < <http://www.aerogel.com/>>, erişim tarihi: 07.11.2017.
- [58]**Kalnæs, S. E., Jelle, B. P.** (2014). Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways, *Applied Energy*, 116, 355–375, 2014.

- [59]**Bayrakçı, H. C., Davraz, M., Başpınar, E.,** (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12, 2011.
- [60]**Akelçi, B.** (2016). Kentsel dönüşüm kapsamında dıştan ısı yalıtım uygulamalarının irdelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi (YL), İstanbul*.
- [61]**Ayadi, A., Stiti, N., Boumchedda, . K., Rennai, H., Lerari, Y.,** (2011). Elaboration and characterization of porous granules based on waste glass, *Powder Technology*, 208, 423-426, 2011.
- [62]**Zhang, R., Feng, J., Cheng, X., Gong, L., Li, Y., Zhang, H.,** (2014). Porous thermal insulation materials derived from fly ash using a foaming and slip casting method, *Energy and Buildings*, 81, 262-267, 2014.
- [63]**Kazmina, O.V., Tokareva, A.Y., Vereshchagin, V.I.,** (2016). Using quartzofeldspathic waste to obtain foamed glass material, *Resource-Efficient Technologies* 2, 23–29, 2016.
- [64]**Yağanoğlu, A.V.,** (1994). Tarımsal yapılarda kullanılan bazı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25, 291-310, 1994.
- [65]**Zhou X., Zheng F., Li H. , Lu C.** (2010). An Environment -Friendly Thermal Insulation Material From Cotton Stalk Fibers, *Energy and Buildings* (42), 1070–1074.
- [66]**Panyakaew, S., Fotios, S.** (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse, *Energy and Buildings* 43, 1732–1739, 2011.
- [67]**Efe, F.T.** (2011). Ayçiçeği bitkisi (*Helianthus annuus* L.) Saplarının izolasyon levha üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması (Doktora Tezi), *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş*.
- [68]**Binici, H., Eken, M., Dolaz, M., Aksogan, O., Kara, M.** (2014). An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres, *Construction and Building Materials* 51, 24–33, 2014.
- [69]**Eken, M.** (2012). Yalıtım malzemesi üretiminde atık malzemelerin kullanılması (Y.L.) , *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş*.
- [70]**Mati-Baouchea, N., Baynasta, H., Leberta, A., Suna, S., Lopez-Mingob, C.J.S., Leclaireb, P., Michauda, P.** (2014). Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan, *Industrial Crops and Products* 58, 244–250, 2014.
- [71]**Ceviz A.** (2008). Atık odun talaşı kullanılarak ısı yalıtımlı dış cephe kaplama elemanının geliştirilmesi (Y.L.), *Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- [72]**Tiuc, A.E., Moga, L.** (2013). Improvement of Acoustic and Thermal Comfort by Turning Waste into Composite Materials, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume X issue 2, 77-82, 2013.

- [73]**Barbero-Barrera, M., Pombo, M., Navacerrada, M.A.** (2016). Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime, *Composites Part B* 94, 26-33, 2016.
- [74]**Zach, J., Hroudová, J., Korjenic, A.** (2016). Environmentally efficient thermal and acoustic insulation based on natural and waste fibers, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91, 2156-2161, 2016.
- [75]**Url-6** < <http://www.kdrtekstil.com.tr> >, erişim tarihi 16.10.2017.
- [76]**Waznaa, M., Fatihib, M., Bouaria, A., Cherkaouib, O.** (2017). Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste, *Journal of Building Engineering* 12, 196–201, 2017.
- [77]**Drochytka, R., Dvorakovaa, M., Hodna, J.** (2017). Performance Evaluation and Research of Alternative Thermal Insulation Based on Waste Polyester Fibers, *Procedia Engineering* 195, 236 – 243, 2017.
- [78]**Binici, H., Aksogan, O.** (2016). Eco-friendly insulation material production with waste olive seeds, ground PVC and wood chips, *Journal of Building Engineering* 5, 260–266, 2016.
- [79]**Reif, M., Zach, J., Hroudová, J.** (2016). Studying the properties of particulate insulating materials on natural basis, *Procedia Engineering* 151, 368 – 374, 2016.
- [80]**Binici, H., Sevinç, A.H., Demirhan, C.** (2014). Mısır Koçanı Katkılı Isı Yalıtım Malzemesi Üretimi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 29, 13-26, 2014.
- [81]**Binici, H., Aksogan, O., Demirhan, C.,**(2015). Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulation composite made of bio-based materials, *Sustainable Cities and Society* 20, 17–26, 2015.
- [82]**Binici, H., Aksogan, O.,**(2016). Insulation Material Production from Onion Skin and Peanut Shell Fibres, Fly Ash, Pumice, Perlite, Barite, Cement and Gypsum, *Materials Today Communications* 10, 14-24, 2016.
- [83]**Chikhi, M., Agoudjil, B., Boudenne, A., Gherabli, A.** (2013). Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation, *Energy and Buildings* 66, 267–273, 2013.
- [84]**Ali, M.E., Alabdulkarem, A.** (2017). On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers, *Construction and Building Materials* 138, 276–284, 2017.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Nazife ÖZER
Doğum Tarihi ve Yeri : 1991, Trabzon
E-posta : onalnazife@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans :2013, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- M.A.Y.R.A. Mimarlık / Mimar/ Trabzon/ 2013-2014.
- İzmir Kalkınma Ajansı (İZKA) Hizmet Binası Ulusal Mimari Proje Yarışması / 61013/ Ödülsüz proje / 2013.
- Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü / Araştırma Görevlisi /2014.
- Akdeniz Üniversitesi / Araştırma Görevlisi / 2014-2015.
- İstanbul Teknik Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü/ Araştırma Görevlisi / 2015-Halen devam ediyor.

