

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOR VE MİNERAL KATKILI SELÜLOZİK YALITIM MALZEMESİ
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**DOKTORA TEZİ
İbrahim Ethem KARAAĞAÇLIOĞLU**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOR VE MİNERAL KATKILI SELÜLOZİK YALITIM MALZEMESİ
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**DOKTORA TEZİ
İbrahim Ethem KARAAĞAÇLIOĞLU
(505932008)**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505932008 numaralı Doktora Öğrencisi **İ. Ethem KARAAĞAÇLIOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BOR VE MİNERAL KATKILI SELÜLOZİK YALITIM MALZEMESİ ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr.Mehmet Sabri ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Gülay BULUT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yard.Doç. Dr. Memiş IŞIK
Karabük Üniversitesi

Prof. Dr. Fatma ARSLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. M.Vezir KAHRAMAN
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **01.Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **12.Ocak 2012**

İlim şehrinin kapısına,

ÖNSÖZ

Atık kağıtların, yalıtım sektöründe yeniden üretime kazandırılıp, ekonomik değer olarak yer almasını sağlayacak bu çalışmanın, konusunu öneren ve çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübesini esirgmeden, akademik çalışma sistematığını dikte eden, yapıcı eleştirileri ile yönlendiren, her türlü imkanı sağlayarak desteğini esirgemeyen ve sabırla bana yardımcı olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK hocama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde yer alarak, çalışmamda değerlendirmeleri ve yönlendirmeleri ile bana destek veren Sayın Doç. Dr. Gülay BULUT ve Sayın Yard. Doç. Dr. Memiş IŞIK hocalarıma, tez çalışmam süresince teknik imkanlarından yararlandığım Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatma ARSLAN hocama ve bölümde görev yapan saygıdeğer bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmada kullandığımız test cihazlarının, tasarım ve yapım aşamasında bilgi ve tecrübelerini paylaşan ve akustik laboratuvarında, numunelerin ses yutum katsayısı ölçümlerinde yardımcı olan İTÜ Makine Fakültesi öğretim üyelerinden Sayın Doç. Dr. Haluk EROL ve Yard. Doç. Dr. Erhan BÖKE' ye, numunelerin ısı iletim katsayısı ölçümlerini yapan İzmir Yüksek İhtisas Enstitüsünden Uzman Dr. Ebru KUZGUNKAYA' ya, numunelerin LOI testlerinin yapılmasında laboratuvarlarından yararlanmama izin veren Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi öğretim üyelerinden Sayın Doç. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN ve Araş. Gör. Burak KARABEL' e, numunelerin gaz geçirgenlik testlerinde yardımını esirgemeyen İTÜ Maden Fakültesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden, Sayın Yard. Doç. Dr. İ.Metin MIHÇAKAN' a, Araş.Gör. Bahar ÖZTORUN' a ve uzman Eda AY DİLSİZ' e, çalışmalarım süresince haftalık bölüm toplantılarında ve özel olarak karşılaştığım sorunları paylaştığım ve olumlu eleştirileri ile çalışmama ve bana pozitif enerji katan, bölüm çalışma hocalarım Sayın Yard. Doç. Dr. Feridun BOYLU' ya, Yard. Doç. Dr. M. Fatih CAN' a, Araş. Gör. Dr. Fırat KARAKAŞ' a, Araş.Gör. Onur GÜVEN' e ve çalışma arkadaşlarım Yük.Müh.Deniz KARATAŞ' a, Yük.Müh.Rüstem HODJİEV' e teşekkür ederim.

Test cihazlarının, hassas ve titiz çalışmaları ile yapımında emekleri geçen, elektronik mühendisi Sayın Mustafa GÜRSEL (Kadırgalı Gürsel) ve VARSAN Makine İmalat San. LTD. şirketi adına Sayın Hasan VAR beyefendilere, çalışmanın temelini teşkil eden atık kağıt elyafını bize hazır olarak temin eden YALİZ firması sahibi Sayın M. Hayri SAĞLAM' a sağladıkları teknik destekten dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2011

İ. Ethem KARAAĞAÇLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET	xxvii
SUMMARY.....	xxxii
1. GİRİŞ	1
2. ATIK KAĞIT ELYAFI	5
2.1 Kağıt	5
2.1.1 Atık kağıt ve atık kağıtların değerlendirilmesi	5
2.1.2 Selülozik yalıtım malzemesi olarak atık kağıt elyafı.....	7
2.1.3 Konuyla ilgili önceden yapılmış çalışmalar.....	11
3. YALITIM.....	15
3.1 Yalıtım ve Çevre	15
3.2 Yalıtım.....	19
3.2.1 Yalıtım malzemeleri	22
3.2.2 Katkı olarak kullanılan mineraller	29
3.2.2.1 Bor ve ürünlerinin kullanım alanları	29
3.2.2.2 Bor ve insan sağlığı.....	30
3.2.2.3 Bor ve çevre sağlığı.....	31
3.2.2.4 Yalıtım uygulamasında bor ürünlerinin kullanımı	33
3.2.2.5 Borik asit	35
3.2.2.6 Perlit	36
3.2.2.7 Vermikülit	39
3.2.2.8 Pomza.....	40
3.2.2.9 Diatomit	40
3.3 Isı Yalıtımı ve Malzemeleri.....	41
3.3.1 Isı yalıtımı	41
3.3.2 Isı akışının temel kavramları.....	44

3.3.2.1 İletim	44
3.3.2.2 Taşınım.....	44
3.3.2.3 Işınım.....	45
3.3.3 Isı yalıtım malzemeleri	45
3.3.4 Doğru yalıtım yöntemini belirlemek.....	48
3.3.5 Isı yalıtım malzemelerinde uygulamaya göre aranması gereken özellikler	50
3.3.5.1 Isı iletim katsayısı.....	50
3.3.5.2 Isıl direnç (R-Değeri)	52
3.3.5.3 Yoğunluk	53
3.3.5.4 Yangın sınıfı.....	54
3.3.5.5 Mekanik dayanım.....	55
3.3.5.6 Buhar difüzyon direnci.....	55
3.3.5.7 Su emme.....	56
3.3.5.8 Boyutsal kararlılık	59
3.3.5.9 Porozite.....	60
3.4 Ses Yalıtımı ve Malzemeleri	61
3.4.1 Ses yalıtımı.....	61
3.4.2 Ses yalıtımının temel kavramları	65
3.4.2.1 Sesin yayılması.....	65
3.4.2.2 Ses iletim kaybı	66
3.4.2.3 Frekans analizi.....	68
3.4.2.4 Ses yutma katsayısı	68
3.4.2.5 Ses azaltma katsayısı (NRC)	70
3.4.3 Ses yalıtımında kullanılan malzemeler	71
3.4.3.1 Ses yalıtım malzemesinde aranması gereken özellikler	74
3.5 Yangın yalıtımı ve malzemeleri	76
3.5.1 Yanma	76
3.5.2 Yangın yalıtımı	76
3.5.3 Yanma geciktiriciler.....	79
3.5.4 Selülozik yalıtım malzemelerinde yanma geciktirici olarak bor kullanımı	81
3.5.5 Yangın yalıtım malzemeleri.....	86
3.5.6 Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)	88
4. MALZEME VE YÖNTEM	91

4.1 Malzeme	91
4.1.1 Selüloz Elyafı.....	91
4.1.2 Mineral Katkı Maddeleri	91
4.1.3 Kimyasal Maddeler.....	93
4.2 Yöntem	93
4.2.1 Selülozik elyafın bağlayıcı olarak su ile davranışının incelenmesi	93
4.2.2 İlk beş dakika performansı ölçümü.....	100
4.2.3 Bağlayıcı tesbiti	101
4.2.4 Dayanım testi	101
4.2.5 Boyut küçülme miktarı ölçümü	103
4.2.6 Su buharı Geçirgenliği	103
4.2.7 Gaz geçirgenliği ölçümü	103
4.3 Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçümleri	105
4.3.1 İTÜ Maden Fakültesi laboratuvarı ısı iletim katsayısı ölçüm düzeneği	105
4.3.2 Isı iletim katsayıları ölçüm sonuçlarının İYTE verileri ile karşılaştırılması	108
4.3.3 Mineral katkıların ısıl iletkenlik değerlerine etkisinin tespiti.....	109
4.3.4 Ses Yutum Test Düzeneği ve Ses Yutum Değerlerinin Ölçümleri	109
4.3.4 Mineral katkıların ses iletim değerlerine etkisi.....	112
4.4 Yanma Geciktiricilik ve LOI Deneyi	112
4.4.1 Borik asitin yanma geciktirmedeki etkisinin tespiti	113
4.4.2 Mineral katkısının yanma geciktirmedeki etkisinin tespiti.....	116
4.4.3 LOI (Limiting Oxygen Index)Testi	116
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	119
5.1 Selülozik Elyafın Bağlayıcı Olarak Su İle Davranışı	119
5.1.1 İlk beş dakikalık performans ölçümü.....	125
5.1.2 Bağlayıcı tesbiti	127
5.1.3 Dayanım testi	131
5.1.4 Boyutsal değişim miktarı ölçümü	136
5.1.5 Gaz geçirgenliği ölçümü	137
5.1.6 Su buharı Geçirgenliği	138
5.2 Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçümleri	138
5.2.1 Perlitin ısıl iletkenlik değerine etkisi	145
5.2.2 Vermikülitin ısıl iletkenlik değerine etkisi	148

5.2.3 Pomza katkısının ısı iletkenlik değerine etkisi	148
5.2.4 Sepiyolit ve diatomit katkısının ısı iletkenlik değerine etkisi	149
5.3 Ses yutum test sonuçlarının karşılaştırması	151
5.3.1 Hata miktarının tespiti	154
5.3.2 Ağırlık ve yoğunluğun ses iletim değerlerine etkisi	155
5.3.3 Mineral katkıların ses iletim değerlerine etkisi	157
5.4 Yanma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirmesi	162
5.4.1 Borik asitin yanma değerlerine etkisi	162
5.4.2 Mineral katkısının yanma değerlerine etkisi	167
5.4.3 LOI sonuçlarının değerlendirilmesi	169
6. SONUÇLAR	173
6.1 Genel Değerlendirme ve Öneriler	177
KAYNAKLAR	179
EKLER	201
ÖZGEÇMİŞ	273

KISALTMALAR

PCC: Precipitated Calcium Carbonate
GCC: Ground Calcium Carbonate
EPA: Environmental Protection Agency
BOI: Biologic Oxygen Index
CIMA: Cellulose Insulation Manufactures Association
NCIMA: National Cellulose Insulation Manufactures Association
BMİDÇS: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
LCA: Life Cycle Assessment
CED: Cumulated Energy Demand
NRE: Non-Renewable Energy
GWP: Global Warming Potential
AP: Acidification Power
NIT: Normal Incidence Technique
LOI: Limiting Oxygen Index
AKY: Alev Kaynaklı Yanma
KKY: Kendi Kendine Yanma
KHY: Kor Halinde Yanma
BA: Borik Asit
İYTE: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Bor ürünlerinin kullanım alanları [100].	30
Çizelge 3.2 : Sıcaklık farkı ve konfor ilişkisi [161].	42
Çizelge 3.3 : Isı Bölgeleri Marjinal Dış Sıcaklık Değerleri [162].	43
Çizelge 4.1 : Yalız A.Ş. firması tarafından üretilen selülozik elyaf isimli ürünün	91
Çizelge 5.1 : 1 kg sabit yükte, Su/Selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı, ezilme, ağırlık ve yoğunluk miktarlarındaki değişim değerleri ($T_{kurutma}$:100° C, m:5gr, Ø: 9 cm).	119
Çizelge 5.2 : Su bağlayıcılı, selülozik elyaf numunenin baskı yükü ve uygulama süresine bağlı, ezilme miktarlarındaki değişimi, ($T_{kurutma}$: 150° C, $t_{kurutma}$: 15 dk, m:5 gr, Ø:9cm).	126
Çizelge 5.3 : Bağlayıcı türüne bağlı, selüloz elyafının ölçülen ısı iletkenlik değerleri. Detaylar (Çizelge A.8 - A.11)'de verilmiştir.	128
Çizelge 5.4 : Bağlayıcı olarak sadece su kullanılan selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri, (Selüloz+Su 1/1mix, d: 20mm, m: 20gr, Ø:10cm, T_{oda} :17.4° C, T_{test} :60 °C, hata: ±0,00018).	128
Çizelge 5.5 : Bağlayıcı olarak sadece su kullanılarak, farklı yük miktarlarında sıkıştırılan, 5 ve 10 gr'lık numunelerin kırılma değerleri (Ø: 9cm, T_{oda} : 19.3° C, hata:± 0.05).	132
Çizelge 5.6 : Su bağlayıcılı, 15 gr'lık numunelerle elde edilen dört haftalık dayanım değerleri (Su+Selüloz 1/1 mix., m: 15 gr, d: 1.5 cm, Ø: 9 cm, p:2 kg, $T_{kurutma}$: 150 ° C, T_{oda} : 21.2° C, hata: ±0.05)	133
Çizelge 5.7 : Farklı mineral içerikli selüloz yapının, mekanik dayanım değerleri, (Ø: 9cm, T_{oda} :19,6° C).	135
Çizelge 5.8 : Mineral katkılı ve katkısız hazırlanmış sıkıştırılmış selüloz elyafının gaz geçirgenliği testi karşılaştırmalı sonuçları (T_{gaz} : 22 ° C, T_{oda} : 22° C, p_{oda} : 1atm).	137
Çizelge 5.9 : Isı İletim Katsayıları Ölçüm Değerleri Karşılaştırması (Çizelge A.16).	139
Çizelge 5.10 : İki farklı basınçta ısı iletim katsayıları ölçüm değerleri karşılaştırması.	140
Çizelge 5.11 : Hata oranı tespiti için yapılan dört ayrı testin ısı iletkenlik ölçüm değerleri (Çizelge A.17 - A.20).	142
Çizelge 5.12 : Selüloz elyafının yüke, kalınlığa ve test sıcaklığına bağlı (λ) ve R-Değeri değişim değerleri.	143
Çizelge 5.13 : Selüloz miktarına ve yoğunluğa bağlı, ısı iletkenlik ölçüm değerleri (Çizelge A.24-A.28).	144
Çizelge 5.14 : Perlit No:2 içerikli numunelerin, karşılaştırmalı ısı iletkenlik değerleri (Çizelge A.35-A.41).	146
Çizelge 5.15 : Perlit No:12 içerikli numunelerin karşılaştırmalı ısı iletkenlik değerleri (Çizelge A.42-A.48).	147

Çizelge 5.16 : Vermikülit katkılı numunelerin karşılaştırmalı ısı iletkenlik değ erleri (Çizelge A.49-A.54).....	148
Çizelge 5.17 : Pomza katkılı selüloz elyafının ısı iletkenlik değ erleri (Çizelge A.55-A.57).....	149
Çizelge 5.18 : Sepiyolit ve diatomit katkılı selüloz elyafının ısı iletkenlik değ erleri.	150
Çizelge 5.19 : İTÜ Makina Fakültesi akustik laboratuvarı ile Maden Fakültesi NRC ve ses yutum kaybı değ erleri karşılaştırması.	152
Çizelge 5.20 : Ses yutum katsayısı ölçümleri hata oranı testi ses iletim ölçüm sonuçları (Çizelge A.63-A.66).	154
Çizelge 5.21 : Yoğunluk ve selüloz miktarına bağlı ses iletim değ erlerindeki değişim (Çizelge A.67-A.71).....	155
Çizelge 5.22 : Perlit No:2 katkılı selüloz elyafının ses iletim değ erleri (Selüloz+ Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix) (Çizelge A.71-A.78).	157
Çizelge 5.23 : Perlit No:12 katkılı selüloz elyafının ses iletim değ erleri (Selüloz+ Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix)(Çizelge A.79-A.85).	159
Çizelge 5.24 : Farklı mineral katkılı ve farklı miktarlardaki selüloz elyafının hesaplanan ses yutum katsayıları (Çizelge A.71-A.102).	160
Çizelge 5.25 : Selüloz (20 gr) + Su 1/1 mix. bağlayıcı ılı numunenin borik asit içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm, hata: ± 0.5).	164
Çizelge 5.26 : Selüloz (20 gr) + Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix. numunenin borik asit içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata:± 0.5). .	166
Çizelge 5.27 : Su+Selüloz (20 gr) . Selüloz+ Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix ve sabit %25 Borik asit katkılı selülozik elyafın. arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø:10cm , hata: ± 0.5)	168
Çizelge 5.28 : LOI Deneyi sonuçları	170
Çizelge 5.29 : Elde edilen deneysel sonuçlar	175
Çizelge A.1 : 1 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değ erleri (Kurutma ısısı 150 oC. m:5gr. Ø: 9 cm)	201
Çizelge A.2 : 1 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değ erleri (Kurutma ısısı 200 °C. m:5gr. Ø: 9 cm).....	202
Çizelge A.3 : 2 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değ erleri (Kurutma ısısı 100 °C . m: 5 gr . Ø: 9 cm)	203
Çizelge A.4 : 2 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değ erleri (Kurutma ısısı 150 ° C. m: 5 gr . Ø: 9 cm)	204
Çizelge A.5 : 2 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değ erleri (Kurutma ısısı 200 ° C. m: 5 gr . Ø: 9 cm)	205

Çizelge A.6 : 10 gr ağırlıklı numunelerin sabit yük ve kurutma ısısında elde edilen ezilme, ağırlık ve yoğunluk değişim değerleri. (Kurutma ısısı:150 °C. m:10 gr.d: 1cm, Ø:9cm. hata: ± 0.1).....	206
Çizelge A.7 : 15 gr ağırlıklı numunelerin sabit yük ve kurutma ısısında elde edilen ezilme, ağırlık ve yoğunluk değişim değerleri. (Kurutma ısısı:150 °C, m:15 gr, d:1.5, cm. Ø:9cm. hata: ± 0.1).....	207
Çizelge A.8 : Bağlayıcı olarak Na ₂ SiO ₃ 'in kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.d:20 mm . m:23.7gr. Ø:10cm . T _{oda} °C: 16.4. T _{test} °C: 60) (hata: ±0.00018).....	208
Çizelge A.9 : Bağlayıcı olarak Dextrin'in kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Dextrin1/1 mix.d:20 mm . m:24.2gr, Ø:10cm , T _{oda} °C: 18,1T _{test} °C: 60) (hata: ±0.00018). 209	
Çizelge A.10 : Bağlayıcı olarak Arapzamlının kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Arapzamlı1/1 mix.d:20 mm, m:24.4 gr. Ø:10cm. T _{oda} °C: 19.2. T _{test} °C: 60) (hata: ±0.00018).....	210
Çizelge A.11 : Bağlayıcı olarak OrgalPST'nin kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Arapzamlı1/1 mix.d:20 mm, m:24.4 gr. Ø:10cm. T _{oda} °C: 19.4. T _{test} °C: 60) (hata: ±0.00018).....	211
Çizelge A.12 : Selüloz (20 gr) + Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix numunenin Vermikülit içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata:± 0.5) ...	212
Çizelge A.13 : Selüloz (20 gr) + Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix numunenin Perlit No:12 içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata: ± 0.5) ..	212
Çizelge A.14 : Selüloz (20 gr) + Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix numunenin Perlit No:2 içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata:± 0.5) ...	213
Çizelge A.15 : Sıkıştırılmış selüloz elyafı ve mineral katkılı sıkıştırılmış selüloz elyafının gaz geçirgenlik testi ölçüm değerleri.....	214
Çizelge A.16 : İYTE Laboratuvarı ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	215
Çizelge A.17 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune 1).	215
Çizelge A.18 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune 2).	216
Çizelge A.19 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune 3).	216
Çizelge A.20 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune4).	217
Çizelge A.21 : Uygulanan yük miktarına bağlı ısı iletkenlik ve R-değeri değişimi.(Uygulanan yük:2bar)	217
Çizelge A.22 : Uygulanan yük miktarına bağlı ısı iletkenlik ve R-değeri değişimi.(Uygulanan Yük:5bar)	218
Çizelge A.23 : Uygulanan yük miktarına bağlı ısı iletkenlik ve R-değeri değişimi.(Uygulanan Yük :8bar)	218
Çizelge A.24 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:9mm, yoğunluk:158.5 kg/m ³).	219
Çizelge A.25 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:14mm, yoğunluk:161.9kg/m ³).	219

Çizelge A.26 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:20mm, yoğunluk:163kg/m ³).	220
Çizelge A.27 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:28mm, yoğunluk:167.1kg/m ³).	220
Çizelge A.28 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:36mm, yoğunluk:176.2kg/m ³).	221
Çizelge A.29 : 30 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim...	221
Çizelge A.30 : 40 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim...	222
Çizelge A.31 : 50 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim...	222
Çizelge A.32 : 60 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim...	223
Çizelge A.33 : 70 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim...	223
Çizelge A.34 : 80 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim...	224
Çizelge A.35 : 1 gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	224
Çizelge A.36 : 2gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	225
Çizelge A.37 : 3gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	225
Çizelge A.38 : 4gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	226
Çizelge A.39 : 5gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	226
Çizelge A.40 : 6gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	227
Çizelge A.41 : 7gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	227
Çizelge A.42 : 1 gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	228
Çizelge A.43 : 2gr, No:12 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	228
Çizelge A.44 : 3gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	229
Çizelge A.45 : 4gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	229
Çizelge A.46 : 5gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	230
Çizelge A.47 : 6gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	230
Çizelge A.48 : 7gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	231
Çizelge A.49 : 5gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	231
Çizelge A.50 : 6gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	232
Çizelge A.51 : 7gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	232
Çizelge A.52 : 8gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	233
Çizelge A.53 : 9gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	233
Çizelge A.54 : 10gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	234
Çizelge A.55 : 3gr, Pomza içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	234
Çizelge A.56 : 5gr, Pomza içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	235
Çizelge A.57 : 7gr, Pomza içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	235
Çizelge A.58 : 4gr, Sepiyolit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	236
Çizelge A.59 : 5gr, Sepiyolit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.	236

Çizelge A.60 : 6gr, Sepiyolit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri...	237
Çizelge A.61 : 4gr, Diatomit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri...	237
Çizelge A.62 : 5gr, Diatomit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri...	238
Çizelge A.63 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değeri (Numune 1).	238
Çizelge A.64 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değeri (Numune 2).	238
Çizelge A.65 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değeri (Numune 3).	239
Çizelge A.66 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değeri (Numune 4).	239
Çizelge A.67 : Yoğunluğa bağı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değeri değeri (yoğunluk:158.5 kg/m ³).	239
Çizelge A.68 : Yoğunluğa bağı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değeri değeri (yoğunluk:161.9 kg/m ³).	240
Çizelge A.69 : Yoğunluğa bağı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değeri değeri (yoğunluk:163 kg/m ³).	240
Çizelge A.70 : Yoğunluğa bağı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değeri değeri (yoğunluk:167.1 kg/m ³).	240
Çizelge A.71 : Yoğunluğa bağı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değeri değeri (yoğunluk:176.2 kg/m ³).	241
Çizelge A.72 : 1 gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	241
Çizelge A.73 : 2 gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	241
Çizelge A.74 : 3gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri....	242
Çizelge A.75 : 4 gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	242
Çizelge A.76 : 5gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri....	242
Çizelge A.77 : 6gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri....	243
Çizelge A.78 : 7gr, Perlit No 2 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri....	243
Çizelge A.79 : 1 gr, Perlit No 12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	243
Çizelge A.80 : 2gr, Perlit No12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	244
Çizelge A.81 : 3gr, Perlit No 12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	244
Çizelge A.82 : 4 gr, Perlit No 12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	244
Çizelge A.83 : 5 gr, Perlit No 12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	245
Çizelge A.84 : 6 gr, Perlit No 12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	245
Çizelge A.85 : 7 gr, Perlit No12 katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	245
Çizelge A.86 : 5 gr, Vermikülit katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	246
Çizelge A.87 : 6 gr, Vermikülit katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	246
Çizelge A.88 : 7 gr, Vermikülit katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	246
Çizelge A.89 : 8 gr, Vermikülit katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	247
Çizelge A.90 : 9 gr, Vermikülit katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri...	247
Çizelge A.91 : 10 gr, Vermikülit katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri..	247
Çizelge A.92 : 3 gr, Pomza katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri.	248
Çizelge A.93 : 5 gr, Pomza katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri.	248
Çizelge A.94 : 7 gr, Pomza katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri.	248
Çizelge A.95 : 9 gr, Pomza katkı numunenin ölçülen ses iletim değeri	249

Çizelge A.96 : 1 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.	249
Çizelge A.97 : 2 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.	249
Çizelge A.98 : 3 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.	250
Çizelge A.99 : 4 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.	250
Çizelge A.100 : 5 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.	250
Çizelge A.101 : 7.5 gr Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri. ...	251
Çizelge A.102 : 10 gr Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.	251

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Gözenekli yalıtım malzemelerinin üç temel yapısı [85].	26
Şekil 3.2 : Gözenekli katı bir malzemenin kesiti [86].	27
Şekil 3.3 : Gözenekli yapı (Cox ve Antonio, 2004) [91].	28
Şekil 3.4 : a) Zwickler ve Kosten'e göre, b) Biot'a göre gözenekli bir yapıda akışkanın davranışı ve etkin kuvvetler [87,88].	28
Şekil 3.5 : Mineral katkılı ve katkısız selülozik elyafın gözenekli yapısı.	29
Şekil 3.6 : Doğal ve genleştirilmiş perlit.	37
Şekil 3.7 : Binalarda yalıtım uygulamalarında farklı bölümler için dikkate alınması gerekli R- değerleri [183].	53
Şekil 3.8 : Alçıpan ve taşıyının nem alma/verme izoterm eğrisi.	57
Şekil 3.9 : Ses yalıtımı ve ses absorpsiyonu [218].	65
Şekil 3.10 : Ses enerjisinin yansımaları, yutumu ve iletimi [232].	69
Şekil 3.11 : Bor ve borik asit katkılı selülozik elyafın SEM görüntüsü [278].	82
Şekil 3.12 : 1988 yılında yapılan "The Large Scale Outdoor Fire Demonstration Program" adlı test gösterisi [300].	88
Şekil 4.1 : PRECISA-XM60 Enfraruj Nem Ölçüm Cihazı	95
Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan set; (a) Deney kabı, (b) Kapak, (c)Yük birimi, (d) Alüminyum folyo, (e) Karıştırma kabı, (f) Karıştırma çubuğu, (g) Sprey su püskürtücü, (h) Ölçüm aleti.	96
Şekil 4.3 : Numunenin hassas terazide tartımı ve nemlendirilmesi.	97
Şekil 4.4 : Numunenin homojen nem dağılımını sağlamak için karıştırılıp, deney kabına dökülmesi.	97
Şekil 4.5 : Numuneye yük uygulanması ve ezilme miktarlarının ölçümü.	98
Şekil 4.6 : Deney kabından çıkartılan numunenin ölçümlerinin tekrarlanması.	99
Şekil 4.7 : Farklı ağırlıktaki numune miktarları ile form verilmiş numuneler.	99
Şekil 4.8 : Gabrielli- Cnometro CRC cihazı ile dayanım testi.	101
Şekil 4.9 : Numune üretiminde kullanılan pres ve mikser.	105
Şekil 4.10 : Isı İletim Katsayısı Ölçüm Test Düzenegi.	107
Şekil 4.11 : Ses iletimi değerleri ölçüm düzenegi.	110
Şekil 4.12 : "Single Burning Item Test" tek yakma kaynaklı, yanma test düzeneklerinde alev çeşitleri.	114
Şekil 4.13 : Yakma testi düzenegi.	114
Şekil 4.14 : Borik asit+ su ve Borik asit+Na ₂ SiO ₃ bağlayıcılı olarak hazırlanmış sıkıştırılmış selüloz numunelerinin, 5 dakikalık yanma testi sonrası görünümleri.	115
Şekil 4.15 : LOI test cihazı	117
Şekil 5.1 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında süreye bağlı, ezilme miktarındaki değişim (T _{kurutma} :100 °C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg).	120
Şekil 5.2 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında süreye bağlı, ezilme miktarındaki değişim (T _{kurutma} :100° C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg).	121

Şekil 5.3 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim ($T_{kurutma}:100^{\circ}\text{C}$, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg).	121
Şekil 5.4 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim ($T_{kurutma}:100^{\circ}\text{C}$, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg).	122
Şekil 5.5 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim ($T_{kurutma}:100^{\circ}\text{C}$, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg).	123
Şekil 5.6 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim ($T_{kurutma}:100^{\circ}\text{C}$, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg).	123
Şekil 5.7 : (a) 1 kg baskı yükünde ($T:150^{\circ}\text{C}$, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg), (b) 2 kg baskı yükünde ($T:150^{\circ}\text{C}$, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg), yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarlarındaki değişim.	126
Şekil 5.8 : Bağlayıcı olarak sadece suyun kullanıldığı sıkıştırılmış selüloz elyafının zamana bağlı, ısı iletkenlik değerlerindeki değişim karakteristiği (p:2kg, $T_{kurutma}:150^{\circ}\text{C}$, m: 20gr, Ø:10cm, $T_{test}: 60^{\circ}\text{C}$, $T_{oda}:17.4^{\circ}\text{C}$, su/selüloz:1/1 mix).	129
Şekil 5.9 : İki farklı selüloz miktarı ve baskı yükünde elde edilmiş numunelerin, su/selüloz oranına bağlı, aletsel ölçüm değeri ile hesaplanan dayanım değişimleri.	131
Şekil 5.10 : Dört haftalık mekanik dayanım değerlerindeki değişim, (Su+Selüloz 1/1 mix., m: 15gr, d: 1.5cm, Ø:9cm, p: 2kg, $T_{kurutma}: 150^{\circ}\text{C}$, $T_{oda}: 21.2^{\circ}\text{C}$)	133
Şekil 5.11 : Farklı mineral içerikli, test için üretilen selülozik elyaf diskler; (A) Selüloz elyaf, (B) Selüloz + Perlit No:2, (C) Selüloz + Perlit No:12, (D) Selüloz +Vermikülit.	134
Şekil 5.12 : Sıkıştırılmış selüloz elyafının, mineral içeriğine bağlı, mekanik dayanım değerleri.	134
Şekil 5.13 : Mineral içeriğine bağlı, mekanik dayanım değerlerindeki değişim, (Ø: 9cm, $T_{oda}:19,6^{\circ}\text{C}$).	136
Şekil 5.14 : Gaz geçirgenliği ölçüm değerleri, karşılaştırmalı grafiği ($T_{oda} = 22^{\circ}\text{C}$, $T_{gas} = 22^{\circ}\text{C}$, $P_{oda} = 763\text{ mmHg}$, $= 1.003947\text{ atm}$, $= 14.757\text{ psi}$).	138
Şekil 5.15 : İYTE ve İTÜ Maden Fakültesi ısı iletkenlik değerleri ölçüm sonuçlarının karşılaştırması.	139
Şekil 5.16 : 2 ve 5 bar baskı yükünde, farklı selüloz miktarlarında hazırlanmış numunelerin, İYTE ve Maden Fakültesi ısı iletkenlik katsayısı ölçüm	140
Şekil 5.17 : Farklı yalıtım malzemelerinin yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değeri değişimleri [192].	141
Şekil 5.18 : Uygulanan yük miktarına bağlı, ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.12).	143
Şekil 5.19 : Sıkıştırılmış selüloz elyafının test sıcaklığına bağlı, ısı iletim değerlerindeki değişim (Çizelge 5.12).	144
Şekil 5.20 : Sıkıştırılmış selüloz elyafının yoğunluğa bağlı olarak ısı iletkenlik ve R-Değeri değişimi (Çizelge 5.13).	145
Şekil 5.21 : PerlitNo2'nin ısı iletkenlik değer eğrileri (Çizelge 5.14).	146
Şekil 5.22 : Perlit No:12 içerikli numunelerin, ısı iletkenlik değer eğrileri (Çizelge 5.15).	147

Şekil 5.23 : Vermikülit içeriğine bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.16).....	148
Şekil 5.24 : Pomza içeriğine bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.17).....	149
Şekil 5.25 : Dört mineralin selülozun (a) ısı iletkenlik ve (b) direnç değerine etkisi.	151
Şekil 5.26 : İTÜ Makine Fakültesi Akustik Lab. ölçüm değerleri ile Maden Fakültesi ses yutumu ölçüm değerlerinin regresyon eğrisi (Çizelge 5.19).	152
Şekil 5.27 : İTÜ Makine Fakültesi Akustik Laboratuvarı ölçüm değerlerinin ses yutum katsayısı karşılaştırmalı grafiği.	153
Şekil 5.28 : İTÜ Maden Fakültesi Laboratuvarı ölçüm değerlerinin ses yutum katsayısı karşılaştırmalı grafiği.	153
Şekil 5.29 : Maden Fakültesi ses yutum katsayısı ölçümü, hata oranı tesbiti ölçümleri.....	154
Şekil 5.30 : Selüloz miktarına, yoğunluğa bağlı olarak ölçülen ses yutum katsayısı değerlerindeki değişim (Çizelge A.67-A.71).	155
Şekil 5.31 : Yoğunluğa bağlı gürültü azaltma katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerindeki değişim (Çizelge 5.21).	156
Şekil 5.32 : Perlit No:2 mineral içerikli selüloz elyafının ses yutum katsayısı eğrileri (Çizelge A.71-A.78).....	157
Şekil 5.33 : Perlit No:2 katkısının miktar olarak değişiminin ses iletim değerlerine etkisi (Çizelge 5.22).	158
Şekil 5.34 : Perlit No:12 mineral içerikli selüloz elyafının, ses yutum katsayısı eğrileri (Çizelge 5.23).	159
Şekil 5.35 : Perlit No:12 katkısının miktar olarak değişiminin ses iletim değerlerine etkisi.	160
Şekil 5.36 : Selüloz elyafı ve mineral katkılı selüloz elyafının frekansa bağlı ses yutum katsayılarındaki değişim eğrileri (Çizelge 5.24).	161
Şekil 5.37 : Bağlayıcı olarak sadece su kullanılan (A) ve bağlayıcı olarak Na_2SiO_3 kullanılan (B) %5 - 30 oranında borik asit katkılı selülozik elyaf numunelerinin, 5'er dakikalık yanma testi sonrası görünüşleri.	162
Şekil 5.38 : Selüloz + Na_2SiO_3 +% 5 BA içerikli sıkıştırılmış elyaf numunenin yakma ve KKY süresi sonrasındaki görünümü (m: 24.3gr, Ø: 10cm, d: 2cm, KK: %29, YD: 2.0cm, YÇ: 2.2/5.0 cm).	163
Şekil 5.39 : Bağlayıcı olarak su kullanılan sıkıştırılmış selülozik elyafın, borik asit içeriğine bağlı, yanma süresince arka yüzeyindeki ısı değişimi (Ø: 10cm, d: 2cm, $T_{\text{yakma}} : 800^\circ\text{C}$)	165
Şekil 5.40 : Bağlayıcı olarak Na_2SiO_3 kullanıldığında BA içeriğine bağlı arka yüzdeki ısı değişimi (Ø: 10cm, d: 2cm, $T_{\text{yakma}} : 800^\circ\text{C}$).....	166
Şekil 5.41 : Bağlayıcı türünün borik asit içeriğine bağlı, yanma süresi sonunda kütle kaybı oranına etkisi ($t_{\text{yanma}}: 5\text{dk}$, d: 2cm, Ø: 10cm, $T_{\text{yakma}} : 800^\circ\text{C}$)... ..	167
Şekil 5.42 : Su+Selüloz+BA, Selüloz+ Na_2SiO_3 +BA, Selüloz + Na_2SiO_3 +BA+Mineral karışımli numunelerde; bağlayıcı ve mineral içeriğine bağlı numunenin arka yüzündeki ısı değişimi ($t_{\text{yanma}}: 5\text{dk}$, d: 2cm, Ø: 10cm, $T_{\text{yakma}}: 800^\circ\text{C}$).....	169

Şekil 5.43 : (a) (Selüloz+ Na ₂ SiO ₃ +BA ve Selüloz+Su+BA) sistemlerinde, Borik asit içeriğine bağlı LOI değişimi, (b) (Selüloz+ Na ₂ SiO ₃ +BA+Mineral) sisteminde, Mineral içeriğine bağlı LOI değişimi (t _{yanma} : 5dk, d: 2cm, Ø: 10cm, T _{yakma} : 800 °C).	171
Şekil A.1 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).....	252
Şekil A.2 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).....	252
Şekil A.3 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).....	253
Şekil A.4 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).....	253
Şekil A.5 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).....	254
Şekil A.6 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).....	254
Şekil A.7 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).....	255
Şekil A.8 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).....	255
Şekil A.9 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).	256
Şekil A.10 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).	256
Şekil A.11 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).	257
Şekil A.12 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).	257
Şekil A.13 : İTÜ Makina Fakültesi Akustik Laboratuvarı Large Scale (0-1600Hz) ölçüm grafikleri	258
Şekil A.14 : Perlit No:12. (3 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	258
Şekil A.15 : Perlit No:12. (6 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	258
Şekil A.16 : Perlit No:2. (3 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	259
Şekil A.17 : Perlit No:2. (6 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	259
Şekil A.18 : Vermikülit. (6 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	260
Şekil A.19 : Vermikülit. (8 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	260
Şekil A.20 : Sepiolit. (10 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	261
Şekil A.21 : Selüloz. (40 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği.....	261
Şekil A.22 : Selüloz. (30 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği.....	262
Şekil A.23 : Selüloz. (20 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği.....	262
Şekil A.24 : Diatomit. (5 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	263
Şekil A.25 : Diatomit. (7 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği	263
Şekil A.26 : 1-8 nolu numunelerin LargeScale ölçüm grafiği	264
Şekil A.27 : Selüloz. (20 gr).(30gr).(40gr)lık numunelerin LargeScale ölçüm grafiği	264

Şekil A.28 : 8.11 ve 12 nolu numunelerin LargeScale ölçüm grafiği	265
Şekil A.29 : Bütün numunelerin LargeScale ölçüm grafiği	265
Şekil A.30 : Perlit No:12 (3gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği.....	266
Şekil A.31 : Perlit No:12 (6gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	266
Şekil A.32 : Perlit No: 2 (3gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	267
Şekil A.33 : Perlit No: 2 (6gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	267
Şekil A.34 : Vermikülit (6gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	268
Şekil A.35 : Vermikülit (8gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	268
Şekil A.36 : Sepiolit (10gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	269
Şekil A.37 : Selüloz (40gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği.	269
Şekil A.38 : Selüloz (30gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği.	270
Şekil A.39 : Selüloz (20gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği.	270
Şekil A.40 : Diatomit (5 gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	271
Şekil A.41 : Diatomit (7 gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	271
Şekil A.42 : Bütün numunelerin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği	272

BOR VE MİNERAL KATKILI SELÜLOZİK YALITIM MALZEMESİ ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dünyayı tehdit eder hale gelmesine neden olmaktadır. Enerji kullanımının büyük bir bölümünün konut ısıtılmasında olduğunu dikkate alınırsa, yapı yalıtımının önemi daha iyi anlaşılabilecektir. Enerji tasarrufunun veya ısı planlamasının en basit yolu binaların yalıtılmasıdır. Son yıllarda çıkartılan yönetmelikler ve AB uyumluluğu, enerji tasarrufunun önemine dikkat çekmektedir. Isı yalıtımını zorunlu kılan gelişmelerden birisi de ülkemizin KYOTO Protokolü'nü imzalamış olmasıdır. Protokol gereği 2012 yılından itibaren bazı yükümlülüklerin altına girecek olan ülkemizde, sera gazı salınımını önleyecek çevre ile uyumlu yatırımlar hız kazanacaktır. Binalarda uygulanacak yalıtım malzemesi, sağlayacağı ekonomik faydanın yanı sıra çevre kirliliğine etkisi ve binanın yangın yalıtımına katkısı gibi hususlarda dikkate alınarak seçilmelidir.

Yalıtım, günümüz mimari anlayışında, yaşamımıza, ekonomiye ve ekolojik sisteme sağladığı yararlar nedeni ile sektörün vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Isı yalıtımı, mühendislik ve bilim adamlarının yanı sıra tasarımcılar, ürün geliştiriciler ve üreticilerin önemli bir ilgi alanı olmaya devam etmektedir. Uygulama zenginliği, farklı bileşenleri ve sistemleri, enerji tasarrufunun toplumlar içinde her an gündemde olması, konunun ve malzemelerinin sürekli araştırma konusu olmasına imkan sağlamaktadır. Yalıtım, multi disiplinler bir çalışma gerektirmektedir. Yalıtımda, ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık, madencilik, malzeme bilimi, çevre ve meteoroloji mühendisliği gibi bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmalıdır. Yalıtım sektörü, inşaat, mimarlık, makine, madencilik ve sayılan diğer meslek gruplarının oluşturduğu yeni ve farklı bir sektör olarak görülebilir.

Ekolojik bina, tarifinde ne olursa olsun, çağrışımı çok olumlu olan bir kavramdır. Ekolojik binadaki, 'nefes alan duvarlar' tanımı, geleneksel yapı mimarisine alışmış insanlar için kafa karıştırıcı gelebilir. Bokalders and Sternberg'in hazırladıkları 'Sağlıklı ve Çevreye Uyumlu Binalar İçin Ürün Rehberi' kitapçığındaki tanımlar bu kafa karışıklığını gidermeye yeterli olacaktır. Uygulamada, iyi bir iç mekan iklimi sağlayacağını ve yapı elemanları üzerindeki nem riskini azaltacağı savunulmaktadır. Atık kağıtların % 15-20'lik kısmının, pratik olarak kağıt üretiminde geri kazanılarak kullanılması mümkün değildir. Çünkü, kullanılmış kağıtların lifleri her seferinde kağıt kalitesine göre ortalama % 5-20 oranında bozunur ve zayıflar. Literatürde, farklı yöntemlerle, atık kağıtlardan kompozit malzeme ve yalıtım malzemeleri yapımına rastlamak mümkündür. Kağıdın doğada bozunma süresi 3 ile 60 aydır ve bu özelliği ile doğada kendiliğinden bozunabilen (biodegradable), doğa ile dost ürünler sınıfındadır.

Selülozik yalıtım, temel olarak geri dönüşümlü gazete, kaplanmamış diğer kağıt ürünleri ya da lifleştirilmiş ahşabın öğütülmesi ile elde edilen bir ısı ve ses yalıtım türüdür. Yaygın olarak, konut ve ticari binalarda ısı yalıtımı için atık kağıt elyafı kullanımına, yine ilk defa ABD'de 1925 yılında başlanmıştır. Malzeme ile ilgili ilk standartlarda ASTM (American Society for Testing and Materials) ve NCIMA (National Cellulose Insulation Manufacturers Association) tarafından 1973 yılında yayınlanmıştır. Tye'in selülozik yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğine, test ısı ve malzeme yoğunluğunun etkisini inceleyen yazısını, takiben araştırmacılar, araştırma birimleri ve ilgili kurumlar konu ile ilgili çalışmalar ve standartlar yayınlamışlardır.

1980'lerle birlikte gelişen çevre bilinci selülozik yalıtımın yaygınlaşmasında etken olmuştur. Selülozik yalıtım, üç ana tema üzerinde durur; fosil enerji kaynaklarının etkin kullanımı (ısı), kullanılmış kâğıtların geri kazanımı (çevre) ve güvenli ses, sağlıklı iç mekân havası sağlanması (sağlık). Çalışma bu ana temalar çerçevesinde şekillendirilmiş, insan ve çevresi ile uyumlu bir yalıtım malzemesi üretimi planlanmıştır.

Yaygın olarak selülozik yalıtım malzemesinin iki tip uygulaması yapılmaktadır. Gevşek dolgu (Loose-fill) ve nemlendirilmiş püskürtme (Wet-spray). Nem çekici (hygroscopic) malzemeler nemi emme ve salma (absorb-desorb) özelliğine sahiptirler. Selüloz elyafı da nem çekici özelliğe sahip bir malzemedir. Binalarda, selülozik elyaf tarafından emilen iç mekan havasındaki fazla nem, daha sonra bağlı nem salınımı olarak azalacaktır. Malzemenin bu tampon nem tutma yeteneği, iç mekan iklimi için değerlidir ve ortam nemini sürekli uygun düzeyde tutmaya yardımcı olur.

Bu çalışmada, yalıtımda kullanılabilecek mineral katkılı selülozik karışımın tarifi, tasnifi, malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine etki eden faktörlerin etki mekanizmalarını ortaya konmuştur. Bu bilgi birikimi ile üretimde kullanılabilecek yöntem tespitine yönelik çalışmalar yapmak ve projenin konusuna en uygun koşullarda mineral katkılı selülozik elyaf esaslı yalıtım malzemesi oluşturularak elde edilen ürün/ürünlerin mekanik, ses ve ısı özellikleri ile yanma geciktiricilik özelliği incelenmiştir.

Gelişen teknoloji ile birlikte modern yalıtım sektörü, büyük miktarlarda hem doğal hem de sentetik mineral lifler kullanmaktadır. Düşük yoğunluklu ince liflerin büyük bir hacim oluşturmaları onları yalıtım için uygun hale getirir. Özellikle, gevşek lifli kitle içinde sıkışan hava, ısı transferi için ana engeli oluşturur. Atık kağıt elyafı da, doğal, selülozik esaslı bir elyafır.

Organik bir yapıya sahip selüloz ve bileşimin diğer ortağı mineraller, bor ürünleri, bağlayıcılar ve bunların oluşturduğu kompozit bir yapı olan selülozik yalıtım malzemesinin, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, selüloza ilave olarak; perlit, vermikülit, pomza ve kil gibi farklı mineral katkılar da kullanılmıştır.

Levha şeklinde, yüksek yoğunlukta ve yarı sertlikte üretilmiş ola selüloz bazlı yalıtım malzemesinde, bağlayıcı olarak % 7-11 oranında farklı bağlayıcılar kullanılmıştır. Üretilen selüloz plakaların yoğunluğu 98-163 kg/m³ arasındadır. Su buharı geçirgenliği yüksek olan yalıtım malzemesinin termal performansını kaybetmeden % 17 oranında nem tutma özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bor ve farklı mineral katkılarıyla; mineral katkısız levhalarda %0.043-0,055 W/mK

ölçülen ısı iletim katsayısı değeri daha da aşağılara çekilmiş olup aynı zamanda yanmaya karşı da % 56 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Ses yalıtımı için gerekli homojen, gözenekli, kompakt yapı formu sıkıştırılmış atık kağıt elyafı ile yakalanmaya çalışılmış fakat lif ve tabakalanma yapısının özelliği nedeni ile istenilen düzeye ulaşılammıştır. 0.4-1.2 mm boyutlu mineral katkı malzemelerinin ses yutumu değerlerinde olumlu etkisi gözlenmiştir.

Selülozik yalıtım malzemesi, A2 sınıfı zor yanan bir malzemedir. Bu özellik, yapısına ilave edilen bor ve bor tuzlarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma, selülozik yalıtım malzemesinin esasını oluşturan, atık kağıttan elde edilen selüloz elyafında kullanılacak borik asit oranının optimizasyonu ve borik asit ile birlikte Na_2SiO_3 'in yapıdaki yanma özelliklerine etkisinin belirlenmesi ve malzemenin yanıcılığının azaltılması amaçlarına yönelik olarak hazırlanmıştır. Atık kağıtlardan elde edilen selüloz lifleri, iki farklı mineral katılıp sıkıştırılarak levha haline getirilmiştir. Selülozik elyaf saf su, borik asit ve Na_2SiO_3 ile, farklı oranlarda karıştırılarak, yanma özelliklerinin belirlenmesi ve malzemenin yanmasının geciktirilmesi amaçlarına yönelik yanma ve LOI testlerine tabi tutulmuştur. Yanma testleri alev kaynaklı, kor hali yanma ve kendi kendine yanma aşamalarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; borik asit ile desteklenen mineral katkılı deney örnekleri ile borik asit ve Na_2SiO_3 ile muamele edilen selüloz elyafı deney örneklerinde, ağırlık kaybı, alev kaynaklı yanma sıcaklığı, kor hali yanma sıcaklığı ve yıkılma anına kadar geçen sürelerle ilişkin yanma özellikleri bakımından en olumlu sonuçlar alınmıştır.

Sonuç olarak, selüloz (atık kağıt), bor ve perlit, vermikülit, pomza ve kil gibi farklı mineral katkılar yardımıyla, DIN 4102 normlarına göre A2 yanmaz malzemeler sınıfında, kokusuz, paslandırma etkisi olmayan, yanmaya ve küflenmeye karşı yüksek dirençli bir yalıtım malzemesi üretilmiştir.

PRODUCTION OF BORON AND MINERAL REINFORCED CELLULOSIC INSULATION MATERIAL AND ITS CHARACTERIZATION

SUMMARY

Energy consumption is increasing in parallel with population growth, rapid depletion of existing energy resources and threatens to become the world causes. A major part of energy used to comfort buildings utilizes various insulation materials not only to save energy but also to reduce greenhouse gases. Given that a large proportion of energy use for heating houses, better understood the importance of building insulation. The simplest way to planning energy saving and heat isolation of buildings. Thermal insulation applications, especially in regions with severe climatic conditions, providing an important contribution to energy efficiency, practical and logical first step. In modern buildings, air conditioning (HVAC) energy consumption for the total energy use is an average of 50% to 70. This ratio may be higher in regions with severe climatic conditions and non-insulated buildings. Relevant studies demonstrated that application of thermal mass in well insulated buildings may result heating and cooling energy saving in residential buildings of up to 25 %. Thermal insulation, dwindling fossil fuel reserves, fuel shortages resulting from the oil crisis and energy more expensive with each passing day, the efficient use of energy has been on the agenda of each country.

Insulation, the understanding of contemporary architecture, our lives, because of the economic and ecological benefits of the system has become an indispensable element of the sector. Thermal insulation, as well as engineering and scientists, designers, product developers and manufacturers continue to be an important area of interest. The richness of the application, different components and systems, energy conservation is on the agenda at any time within societies, and the materials of the subject is a subject of continuous research allows. Insulation, requires multi-disciplinary work. Insulation, to reveal the relationship between the national economy and the environment to arrive at solutions and rational economics, physics, chemistry, machinery, construction, architecture, mining, material science, environmental and meteorological engineering disciplines, such as should be found within a co-ordination. Insulation industry, construction, architecture, machinery, mining and other professional groups mentioned can be seen as a sector that creates new and different.

In building energy-saving, comfort, and to ensure a healthy living environment, heat, sound, water and fire insulation made. An insulating material, can block the flow of heat. Slowly lowering the temperature of the hot surface temperature on the ones he gets. This mutual exchange of heat takes until the equilibrium state. Thermal insulation, does not produce heat. Applied to the building, retains the heat. Structural components of the protection from the harmful effects of condensation, the insulation is provided. Sealed surfaces are hot. Condensation, not seen on these surfaces. Therefore, fungi, molds and related allergic disorders occur.

The structure of the insulation material, they are lightweight, against external influences such as frost and abrasion resistance, elasticity and mechanical strength, hardness, heat and sound insulation properties, fire retardant and resistant, easy to manufacture and handling of affordability, ease of use and application, is effective to be preferred. Modern insulation industry uses large amounts of both natural and synthetic mineral fibers. Create a large volume of low-density thin fibers, making them suitable for isolation. In particular, the air trapped in the loose fibrous mass, creates the main obstacle for heat transfer. Also recycled paper fibers, the natural cellulosic-based fiber.

Cellulose insulation, primarily from recycled newspaper, uncoated, or other paper products obtained by grinding the wood is a type of a heat and sound insulation. Cellulose insulation, recommended by architects who are today generally and applied ecology. Eco-building ideas, architects and builders of classic and can be perceived as a challenge to the idea of the status quo structure. Ecological building, no matter what recipe, a concept which is a very positive connotation.

Ecological building, 'breathing walls' definition, can be confusing for people accustomed to traditional building architecture. Bokalders and Sternberg (1995), prepared 'for buildings Healthy and Environmentally Compatible Product Guide' booklet defines these will be sufficient to eliminate the confusion. In practice, it would provide a good indoor climate and reduce the risk of moisture on the structural elements advocated. Sustainable materials, thermal and acoustic performance comparable to traditional materials. There are studies on this subject, on items from commonly used that offers a different and specific solutions and natural fiber composites, which is superior to glass wool. Cellulose insulation is an established, time-proven building insulation material. Since it is based on recycled paper, it is well-recognized as an energy-efficient and green insulating product. Recycled paper production, 15- 20% portion of waste paper, as a practically not be used. Because the recycled paper fibers, 5-20% on average compared to degrade the quality of the paper each time the weak. In the literature, different methods of waste paper can be found in the construction of composite materials and insulation materials. From 3 to 60 months, and the decay time of the nature of the paper with this feature as such in nature compostable (biodegradable), is classified as nature-friendly products.

With the energy crisis of the 1980's with the development of cellulosic insulation in spreading environmental awareness have contributed. Cellulose insulation, stands on three main themes: (a) in terms of heat, the efficient use of fossil energy sources, (b) in terms of environment, recycling of used papers and (c) in terms of health, secure voice, to ensure healthy indoor air. Today, cellulose insulation, more environmentally friendly, the production requires less energy requirement (20-30%) , as a raw material recycling material (75-85%) use more, lightness and combustion retardant properties, and applications, and production has increased again. Widely applied cellulose insulation material in two ways. Loose fill (loose-fill) and moistened with the spray (Wet-spray).

The average conductivity and its standard deviation for common insulation materials were developed as a function of different density materials. The higher the moisture accumulation, the bigger the moisture influences thermal transmissivity at steady

state was found. If moisture penetrates into the material, causing physical damage. This adversely affects of the insulation performance by increasing the thermal conductivity . Heat transfer in a dry environment is less than a humid environment. If you can exchange the natural air-drying moisture in the building that will be very little for the power transmission. Important for the general comfort of the building to be able to breathe. Hygroscopic materials are capable of absorb and release moisture. Cellulose fiber is a material with a moisture absorbing properties. In buildings, cellulosic fibers too much moisture is absorbed by the indoor air, then the relative humidity in the release will be reduced. Moisture-holding ability of the material in this buffer, and the ambient humidity of the indoor climate is important for the appropriate level helps to keep constant. Cellulosic insulating material of high relative humidity, moisture permeability is higher.

The best insulation material today requires to embody such physical, chemical and mechanical properties as heat conduction, sound absorption or acoustic properties, resistance to fire, porosity and bulk density, and to protect its physical and mechanical integrity.

There are several major flaws that limit the use of cellulose.

- a) Due to the organic chemical structure can be destroyed by fungi and insects.
- b) Due to the physical structure can hold moisture.
- c) A combustible material.
- d) Production and implementation stage is dust.

Numerous inorganic and organic chemicals are capable of inhibiting the combustion of cellulose, however, the type chosen depends upon the form of the cellulose. Borates (borax and boric acid) are usually added to cellulosic insulation both to prevent flaming combustion and to suppress glowing and smoldering though other inorganic salts such as aluminum sulfate, aluminum trihydrate, ammonium phosphate and ammonium sulfate have also been utilized. The typical dosage required is usually 20-30 % by weight, depending upon the degree and type of fire protection required. Herrera and his associates state that the principal active ingredient, sodium polyborate, plays a predominant role in the product's antifungal properties.

Cellulosic fibers are prone to attract moisture, practitioners and users maintained concern. In fact, the cellulose is effective in keeping moisture and humidity is interesting. However, within the cellulosic fiber material does not hold much moisture for a long time. Wet-Spray cellulose fiber insulation New England and Ohio, Canada, other field studies and a field study in Alberta is applied, after that 160 days measured humidity value, very close to the original material humidity.

Another issue of concern is inhalation of dust and fibers for loose-fill materials, whereas it is low for the slab materials; a concentration of 6.1 mg/m^3 was shown for fibers in excess of 106 fibers/m^3 . Slabs of insulation material from mineral wool or fiberglass show less dust than cellulosic loose-fill materials.

According to ISO and CEN standards, materials with thermal conductivities smaller than 0.060 W/mK are considered thermal insulators. The aim of this study is to develop plate type cellulosic fiber insulator with boron and mineral additives that can be conveniently used for thermal insulation.

Thermal conductivity is basically dependent upon porosity, pore distribution, the thermal conductivity coefficient and moisture of the material. The tests show that the applied load increases the thermal conductivity and in turn reduces the R-value; this is ascribed to the loss of air layers and subsequent formation of heat bridges upon compaction of fibrous structure of the cellulose. Increasing test temperature increased the R-value of the material. Loose-fill application of cellulosic insulation material exhibits R-value of 3.7 per inch. However, the R-value of compacted cellulose yields 2.0 to 3.5 depending on the thickness of the plate. The reason for these values to be lower than the reported values depends upon the test method, applied test temperature and moisture of the material; the R-values declared refer to those laboratory values of the standard dry material.

For this purpose, several cellulosic insulation materials including used paper, boron products and various binders were produced and were then reinforced by various mineral additions such as perlite, vermiculite, pumice and clays to enhance their sound and heat insulation properties. Cellulose based insulation materials in high specific density ($98\text{--}163\text{ kg/m}^3$) and semi-strength characteristics were composed of 75 % of used paper, 20-25 % of binder. It was observed that produced insulation materials have high water vapour permeability and also moisture adsorption capacity of 17 %. When reinforced with boron products and various mineral additives; thermal transmission coefficient of $0.043\text{--}0.055\text{ W/mK}$ for the basic cellulosic insulation material was reduced down to lower levels and 56 % of improvement on resistance to ignition (flame retardancy) was also achieved.

The contribution of perlite on thermal conductivity of cellulosic insulation material was tested at two different particle sizes as a function of expanded perlite dosage. Examination of the data reveals that perlite favorably contributes to the thermal conductivity of cellulose by 10 to 30 %. Addition of more than 30 % deteriorates the mechanical structure of the material leading to a reduction in λ due to possibly building of heat bridges among perlite particles upon increasing the perlite dosage. Theoretically as the particle size of the mineral is decreased porosity increases. Since particles are of different sizes, the small particles enter into the cavities of big particles leading to a decrease in porosity. Particularly -0.5 mm size particle has shown favorable effect on thermal conductivity whereas -2 mm particles have exhibited better performance on sound absorption.

Minerals up to a certain addition (30 % by wt.) provide dominant character to the structure, particularly in thermal conductivity data. For instance, achieving a reduction in λ and R-values on large granules of perlite and vermiculite confirm this idea. The dominant element in the plate becomes mineral and with the effect of compaction, mineral particles contact each other and form heat bridges. On the other hand, the density of loose-free moisturized cellulosic fiber acquires a density of 31.8 kg/m^3 but its density varies with the degree of compaction and hardening; this severely affects the thermal and sound properties of cellulosic fiber. While compaction is the reduction in the volume of material upon applying external pressure, hardening is creation of a solid matrix with the mixing of compounds and the binder. Compaction and hardening of natural porous granules and fibrous cellulose under pressure undergo significant changes in its final porosity.

Filling of vacant sites in the pores with the binder also leads to a reduction in porosity of the material. The reason for the obtaining lower values from the standard ones are ascribed to the selection of higher test temperature, the testing method and its application and the moisture content of the material since the standard values refer to the values in loose fill and dry state R-values.

Sound absorption of cellulosic material was determined as a function of the frequency. Some attempts for sound insulation enhancement were failed due to the mineral particle size of 0.4-1.2 mm which caused to failure of that the dispersion of these particles uniformly and to produce porous and also compact form were not possible. That is, it was found that mineral addition has no positive effect on sound insulation. The sound absorption of samples in the 500 Hz frequency is 25 dB whereas sound conductivity coefficient on the average is 0.75 Sabin. These values are expected to decrease with the addition of mineral additives such as perlite.

As a conclusion, insulation material in A2 class in accordance with DIN 4102 standards was produced and this product was scentless, noncorrosive and resistive to mildew.

1. GİRİŞ

Nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dünyayı tehdit eder hale gelmesine neden olmaktadır. Enerjisinin büyük bir bölümünü yurt dışından sağlayan ülkemizde, ekonomik boyut yanında çevresel etki açısından da enerjinin verimli kullanılmasına dikkat edilmelidir. Enerji tasarrufunun veya ısı planlamasının en basit yolu binaların yalıtılmasıdır.

Son yıllarda çıkartılan yönetmelikler ve AB uyumluluğu, enerji tasarrufunun önemine dikkat çekmektedir. Enerji kullanımının büyük bir bölümünün konut ısıtılmasında olduğunu dikkate alınırsa, yapı yalıtımının önemi daha iyi anlaşılacaktır. Ekonomik faydanın yanı sıra yalıtım, çevre kirliliğine, yapının ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacını azaltarak sera etkisine neden olan gaz çıkışına da mani olmaktadır. Çevre açısından 'Küresel Isınmanın' dünyanın güncel ana konularından birisi olduğu göz önüne alınırsa yalıtım konusunun önemi daha da belirginleşecektir.

Enerjisinin yaklaşık % 75'ini ithal eden ülkemizde, ısı yalıtımının yaygınlaştırılması enerji verimliliği açısından çok önemlidir. Hızla tükenen enerji kaynakları, küresel ısınmanın etkilerinin her geçen gün daha da belirgin hale gelmesi, bizleri ve tüm ülkeleri enerji ihtiyaçlarını kontrol altına almaları ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirmeleri yönünde zorlayacaktır. Mevcut duruma bakıldığında, ısı yalıtımı sektörü yılda %20 büyüme göstermesine rağmen, yalıtım uygulama yaygınlığı açısından hem Avrupa'nın hem de bu büyüme değerinin altında kaldığımız görülmektedir.

Isı yalıtımını zorunlu kılan gelişmelerden birisi de ülkemizin KYOTO Protokolü'nü imzalamış olmasıdır. Protokol gereği 2012 yılından itibaren bazı yükümlülüklerin altına girecek olan ülkemizde, sera gazı salınımını önleyecek çevre ile uyumlu yatırımlar hız kazanacaktır. Bu kapsamda en verimli yatırım ise yalıtım sektörüne yapılacak yatırımlar olacaktır.

Dünyadaki gelişen teknoloji ve buna paralel seyreden bilimsel çalışmalar göz önüne alındığında, üretilen hammaddelerin sanayi ürününe dönüştürme çalışmalarının uzağında kalamayacağımız açıktır.

Yalıtımın tarifinde, kullanım amacına bağlı olarak, yapı veya malzeme üzerindeki dış etkinin azaltılması hedeflenmektedir. Isolation'un, yapı veya malzemeyi bünyesindekilerle birlikte aynı dış etkiden tamamıyla ayırmak, izole etmek insulation'un karşılığı ise koruma altına almak olarak algılanmalıdır. Zira bu iki işlem hem uygulama, hem amaç ve hem de malzeme yapıları olarak birbirlerinden çok farklılık göstermektedir. Bazı durumlarda bir malzeme iki işlevi bir arada görebilir, ama bu genel algılamayı değiştirmemelidir.

Yalıtım, günümüz mimari anlayışında, yaşamımıza, ekonomiye ve ekolojik sisteme sağladığı yararlar nedeni ile sektörün vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Isı yalıtımı, mühendislik ve bilim adamlarının yanı sıra tasarımcılar, ürün geliştiriciler ve üreticilerin önemli bir ilgi alanı olmaya devam etmektedir. Uygulama zenginliği, farklı bileşenleri ve sistemleri, enerji tasarrufunun toplumlar içinde her an gündemde olması, konunun ve malzemelerinin sürekli araştırma konusu olmasına imkan sağlamaktadır. Günümüzde, yapılacak uygulamaya en uygun bir yalıtım malzemesini belirleyebilmek bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik parametrelerin o malzemede olup olmadığına bağlıdır.

1980'lerle birlikte gelişen çevre bilinci selülozik yalıtımın yaygınlaşmasında etken olmuştur. Selülozik yalıtımın dünyada ekonomik olarak yaklaşık 40 yıldır yaygın kullanılmasına rağmen, bizim konuya yakın durmayışımız yapı sektöründe yalıtım konusuna yeterince önem verilmeyişi ve yalıtım kültürünün yaygın olmayışından kaynaklanmaktadır. Selülozik yalıtım, üç ana tema üzerinde durur; (a) ısı açısından; fosil enerji kaynaklarının etkin kullanımı, (b) çevre açısından; kullanılmış kâğıtların geri kazanımı ve (c) sağlık açısından; güvenli ses, sağlıklı iç mekân havası sağlanmasıdır. Selülozik yalıtım malzemesi, doğada bozunma süresinin 3 ile 60 ay olması nedeni ile de ayrı bir özelliğe de sahiptir.

Gürültü, günümüzde, kentleşmenin doğal bir sonucudur. Özellikle çarpık ve plansız kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde, gürültü insan sağlığını ciddi boyutta tehdit eden ve yaşam konforuna zarar veren etkenlerdendir.

Gürültünün, işitme kaybı gibi birçok fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklara dek uzanan zararlı etkisi nedeni ile kontrol edilmesi gereklidir. Yangın, her an her yerde oluşabilecek bir tehlikedir. Yangın canlıların ölümüne, maddi kayıplara ve emsalsiz sanat tarihi eserlerin yok olmasına veya tahribine neden olabilir. Yapıların yangından korunması, sadece yangının meydana gelmesini önleme ve yangın esnasında yangına müdahale edilmesi değildir. Yangının yayılmasını önlemek ve yangından sonra binaların yeniden kullanımını sağlamak temel esastır. Yapı elemanlarını yangının etkisinden korumak ve yangına karşı direnç sürelerini artırmak amacı ile çevrelerini yanmayan, yangın sırasında bozulsa bile kolayca onarılabilen malzemeler ile kaplama yoluna gidilmelidir.

Yaşadığımız yüzyıl, dünyanın temizlenmesi için yoğun çaba sarf edilecek, geri dönüşüm teknolojilerine yatırımların artacağı ve atık yönetiminin ön plana çıkacağı bir yüzyıl olacaktır. Atıkların azaltılması, geri dönüşümü ve kazanılması ile ilgili çalışmalar ön plana çıkacak, dünyayı daha az kirleten projeler ve iş sahaları destek görecektir. Yalıtım, multi disiplinler bir çalışma gerektirmektedir. Yalıtımda,ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık, madencilik, malzeme bilimi, çevre ve meteoroloji mühendisliği gibi bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmalıdır. Yalıtım sektörü, inşaat, mimarlık, makine, madencilik ve sayılan diğer meslek gruplarının oluşturduğu yeni ve farklı bir sektör olarak görülebilir.

Bu çalışmanın amacı, yalıtımda kullanılabilecek mineral katkılı selülozik karışımın tarifi, tasnifi, malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine etki eden faktörlerin etki mekanizmalarını ortaya koymaktır. Bu bilgi birikimi ile üretimde kullanılabilecek yöntem tespitine yönelik çalışmalar yapmak ve projenin konusuna en uygun koşullarda mineral katkılı selülozik elyaf esaslı yalıtım malzemesi oluşturularak elde edilen ürün/ürünlerin mekanik, ses ve ısı özellikleri ile yanma geciktiricilik özelliğinin incelenmesidir.

Projede kullanılacak selüloz içerisinde katkı olarak yer alacak bor ürünleri, perlit, vermikülit ve kil mineralleri özelinde düşünüldüğünde elimizdeki hammaddenin değerlendirilmesi açısından ne kadar isabetli olduğu görülecektir. Kaldı ki bor, perlit ve kil (bentonit, sepiolit, diatomit, zeolit vs) rezervlerine bakıldığı zaman, Türkiye, hatırı sayılır büyük rezervlere sahiptir. Bu çalışmada en önemli girdi olan selüloz hammaddesinin atık kağıtlardan elde edilecek olması da ayrı bir ekonomik özelliktir.

2. ATIK KAĞIT ELYAFI

2.1 Kağıt

Ana hammaddesi oduna dayalı kağıt üretim prosesi, yaş selüloz elyaflarının, gerilim altında kurutulması sırasında birbirleri ile bağ yapması esasına dayanır [1]. Global olarak bakıldığında kağıt ve kartonun % 99'u doğal maddelerden oluşur [2] . Üretilen kağıt, cinsine göre yaklaşık % 25 oranında dolgu minerali içermektedir. Gelişen teknoloji ile bu oran artmakta ve sadece ağaçların kullanımı yerine kaolin, kalsit, titanyumdioksit, talk gibi endüstriyel minerallerden yararlanılarak kaliteli kağıtlar üretilmektedir. Nişasta, kütleli olarak kağıt üretiminin % 1.7'sini oluşturur ve bu rakam tüm kimyasal katkı maddelerinin yarısıdır [3]. Kalsitin son yıllarda kullanımı daha da artmıştır ve alkali kağıt yapımı prosesinde özellikle Avrupa'da onaylanmıştır. 1972 'de PCC (Precipitated Calcium Carbonate) sadece bazı kaplama ve özel kağıtların üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmakta iken yapılan çalışmalarda elde edilen olumlu sonuçlar neticesinde Kaolin ve GCC (Ground Calcium Carbonate) den sonra üçüncü büyük dolgu pigmenti olmuş ve dolgu/pigment pazarında büyük bir yer almıştır. Talk, kullanılan tüm dolgu maddelerinin en az aşındırıcı özelliklisi ve en yüksek tabaka tutma yeteneğine sahip olanıdır. Bu özelliği ile kağıt sanayi, talkın başlıca tüketildiği endüstri dalıdır [4,5].

2.1.1 Atık kağıt ve atık kağıtların değerlendirilmesi

Kağıt tüketiminin artmasına paralel olarak, evsel ve endüstriyel katı atıklarla birlikte atılan kağıt miktarları da artmaktadır. Atık kağıdın geri kazanılması, kağıdın ana hammaddesi olan orman varlıklarının korunması yanında, kağıt üretiminde ortaya çıkan diğer kirliliklerin azalmasına, su ve enerji kaynaklarının tasarrufuna imkan sağlayacaktır. Çoğu kağıt ve karton türlerinin kısa bir kullanım ömrü olup genellikle bu sürecin sonunda da atılırlar. Kullanılmış kağıtlar çöpe atıldığı zaman 3ay ile 5 yıl arasında bozunur. Atık kağıt olarak adlandırılan bu materyal, kağıt endüstrisinde bir hammadde kaynağı olarak yeniden değerlendirmeye uygun özelliktedir.

Kağıt sanayiinde, atık kağıdın fiziksel ve kimyasal yapısal zorlukları, çoğu kez düşük kaliteli bir hammadde olarak algılanmasına ve genellikle de sahip olduğu kaliteden daha düşük kalitede kağıt üretiminde kullanılmasına imkan tanımaktadır. Türkiye’de atık kağıt kullanım oranı % 45, geri kazanma oranı ise % 31’dir [9]. 90’lı yıllarda % 30’larda olan bu değer, kağıt sanayinin özelleşmesi ve gelişmesi ile günümüze kadar artış göstermiştir. Bu değer kağıt sanayinde ileri teknolojilere sahip ABD’ne ve Finlandiya’ya yakındır [6]. EPA (Environmental Protection Agency)’nın 2008 raporunda, sadece ABD’de selülozik yalıtım üretiminde kullanılan kağıt ve karton atıklarının geri dönüşüm miktarının, çöplerin % 31’lik kısmına karşılık geldiği belirtilmektedir [7].

Atık kağıtların, düşük vasıflı kağıt (gazete kağıdı, karton, mukavva, ambalaj kağıdı vb.) ve selülozik yalıtım ürünleri imalatında kullanılması ile, çevre kirliliği ölçütlerinin hemen hepsinde azalma olmaktadır. Ağartılmamış kraft hamurundan yapılacak kağıtlara göre atık kağıt kullanımı halinde, hamur ve kağıt yapımı kademelerinde % 51 daha az su gereksinimi olmakta, ayrıca su kirliliğinde biyolojik oksijen ihtiyacında (BOI) % 44, süspansiyon haldeki katı madde miktarında % 25, hava kirlenmesine neden olabilecek maddelerde % 73 , toplam enerji gereksiniminde ise % 30 oranında azalma görülmektedir [8,9].

Atık kağıtların % 15-20’lik kısmının, pratik olarak kağıt üretiminde geri kazanılarak kullanılması mümkün değildir. Çünkü, kullanılmış kağıtların lifleri her seferinde kağıt kalitesine göre ortalama % 5-20 oranında bozunur ve zayıflar [10]. Atık kağıtların tekrar işlenmesinden dolayı selülozik liflerin boylarında kısalma görülür ve lifler elekte kalamadığından proseslerden atık olarak ayrılır. Bu nedenle, geri dönüşüm kağıdı kullanarak üretim yapan oluklu mukavva fabrikalarında, günde yaklaşık 9 ton kağıt atığı, selüloz zincirlerinin kısa olması sebebiyle geri dönüşümde kullanılamamakta ve tekrar atık olmaktadır [11]. Ülkemizde, kullanılan kağıt miktarının % 43’ünü oluklu mukavva kağıtları oluşturmaktadır [6].

Literatürde, farklı yöntemlerle, atık kağıtlardan kompozit malzeme ve yalıtım malzemeleri yapımına rastlamak mümkündür. Panaitescu ve arkadaşları, 2007 yılında polietilen mikro elyaf ve selülozik atık liflerden yeni bir malzeme üretilirliğini göstermişlerdir [12]. Olorunnisola, atık kağıtlardan ve hindistan cevizi kabuğu liflerinden briket yapmıştır [13]. Krzysik ve arkadaşları, 1993 yılında atık gazete kağıdı liflerinden levha üretiminin uygunluğunu araştırmıştır [14].

2.1.2 Selülozik yalıtım malzemesi olarak atık kağıt elyafı

Saf selüloz, beyaz, katı bir polisakkarit ve bitkisel elyaf bileşenidir [15]. Pamuk, en doğal ve saf, suni ipek ise işlenmiş formudur. Selülozik yalıtım, temel olarak geri dönüşümlü gazete, kaplanmamış diğer kağıt ürünleri ya da lifleştirilmiş ahşabın öğütülmesi ile elde edilen bir ısı ve ses yalıtım türüdür.

Düşük yoğunluklu, homojen, elyaf malzeme elde etmek için gazete kağıdı öğütülür. Tipik bir selülozik yalıtım malzemesi üreten tesis, depolama, atık kağıt işleme (kesme, parçalama, liflendirme), kimyasal malzeme ekleme ünitesi, toz tutma bölümü ve ambalajlama birimlerinden oluşur. Selüloz elyafının üretim akışı, hurda kağıdın sabit veya döner çekiçli ön parçalayıcı ile boyutunun 3 inç altına indirilmesi ile başlar. Parçalanan kağıt, pnömatik olarak ikinci ara değirmene ve son olarak 1/4 inç boyutuna indirecek son değirmene seri olarak beslenir. Homogen boyuta indirilen selüloz elyafına son aşamada yangın ve alev geciktirici özellik kazandırmak için, ağırlıkça %20-25 oranında, eş zamanlı olarak ince öğütülmüş borik asit, boraks ve alüminyum trihidrat eklenir. Üretim ve paketleme öncesi ortamdaki toz partiküller toz toplayıcı tarafından sistem dışına alınır. Sürecin son aşamasında, bitmiş ürün ambalajlama için bir torbalama ünitesine iletilir [16-18].

Kağıt, kolay yanıcı özellikte olduğu için yanma geciktirici kimyasallarla takviye edilir. Selülozik yalıtım malzemesinin içeriği, üretici firmaların yanma geciktiricilik ve stabilizasyon için seçtikleri kimyasallara göre değişkenlik gösterir. Bu ürünler aynı zamanda, küf ve mantar direnci için bazı katkı maddeleri de içerirler. Temel olarak kullanılan yangın geciktirici kimyasallar, amonyum sülfat, amonyum fosfat, alüminyum hidroksit, borik asit, boraks ve diğer boratlardır. Yanma geciktiriciler, ince öğütülmüş olarak selülozik yapıya ıslak veya kuru olarak katılabilir. Katkı maddeleri, geri dönüştürülmüş kağıda dayalı ürünlerde öğütme sırasında, liflendirilmiş ahşaba dayalı ürünlerde ise elyaf kurutulduktan sonra eklenir. Selülozik yalıtım malzemesinin kimyasal bileşimi ve fiziksel formu, saf selüloz ve diğer selüloz bileşenlerinden önemli ölçüde farklıdır. Kağıdın üretim sürecinden kendi içeriğinde selülozik yalıtım yapısına taşıdığı alçıtaşı gibi dolgu maddeleri, sodyum hidroksit, sodyum sülfat, formaldehit, klor, flor, kurşun, demir, kükürt bileşikleri, boyalar, reçine, talk, baskı mürekkepleri ve çeşitli solventler bulunmaktadır [19,20].

Amerika’da 1919 yılında yapılan üç binada selülozik yalıtım malzemesinin kullanıldığı bilinmektedir. Bu binalarda nem hasarından şüphelenilirken tam aksine, yapılan araştırmada, doğal geçirgenlik ve hava akımına direncin nemin oluşturabileceği hasarlara engel olduğu tespit edilmiştir. Selülozik yalıtımın, yaygın üretim olarak uzun bir geçmişi yoktur. Modern endüstri bu malzemeyi yarım yüzyıldır üretmektedir. Kayıtlı en eski CIMA üyesi 1949’dan beri aktiftir. Diğer firmaların çoğunun ömrü yaklaşık 25 yıldır [21].

İlk bir kaç uygulamadan sonra yaygın olarak, konut ve ticari binalarda ısı yalıtımı için atık kağıt elyafı kullanımına, yine ilk defa ABD’de 1925 yılında başlanmıştır [22]. Malzeme ile ilgili ilk standartlarda ASTM (American Society for Testing and Materials) ve NCIMA (National Cellulose Insulation Manufacturers Association) tarafından 1973 yılında yayınlanmıştır [23,24]. Tye’in selülozik yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğine, test ısı ve malzeme yoğunluğunun etkisini inceleyen yazısını [25], takiben araştırmacılar, araştırma birimleri [26] ve ilgili kurumlar [27,28] konu ile ilgili çalışmalar ve standartlar yayınlamışlardır.

ABD’de elyaf endüstrisi oldukça gelişmiştir. 1970’li yılların sonlarında ABD’de, selülozik yalıtım malzemesi adıyla bir ürün piyasaya sürülmüş ve bu malzeme, ek özellikleri dolayısıyla, binaların yalıtımında geniş bir kullanım sahası bulmuştur. 1973 yılına kadar İngiltere’de selüloz elyaf yalıtım endüstrisi yoktu. 1973 yılında ortaya çıkan enerji krizi sonrası, artan petrol, gaz ve elektrik fiyatları binalarda, ısıtma ve soğutma iyileştirmesi çalışmalarını hızlandırmıştır. İngiltere’de de bu tarihlerde ilk selüloz elyaf yalıtım malzemesi üretim tesisleri kurulmaya, 1978’ den sonra ise yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1980’lerle birlikte gelişen çevre bilinci de selülozik yalıtımın yaygınlaşmasında etken olmuştur [29].

Selülozik yalıtım malzemesinde en önemli özellik, malzemenin alev yavaşlatıcılığıdır. Ayrıca, selülozik yalıtım malzemesi hem inşa sırasında hem önceden inşa edilmiş binalarda kolaylıkla uygulanabilmektedir. Selülozik yalıtım, üretim ve uygulama aşamasında yüksek teknoloji gerektirmeyen bir üründür. Son yıllarda geliştirilen düşük tozlu selülozik elyaf, özel ürünler kategorisinde en yeni yalıtım malzemesidir. Diğer yalıtım malzemelerinin kanserojen olabilme ihtimaline karşı, doğallığı ile de ön plana çıkmıştır.

Doğada bozunma süresi 3 ile 60 aydır ve bu özelliği ile doğada kendiliğinden bozunabilen (biodegradable), doğa ile dost ürünler sınıfındadır. 70'lerde başlatılan sistematik çalışmalar 80'li yıllarda yapılan araştırmalarda elde edilen selülozik malzemenin termal özellikleri, yoğunluk verileri ve alev test sonuçları ile veri tabanı genişlemiştir. Yarbrough ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada dokuz ayrı kimyasal 51 farklı ticari üründe yanma geciktirici olarak test etmişlerdir [26]. Day ve arkadaşları, konu ile ilgili önemli bir çalışma yayınlamış, yanma geciktirici olarak kullanılan kimyasalları değerlendirdikleri çalışmada, alevsiz yanmayı geciktirmek için gerekli kimyasal miktarlarını belirlemişlerdir [30]. 80'li yılların başlarından beri yanma geciktirici kimyasalların uzun vadeli süreklilikleri araştırılmış ve sorgulanmıştır. Araştırmacılar, yaptıkları çalışmalarda borik asit ve boraksın süblimasyon (buharlaşma) miktarlarını laboratuvar ortamında ve uygulama sahasında test etmişler ve buharlaşma oranının çok az olduğu sonucuna varmışlardır [31-35]. Selülozik malzeme için yanma geciktirici olarak, borik asit, sodyum tetraborat (boraks), amonyum sülfat ve amonyum dihidrojen fosfat en uygun bileşikler olarak tespit edilmiştir. Bugün bu kimyasalların uzun vadeli kalıcılıkları halen tartışılmaya devam etse de, selülozik yalıtımda yanma geciktirici olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar.

1976 da ABD de 100 firma 125 fabrika ile üretim yaparken bu sayı, 1978 de 350 firma 500 fabrikaya ulaşmıştır. Zamanla bu sayı 1991 yılı itibari ile 61 üretici firmaya kadar gerilemiştir [36]. Bunda en büyük etken camyünü ve taşıyünü teknolojilerinin gelişmesi olarak gösterilmiştir. Bunula birlikte, günümüzde selülozik yalıtım, daha çevreci [37], üretiminde daha az enerji gereksinimi gerektirmesi (%20-30) [38], hammadde olarak geri dönüşüm malzemeyi (%75-85) daha fazla kullanması, daha iyi ses yalıtımı sağlaması [39], hafifliği ve yanma geciktiricilik özelliği [40,41] ile uygulamaları ve üretimi tekrar artış göstermektedir [37].

İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin sadece %7'si selülozdan üretilmektedir. Çatı altı yalıtımında 24 kg/m^3 gibi düşük yoğunluklu, duvar yalıtımı için biraz daha sıkıştırılarak 65 kg/m^3 yoğunluğunda uygulanır [42]. Yaygın olarak selülozik yalıtım malzemesinin iki tip uygulaması yapılmaktadır. Gevşek dolgu (Loose-fill) ve nemlendirilmiş püskürtme (Wet-spray). Gevşek dolgu yalıtımı, taneli veya kabarık lifli malzemenin çatı altlarına veya boşluklara serbest olarak doldurulmasıdır.

Kullanılmayan çatı altlarının yalıtımı için bu tip en uygundur. Başlıca avantajı, uygulanması basittir. Genelde selülozik yalıtım malzemesi püskürtme cihazı ile uygulanır. Düzensiz yayılım ve kaplama yapacağından elle serim tavsiye edilmez. Bazı gevşek dolgu yalıtımında atık kağıt elyafı, nemlendirilerek uygulanır. Zamanla oluşturduğu yarı sert doku ve direnç nedeni ile bu tür uygulama, (stabilized) ‘Kararlı gevşek dolgu’ olarak anılır. Uygulama aşamasında bir miktar su kullanılır. Bunun amacı, daha düşük yoğunluklu malzemeyi stabil hale getirecek bağlayıcıyı da aktif hale getirmektir [43,44]. Nemlendirilmiş püskürtme yöntemi ise, selüloz elyafının bir bağlayıcı ile birlikte yüzeye püskürtülerek uygulanır. Genelde duvarlara ve çatı altına bu tarz uygulamalar yapılmaktadır. Püskürtülen malzeme bir süre sonra tesviye edilerek üzeri dekoratif bir malzeme veya başka bir yapı elemanı ile kaplanır.

Binaların dış duvarlarını veya kaplamalarını da, insanın derisi ve giysilerinden sonra üçüncü bir cilt olarak kabul edebiliriz. Çok sıkı katmanlarla kaplanmış bir duvarı plastikten yapılmış bir giysi ile mukayese edebiliriz. Nem çekici (hygroscopic) malzemeler nemi emme ve salma (absorb-desorb) özelliğine sahiptirler. Selüloz elyafı da nem çekici özelliğe sahip bir malzemedir. Binalarda, selülozik elyaf tarafından emilen iç mekan havasındaki fazla nem, daha sonra bağıl nem salınımı olarak azalacaktır. Malzemenin bu tampon nem tutma yeteneği, iç mekan iklimi için değerlidir ve ortam nemini sürekli uygun düzeyde tutmaya yardımcı olur. Ayrıca iç mekan havasının temizlenmesine de yardımcı olurlar. Bazı zararlı gazlar nem bünyesinde taşınarak, nem salınımı ile dışarı atılabilirler. Selülozik yalıtım malzemesinin nem geçirgenliği yüksek bağıl nemde daha yüksektir. Björk, Lundblad ve Ödeen, yaptıkları çalışmada [45] bu değerleri;

Bağıl nem (%)	12-45	45-90
----------------	-------	-------

δv (m ² /s)	16.10 ⁻⁶	25.10 ⁻⁶
--------------------------------	---------------------	---------------------

olarak bulmuşlar, Nevander ve Elmarsson' da, taş yünü için benzer sonuçları elde etmişlerdir [46].

Selülozik elyaf yalıtımı, günümüzde genellikle ekolojik yapı yapan mimarlar tarafından tavsiye edilmekte ve uygulanmaktadır. Ekolojik bina fikirleri, mimarlar ve inşaatçıların klasik ve statükocu yapı fikrine karşı bir meydan okuması olarak algılanabilir.

Ekolojik bina, tarifinde ne olursa olsun, çağrışımı çok olumlu olan bir kavramdır. Ekolojik yapının esasındaki ‘nefes alan duvarlar’ tanımı, geleneksel yapı mimarisine alışmış insanlar için kafa karıştırıcı gelebilir. Bokalders and Sternberg’in hazırladıkları ‘Sağlıklı ve Çevreye Uyumlu Binalar İçin Ürün Rehberi’ kitapçığındaki tanımlar bu kafa karışıklığını gidermeye yeterli olacaktır. Bu rehberde, selülozik yalıtım malzemesinin, yapıda nemi düzenleyici ve nefes alma özelliği ile nemin hareketli bünyede tampon nem (buffer humidity) oluşturacağı fikri savunulmaktadır. Ayrıca; uygulamada herhangi bir plastik folyo gerekli olmadığından, bunun yapıda, nem ve gaz difüzyonuna imkan tanıyan bir form oluşturduğu ve yapıdaki havalandırma ihtiyacını azaltacağı, genellikle doğal havalandırmanın yeterli olacağı belirtilmektedir. Bu özelliklerin iyi bir iç mekan iklimi sağlayacağını ve yapı elemanları üzerindeki nem riskini azaltacağı savunulmaktadır[42] [47].

2.1.3 Konuyla ilgili önceden yapılmış çalışmalar

Homaterm GmbH tarafından, atık selüloz elyafından yüksek yoğunlukta ve orta sertlikte esnek plakalar üretilmektedir. Malzemelerde atık kağıt miktarı %70 civarında olup bağlayıcı olarak %7–10 polyolefin fiber kullanılmaktadır. Bağlayıcı fiberler plakaların esnek olmasını sağlamaktadır. Üretilen selüloz plakaların yoğunluğu 60–90 kg/m³ arasındadır. Bu malzeme termal performansını kaybetmeden % 17 nemi absorbe edebilecek özelliktedir. Malzemenin üretiminde yangına karşı dayanımını artırmak için %10 Borik asit ve %11 boraks kullanılmaktadır [48].

Yachmenev, Negulescu ve Yan, Selülozik elyaf ve (pamuk, kenaf, hint keneviri, keteni) bitkisel atıkları geri dönüştürülmüş plastik fiberler ve doğada bozunabilir bağlayıcılarla duvar panelleri ve yanmaz kompozitlerin üretiminde kullanmıştır. Bu paneller kullanıldığı ortamın termal izolasyon özelliklerini artırmaktadır. Yanmazlığı sağlamak için elyaf malzemede Borik asit ve Boraks karışımı kullanılmıştır. Burada kullanılan numunelerin mekanik özellikleri soil-brail metodu (toprağa gömme 1–6 haftalık) kullanılarak belirlenmiştir [49].

1990 yılında University of Colorado’da yapılan bir çalışmada [50], selülozun cam yünü bazlı yalıtım malzemesine karşı % 38 daha verimli olduğu tesbit edilmiştir.

Oak Ridge National Laboratory de yapılan bir çalışmada araştırmacılar, bina çatılarına uyguladıkları geniş ölçekli iklimlendirme simülâtörü ile, mineral yünü yalıtım malzemelerinde R-18 (+ 45 °F) ve R-11 (-18°F) için ölçtükleri efektif R değerini aynı koşullarda R-19 selüloz yalıtım malzemesinde elde etmişlerdir. Üstelik % 10 enerji kazanımı sağlanmışır [51]. Aynı konuda Pennsylvania, Kansas ve Massachusetts ve İngiltere’de yapılan benzer performans testlerinde de elde edilen sonuçlar % 20-33 oranında selülozik yalıtımdan yana olmuştur [52].

Gelişen teknoloji ile birlikte modern yalıtım sektörü, büyük miktarlarda hem doğal hem de sentetik mineral lifler kullanmaktadır. Düşük yoğunluklu ince liflerin büyük bir hacim oluşturmaları onları yalıtım için uygun hale getirir. Özellikle, gevşek lifli kitle içinde sıkışan hava, ısı transferi için ana engeli oluşturur. Atık kağıt elyafı da, doğal, selülozik esaslı bir elyafır. Kağıdın yapısından gelen safsızlıklar içerir. Kolay tutuşur ve yanar. Erimez. Alev kaynağı çekildiğinde yanmaya devam eder, yumuşak gri, siyah renkli kül bırakır. Kendine has yanık kokusu bırakır. Selüloz elyafı, Pamuk, Keten gibi diğer doğal elyaflarla aynı karakteristik özelliği gösterir. Selülozun kullanımını sınırlayan birkaç önemli kusuru bulunmaktadır.

a) Selüloz, organik kimyasal yapısı nedeniyle mantarlar ve böcekler tarafından tahrip edilebilmektedir.

b) Fiziksel yapısının gereği selüloz, havadaki su moleküllerini tutabilmektedir. Bu nedenle, nispi hava rutubetine bağlı olarak selüloz havadan su almakta veya havaya su vermektedir. Sonuç olarak selüloz şişerek veya daralarak boyut değiştirmektedir. Buna selülozun çalışması denilmektedir.

c) Selüloz yanıcı bir maddedir. Bu değerli ürünün kullanım süresini uzatmak ve yeni kullanım alanları açmak için selülozun belirli kimyasal maddelerle muamele edilerek mantar ve böceklere karşı korunması, yanmasının geciktirilmesi, rutubet almasının engellenerek veya azaltılarak boyut değiştirmesinin önlenmesi ve bazı özelliklerinin iyileştirilmesi gerekli olmuştur .

d) Üretim ve uygulama aşamasındaki toz oluşumu. Risk oranının düşürülebilmesi için özellikle uygulama (gevşek dolgu uygulaması) özel kıyafet gerektirmektedir.

Selüloz gibi esnek malzemeler daha etkili ses absorbe eder. Selülozun diğer yalıtım malzemelerine göre yoğunluğu daha yüksektir. Ses azaltma genellikle yoğunlukla ilgilidir. Yüksek yoğunluklu malzemeler daha iyi bir ses azaltma verimi gösterirler.

Tüm yapı ve yalıtım malzemeleri nem tutmaya yatkındır. Özellikle selülozik elyafın nem çekmeye yatkın olması uygulayıcıları ve kullanıcıları her zaman endişelendirmiştir. Gerçekte de selüloz nem çekicidir ve nem tutmada etkindir. Ancak selülozik elyaf malzeme bünyesinde uzun süre fazla nem tutmaz. New England ve Ohio [53], Canada [54], başka saha çalışmalarında [55, 56] ve Alberta'da yapılan bir saha çalışmasında spreylenecek uygulanan selülozik elyaf yalıtımın 160 gün sonra ölçülen nem değeri malzemenin orijinal nem değerine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir [57].

Organik lifler kolayca ,büyük miktarlarda nem emerler. Selülozun emdiği nem doğal olarak kurur. Yangın geciktirici kimyasallar zamanla veya nem ile etkinliğini kaybetmezler. İnorganik lifler nemi absorbe etmezler ancak, ıslandıkları zaman zor kururlar bu nedenle inorganik lifler uzun süre nemli kalırlar.

Bir malzemenin tozluluğu, havadaki serbest kuru tozun belirli koşullar altında tutulmasına, eğilimi olarak tanımlanır [58]. İnce liflerin oluşturduğu tozlu havanın, uygulama anında ve sonrasında ortamda bulunanlar için solunum yolu enfeksiyonları, cilt ve göz tahrişi gibi birtakım şikayetlere yol açma riski vardır. Yapılan bazı çalışmalarda [59] fiberglass yalıtım uygulaması işçilerinde, [60] keten elyafı uygulaması işçilerinde, [61] geri dönüşümlü kağıt elyafı uygulaması yapan işçilerde ortam tozunun solunumuna bağlı bünyede endotoksin oluşumu tespit ve rapor edilmiştir.

Amerika ve Kuzey Avrupa ülkelerinde uzun yıllardır yalıtım malzemesi olarak kullanılan atık kağıt elyafının yapısındaki mürekkep, bağlayıcı kimyasallar, sentetik çözücüler gibi maddelerin insan sağlığına olan zararları açısından da, hakkında bazı eleştiriler ve uyarılar hala vardır [62]. Selülozik yalıtım hammadde olarak % 75-80 atık gazete kağıdını kullanmaktadır. Kalan %20-25 lik kısım borik asit ve amonyum sülfat gibi kimyasallardan oluşmaktadır. Atık gazete kağıdından elde edilen selüloz elyafı ise % 5-10 oranında farklı katkı maddeleri ile birlikte büyük oranda formaldehit bazlı matbaa mürekkebi içermektedir [63]. Atık kağıt elyafı bazlı yalıtım malzemesinin üretimi aşamasında, diğer yalıtım ürünlerinin (camyünü, taşyünü) üretimlerinde kullanılan enerjinin 20-40 kat daha azı kullanılır. Enerjinin verimli kullanımı açısından kazançlıdır.

3. YALITIM

3.1 Yalıtım ve Çevre

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımı, endüstriyel gelişme ve konforlu modern bir yaşamı da beraberinde getirmiştir. Fakat fosil yakıtların yakılması sırasında açığa çıkan kimyasallar hava kirliliğine, asit yağmurlarına, küresel ısınmayla birlikte iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Çevre kirliliğinin yüksek düzeylere ulaşması, flora, fauna, vahşi yaşam ve insan sağlığı için tehlikeli ve zaman zaman tehdit eder duruma gelmiştir. Tarımda kullanılan toprak, içilen su, solunan hava ve ekosistem bunun için ağır bedel ödemektedir.

Günümüzde halen ana ilkeleri 19. yy kadar uzanan, fosil kaynaklı yakıtlardan mekanik enerjiye, elektrik ve ısı enerjisine dönüşüm gibi yöntemler kullanılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlara dayalı olan yakma teknolojileri dışında, ucuz ve temiz olarak kullanılabilir enerjiye “yakmaksızın” dönüşümün yapılabildiği bir teknoloji henüz tam olarak geliştirilememiştir. Yenilenebilir kaynaklara dayalı kullanılabilir enerjinin ise artan talebi karşılama yeterli olduğu söylenemez.

Dünyanın enerji ihtiyacının yüzde 60'ından fazlasının elde edildiği fosil yakıtlar küresel ısınmaya neden olmaktadır. Enerji ihtiyaçlarının artması ve verimli enerji kullanılmaması sonucunda; hava kirliliği artmakta, hava kirliliğindeki bu artış kendisini küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle göstermektedir. Küresel ısınma tehdidi ve hava kirliliğini azaltmak; günümüzün en önemli konularının başında gelmektedir. Kış mevsiminde ısı kayıplarının, yaz mevsiminde ise ısı kazançlarının azaltılması ile elde edilecek yakıt tasarrufu, beraberinde atmosfere atılan sera gazlarında da bir düşüş sağlayacaktır ayrıca, yaz aylarında soğutma için kullanılan ve ozon tabakasına zarar veren soğutucu gazlara duyulan ihtiyacı da azaltacaktır. Mekanik ısıtma ve havalandırma sistemleri ile desteklenen iklim düzenleyiciler, kapalı yaşam alanlarında ısı konforu sağlamak için tasarlanmıştır. Bu sistemler;

düzgün tasarlanıp işletilebilirlerse binalarda önemli enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir. En az maliyetli enerji stratejisi olarak, enerjinin korunması yöntemi desteklenmelidir.

Isı yalıtımı uygulaması, özellikle sert iklim koşullarına sahip bölgelerde, enerji verimliliği sağlamaya yönelik önemli bir katkı, pratik ve mantıklı bir ilk adımdır. İklimlendirme, binalarda harcanan enerjinin büyük bir dilimini oluşturmaktadır. Günümüzde, modern bir evde iklimlendirme için harcanan enerji, toplam enerji kullanımının ortalama %50-70'ine karşılık gelmektedir [64].

Bu oran, daha sert iklim koşullarına sahip bölgelerde ve daha az verimli enerji korumalı binalarda daha yüksek olabilir. Özellikle rezidanslar gibi yüksek ve cephe kaplamalı binaların iklimlendirme için gerekli enerji miktarları, ısı yalıtımlarının ne kadar uygun ve iyi yapıldığına bağlıdır. Cephe kaplaması ve ısı yalıtımının performansı, kaplama malzemesinin güneş ışığını absorbe etmesi ve yaymasının yanında kullanılan ısı yalıtım malzemesinin ısı direncine ve özelliklerine de bağlıdır. Yalıtım malzemesinin yapıda uygulanış yöntemi, süreksiz ısı akışı altında performansını etkileyebilir. Bu, yazın soğutma kışın ısıtmanın etkin olduğu iklim bölgeleri için, içten yalıtım anlamına gelir. Ancak pratik uygulama açısından dış yalıtım kullanımı yaygındır. Sonuç olarak ısı yalıtımı, termal konfor sağlamak için gereken enerji miktarını belirlemede önemli bir parametredir [65].

Isı yalıtımı, gevşek dolgu, spreyci, şilte ve rulo şeklinde elastik formda malzemelerle uygulandığı gibi sert plaka veya yansıtıcı formdaki malzemelerle de uygulanabilir. Uygun yalıtım malzemesi, tip ve form seçimi uygulama türüne ve malzemedan istenen termal ve diğer fiziksel özelliklere bağlıdır. Isı yalıtımı malzemeleri doğru uygulandıklarında iletim, taşınım ve ışıınım şeklindeki ısı geçiş hızını yavaşlatır. Yapıda içten dışa veya dıştan içe ısı geçiş hızının büyüklüğü, uygulanan yalıtım malzemesinin termal direncine bağlıdır [66].

Benzen ve formaldehit gibi yüzlerce bileşik, fosil yakıtların enerji santrallerinde yakılması, motorlu araçlardaki kullanımı, ısınma ve sanayi amaçlı kullanımı sonucu ortaya çıkan emisyonları, genellikle hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x) ve karbon monoksit (CO) olarak gruplandırılabilir. Hidrokarbon emisyonları, uçucu organik bileşik (VOC_s) emisyonlarını oluşturan bileşenlerin büyük kısmını oluştururlar.

Dumanlı sis, genellikle yer seviyesindeki ozondan oluşur, ancak içinde CO'i, kurum gibi partikülleri, benzen, bütan ve diğer HC'ları ve uçucu organik bileşenleri de barındırır. Yer seviyesindeki bu ozon tabakası, güneşin zararlı ultraviyole ışınlarından yeryüzünü koruyan atmosfer seviyesindeki ozon tabakası ile karıştırılmamalıdır. Yer seviyesine yakın olan ozon tabakalanmasının oluşturduğu kirlilikten özellikle gelişme çağındaki çocuklar ve yaşlılar ile hastalar çok çabuk etkilenirler.

Fosil yakıtlar az miktarda olsa kükürt içeren farklı kimyasal maddelerin karışımıdır. İçerdikleri bu kükürdün oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan SO₂ hava kirliliğinin bir diğer etkenidir. 1970 yılındaki sınırlamaların içinde SO₂ emisyonları da anılmış, enerji santrallerinde arıtma cihazları zorunluluğu getirilmiş, yüksek kükürt içerikli kömürlerin kükürt oranlarında azaltma çalışmalarına hız verilmesi kararlaştırılmış ve zorlayıcı tedbirler konmuştur.

Kükürt oksit ve azot oksit atmosferdeki gün ışığının fazla olması ile su buharı ve diğer kimyasallarla tepkimeye girmesi sonucu sülfürik asit ve nitrik asit oluşur. Asit yağmuru olarak adlandırılan bu olay sonucu toprakların, göl ve nehir sularının asit oranları yükselir ve canlılar için tehlikeli sınıra gelirler. Canlılar için yaşam koşullarını zorlaştıran bu asitli yağmurlar bina ve çeşitli sanat eserlerinin de yüzeysel bozulmalarına neden olmaktadır.

Atmosferdeki bu kirlenme sonucu ortaya çıkan küresel ısınma ve iklim değişikliği bizlere bir başka yönde, sera etkisi olarak yansımaktadır. Sera etkisi dünyanın büyük bir kısmında görülmektedir. Güneş enerjisinin soğrulması ile gün boyunca yeryüzü ısınmakta ve gece boyunca soğrulan bu enerjinin, kızılötesi ışıyım şeklinde derin boşluklara gönderilmesinden dolayı soğuma meydana gelmektedir. CO₂, su buharı, metan, ozon, kloroflorokarbonlar ve azot oksit gibi diğer gazların bir kısmı battaniye gibi davranırlar. Böylece yeryüzünden ısı ışıyımını engelleyerek gece boyunca da yeryüzünün ılık kalmasını sağlarlar. Burada etkin, temel bileşeni CO₂ olan bu gazlar sera gazları olarak bilinir. Sera etkisi, yeryüzünü ılık (yaklaşık 30°C) tutarak yeryüzü üzerindeki yaşamı mümkün kılmaktadır. Ancak sera gazlarının aşırı artışı ile, çok fazla enerji birikerek hassas denge bozulmakta ve yeryüzünün ortalama sıcaklığının artması sonucu bölgesel iklim değişiklikleri oluşmaktadır.

Çevre kirliliğinin gün geçtikçe artması ve bu tehlikenin farkında olunması, yerel yetkilileri, kurum ve kuruluşları harekete geçirmiş özel yasaların çıkarılması ve uluslar arası anlaşmaların yapılmasını gerekli kılmıştır. 60'lı yıllarda başlayan 'çevrecilik' akımı ile toplumdaki bilinçlenmeye bağlı olarak 1970 yılında ABD'de temiz hava hareketi sonucu büyük santraller ve motorlu araç emisyonlarına sınırlamalar getirilmiştir. Bu standartlar (HC) emisyonlarına, (NO_x) ve (CO) emisyonlarına sınırlamalar getirmektedir. 1990'daki ikinci temiz hava hareketi ile kapsam genişletilmiş ozon, (CO_x), (NO₂) ve havadaki partiküller (PM) için de sınırlamalar getirilmiştir.

1987 yılında, Çevre ve Kalkınma Dünya Komisyonu yaygın olarak Brundtland Raporu [67] adı ile bilinen sürdürülebilirlik tanımını geliştirmiştir. O raporda; "Sürdürülebilir kalkınma, kendi ihtiyaçlarını karşılamak için gelecek kuşakların ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılar." şeklinde tanımlanır. Bu açıdan bakıldığında bir ürünün sürdürülebilir kalkınma bakışıyla üretilmesi, kamu sağlığı ve çevre üzerinde mümkün olan en düşük etkiye sahip kaynakların kullanılması ile onun gelecek nesiller için de geçerli olmasını sağlar.

Isı ve ses yalıtımı için yaygın olarak kullanılan sentetik, mineral ve selüloz elyafi bazlı yalıtım malzemeleri onların iyi performans, enerjinin korunumu, geri dönüşüm malzemesi kullanımı ve düşük maliyetleri nedeniyle bu tanım içinde değerlendirilebilir. Avrupa bina yalıtımı pazarında yaklaşık 3,3 milyar avroluk bir değere ulaştığı tahmin edilmiştir [70].

1992 yılında Brezilya'nın Rio kentinde gerçekleştirilen Çevre ve Kalkınma Konferansında kabul edilip 1994 yılında yürürlüğe giren, ' Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi '(BMİDÇS) ve Kyoto Protokolünün sonucu protokolü imzalayan ülkeler, Karbon dioksit (CO₂), Metan (CH₄), Azot oksit (NO₂), Hidroflorokarbonlar (HFCs), Perflorokarbonlar (PFCs), Kükürthekzaflorid (SF₆) gazlarının salınımını azaltmaya söz vermişlerdir.

2004 yılında BMİDÇS'ye taraf olan, ancak uzun süre Kyoto protokolünü imzalamayan Türkiye 30 Mayıs 2008'de protokolü imzalayacağını resmen açıklamış ve 26 Şubat 2009'da TBMM genel kurulunda yapılan oylama ile kabul edilerek taraf olduğunu yasallaştırmıştır [68].

Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu günümüzde yaklaşık 360 ppm (yaklaşık % 0.36) civarındadır. Bu miktar geçen yüzyıla oranla 20 kat daha fazladır. 2100 yılında bu miktarın 700 ppm olacağı tahmin edilmektedir. İklim bilimciler geçen yüzyılda dünyanın yüzyıl boyunca sıcaklık artışının yaklaşık 0.5 °C olduğunu belirtmişlerdir. Böyle devam ederse 2100 yılına kadar bu değerin 2 °C yi bulacağı belirtilmiştir [69].

Ülkemizde binalarda ısı yalıtımı 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren uygulaması zorunlu standart hale getirilmiştir. Çevre kanunu'nun 14. maddesi hükmüne dayanılarak 1983 tarihli gürültü yönetmeliğinin de uygulanması yasal bir zorunluluktur. Yönetmeliğin amacı, kişilerin huzur ve sükununu, beden ve ruh sağlığını gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesini sağlamaktır. Ülkemizde uygulanması zorunlu olan bir diğer yönetmelik, sivil savunma kanununun Ek-9'uncu maddesine dayanılarak 2002 yılında yürürlüğe giren, yangın yönetmeliğidir. 17 Aralık 2007, tarihli Resmi Gazetede yayınlanan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte" binalarda ve endüstriyel yapıların döşeme, zemin ve çatı gibi bölümlerinde "A" sınıfı yalıtım malzemesi kullanımı ayrıca, yangın yüküne ve güvenlik seviyelerine bağlı olarak yangına 30 ile 90 dakika dayanım zorunluluğu bulunmaktadır. Hatta bu süre yangın yüklerinin çok fazla olduğu yerlerde 180 dakikaya kadar çıkabilmektedir [71].

3.2 Yalıtım

Yalıtım, günümüz mimari anlayışında, yaşamımıza, ekonomiye ve ekolojik sisteme sağladığı yararlar nedeni ile sektörün vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Genelde bina yalıtımından istenilen, yapıyı kendi bünyesi ile içindeki eşya ve canlılara zarar verici etkilerden korumak, kullanılan mekana sağlıklı koşullara uygun konforu sağlamaktır [72].

Bina yalıtımı; "malzeme üretiminden uygulamasına kadar titizlik, hassaslık, çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir sistem bütünüdür". Bu nedenle; bina yalıtımında, ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık, madencilik (cevher hazırlama), malzeme bilimi, çevre ve meteoroloji mühendisliği gibi bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmalıdır.

Yalıtım sektörü, inşaat, mimarlık, makine, madencilik (cevher hazırlama) ve sayılan diğer meslek gruplarının oluşturduğu yeni ve farklı bir sektör olarak görülebilir.

Pek çok neden profesyonel mimar, mühendis ve müteahhitlerin yalıtım uygulamasını tercih etmelerinde rol oynar. Bunlar;

- 1- Yürürlükteki bina, yapı yönetmelikleri (Bina enerji planı)
- 2- Isı kayıplarını/artışlarını azaltmak
- 3- Isınma harcamalarını azaltmak
- 4- Donma riskini azaltmak
- 5- Isıtma cihazlarının kapasitesini azaltmak
- 6- Proses ısınısını kontrol etmek
- 7- Yüzey ısınısını kontrol etmek
- 8- Klima/havalandırma sistemini desteklemek
- 9- Akustik düzen ve gürültü kontrolü
- 10- Yangına karşı korunma

Binalarda ısı yalıtımı uygulayarak hem konforlu yaşam alanları oluşturulur hem de enerji tasarrufu yapılarak doğal kaynaklar korunur. İnsanların yaşam kalitesinden ve konforundan ödün vermeden, enerji tasarrufu sağlamak için alınabilecek üç önlem vardır. Bunlar, yüksek verimli cihazların kullanılması, otomasyon sistemleri ile kontrol ve ısı yalıtımıdır. Bu üç önlem arasında ilk sırayı ise ısı yalıtımı alır. Etkin bir ısı yalıtımının yapılmadığı binalarda, enerji tüketimi çok fazladır. Isı yalıtımı uygulaması, özellikle sert iklim koşullarına sahip bölgelerde, enerji verimliliği sağlamaya yönelik önemli bir katkı, pratik ve mantıklı bir ilk adımdır. Günümüzde, modern bir evde iklimlendirme için harcanan enerji, toplam enerji kullanımının ortalama %50-70'ine karşılık gelmektedir [73].

Bu oran, daha sert iklim koşullarına sahip bölgelerde ve daha az verimli enerji korumalı binalarda daha yüksek olabilir. Özellikle rezidanslar gibi yüksek ve cephe kaplamalı binaların iklimlendirme için gerekli enerji miktarları, ısı yalıtımlarının ne kadar uygun ve iyi yapıldığına bağlıdır. Cephe kaplaması ve ısı yalıtımının performansı, kaplama malzemesinin güneş ışığını absorbe etmesi ve yaymasının yanında kullanılan ısı yalıtım malzemesinin ısıl direncine ve özelliklerine de bağlıdır.

Yüksek yapılarda, bina ömrünün artmasına yardımcı olacak bina içi uygun ısı rejiminin sağlanması, ısı yalıtımı yoluyla elde edilir. Sonuç olarak ısı yalıtımı, termal konfor sağlamak için gereken enerji miktarını belirlemede önemli bir parametredir [65].

Isı yalıtımı, sadece yapıların ısıtma ve soğutma yüklerini azaltarak enerji tasarrufu sağlamakla kalmamakta, yeni yapılmakta olan yapıların da ısıtma ve soğutma tesisatlarına ait ilk yatırım maliyetlerinde düşüşe ve kazanca neden olmaktadır. Isı yalıtımı için inşa aşamasında, bina maliyetinin % 5'i kadar ek bir yatırımla, iklimlendirme (HVAC) ekipmanlarında, işletme ve enerji harcamalarında uzun vadeli sürekli kazanç elde edilebilir. Isı yalıtımı yapılan binalarda ısınma için daha az enerji gerekeceğinden, kazan büyüklüğü, radyatör sayısı ve tesisat malzemelerinde azalma olacaktır. Radyatör sayısı ve dilimlerinin azalması binalardaki kullanım alanlarını da arttıracaktır.

Doğru yalıtımlı, konforlu ve işletme giderleri düşük bir yapı, mal sahibine satışta veya kiralamada hem avantaj hem yüksek gelir sağlayacaktır. Yalıtımlı bir yapının pazarlanması yalıtımsız benzerlerine kıyasla günümüz şartlarında çok daha kolay olacaktır. Isı yalıtımsız mekanlarda, oluşan rutubetin hastalıklarla olan ilişkisi bilinmektedir. Nemli ortamlar, mikroorganizmaların üremesi için uygun koşulları oluşturur. Nemli ortamlarda oluşacak küf ve mantarlar özellikle astım hastalığına yakalanma riskini artırır. Isı yalıtımı, sağladığı yakıt tasarrufu ile birlikte, binalardan ısıtma amaçlı emisyon yayılımı azalarak, yaşanılır sağlıklı ortamlar oluşturacak, hava kirliliğine bağlı hastalıkları azaltacaktır. Mekanik iklimlendirme bağımlılığı azalacak ve daha uzun süre mevsimsel konfor sağlanacaktır. Aynı zamanda komşu alanlardan ve dışarıdan gelecek rahatsız edici gürültüler azalacak, akustik konfor artacaktır. Ses yalıtımı ile gürültü kirliliği önlenecek, yüksek ses düzeyine maruz kalmaktan ileri gelen fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklar azalacak, daha konforlu bir yaşam ortamı sağlanacaktır. Yanma geciktirici özellikli bir yalıtım malzemesinin koruduğu bir binada çıkacak yangında can ve mal emniyeti daha güvenli olacak, dumandan ve zehirli gazlardan zarar görme oranı düşecektir.

Isı yalıtımı, giderek azalan fosil yakıt rezervleri, petrol krizleri ile ortaya çıkan yakıt sıkıntısı ve enerjinin her geçen gün pahalılaşması, enerjinin etkin kullanımını her ülkenin gündemine almıştır.

Enerji talebinin % 60 ını ithal ederek karşılayan ülkemizde enerji tasarrufu ile dışa bağımlılığımız azalacak, mevcut enerji kaynakları daha çok kullanıcıya ulaşabilecektir [74]. Unutulmamalıdır ki; en ucuz kaynak, tasarruftur. İZODER'in yaptığı örnek bir çalışmada, bina için gerekli yalıtım yatırımının, 4 yılda geri döneceği tespit edilmiştir [75].

3.2.1 Yalıtım malzemeleri

Yapılarda kullanılan yalıtım malzemelerinin bir kısmı doğal malzemelerden elde edilmekte, bir kısmı ise yapay olarak üretilmektedir. Doğal yalıtım malzemelerini de kullanım şekillerine göre üç gruba ayırabiliriz [63];

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

Bu ham maddelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini bilmek, malzemeyi en uygun şekilde üretime ve kullanıma hazırlamayı kolaylaştıracaktır. Yalıtım malzemesinin yapısı, hafif olmaları, donma ve aşınma gibi dış etkilere karşı dayanımı, elastisite ve mekanik dayanımı, sertliği, ısı ve ses yalıtım özellikleri, yangın geciktiriciliği ve dayanımı, kolay üretimi ve işlenebilmesi, ekonomikliği, kullanım ve uygulama kolaylığı gibi bir takım özellikler tercih edilmesinde etkilidirler. Yapılarda yalıtıma verilen önem her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç artmakta ve buna paralel olarak enerjinin de en verimli bir şekilde kullanımı gerekmektedir. Bu nedenle bizim gibi enerji açısından dışa bağımlı ülkelerde, enerji tasarrufuna katkıda bulunacak hafif ve etkin özellikli yalıtım malzemelerinin kullanımı ve teşvik edilmesi önem kazanmaktadır.

Yalıtım malzemeleri, yapı elemanlarına yapacağı statik ve dinamik yük yanında yapı içindeki ısı ve nem dengesini sağlayacak minimum kalınlığa göre boyutlandırılır. Isı ve nem dengesine göre yalıtım malzemesi kullanılmadan belirlenen yapı elemanlarının kalınlıkları genelde normalden fazladır.

Bu nedenle yapılar taşıyacakları yüke göre planlanırlar ve yapı içindeki ısı ve nem miktarına göre yalıtılırlar [64-65]. Yapıların ısı, ses gibi etkilere karşı korunmasında en büyük görev dış yapı bileşenlerine düşmektedir. Başta duvar ve pencereler olmak üzere, çatı, baca ve zemine temas eden yapı bileşenleri dış çevreden gelen etkilere karşı yapıyı korurlar. Isı ve ses yalıtımı açısından bu bileşenleri oluşturan malzemelerin ısı iletkenliği, ısı depolama ve soğutma-ısınma davranışı ve ses yutma, yansıtma gibi özellikleri çok önemlidir [76]. Sürdürülebilir malzemeler birçok durumda geleneksel olanlar kadar termal ve akustik performansları ile karşılaştırılabilir. Fiziksel özellikleri detaylı analiz edilmemiş olmasına rağmen pek çok ürün teknik ve ticari olgunluğa ulaşmış durumdadır. Doğal elyaf çok düşük zehirliliğe sahiptir ve üretim aşamasında da çevrenin korunmasına katkı sağlar. Üretim aşamasında daha az enerji gereksinimlerinden dolayı tercih edilmektedir.

Yüksek akustik ve termal performanslarını birleştirerek kullanabilmek için yeni ses yalıtım malzemelerinin geliştirilmesinde, çevre ve insan sağlığı üzerinde daha az olumsuz etkili olan geleneksel malzemelerin kullanımında, doğal elyaf malzemelere giderek artan bir ilgi ve teşvik vardır. Literatürde bu konuda yaygın kullanılan malzemelerle ilgili [77,78] farklı ve spesifik çözümler sunan [79,80] ve doğal elyaf kompozitlerin daha hafif ve çevreye uyumlu olması dolayısıyla camyününden üstün olduğunu gösteren [81] çalışmalar mevcuttur.

Son yıllarda, inşaat sektöründe dikkatler, özellikle de ‘yeşil’ malzemeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu nedenle ticari ürünlerin çoğu, içeriklerinde çok küçük bir yüzdede geri dönüşümlü malzeme olmasına rağmen ‘insan sağlığına zararlı değildir’ veya ‘yeşil’ ürün olarak etiketlenmektedir. Oysa bir ürünün gerçek sürdürülebilirlik ve ‘yeşil’ ürün olması, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA-Life Cycle Assessment) ile belirlenmelidir. Yaşam döngüsü değerlendirilmesinde, bir ürünün malzeme çıkarma, üretim, ulaşım, inşaat, işletme yönetimi, sökülmesi, atıkların toplanması, geri dönüşüm ve bunlardan kaynaklanacak potansiyel etkilerini belirleyecek analiz yöntemleri dikkate alınmalıdır [82].

Yalıtım malzemeleri için LCA analiz sonuçları ‘Ecoprofiles’ olarak tanımlanmakta ve listelenmektedir. LCA veritabanı sonuçları; Birikmiş Enerji Talebi (CED - Cumulated Energy Demand), Yenilenebilir Olmayan Enerji Miktarı (Non-Renewable energy (NRE) fraction), Küresel Isınma Potansiyeli (GWP - Global Warming Potential) ve Asitlenme Gücü (AP - Acidification Power) başlıkları altında

değerlendirilmekte ve ‘Ecoprofiles’ çevresel etki değerlendirmesine dayalı yalıtım malzemelerinin karşılaştırmaları yapılmaktadır [83]. Yalıtım ürünlerinin bazıları için üretim süreçlerinin ağırlıklı etkileri açısından, (iklim değişikliği, asit birikimi, suda azot ve fosfatın artması, ozon tabakasının incilmesi, maden çıkarma, fosil yakıt tüketimi, zehirlilik, atık yönetimi ve ulaşım kirliliği sonuçları değerlendirilerek) Hollanda ve İngiltere’deki BRE Eko-Profilı puanlaması şöyledir [84];

EPS	15 kg/m ³ / 0.028 puan
Cam Yünü	33 kg/m ³ / 0.016 puan
Taş Yünü	45 kg/m ³ / 0.020 puan
Geridönüşüm gazete kağıdı	** / 0.002 puan

- Belli şartlar altında yalıtım malzemeleri uygulandıkları yapıda;
- Duvarın, tavanın veya döşemenin yapısal mukavemetini artırır,
- Yüzey bitirme işlemleri için bir destek sağlar,
- Hava ve su buharı geçişini engeller,
- Donma şartları durumlarda cihaz ve yapılardaki hasarı önler veya azaltır,
- Ses ve titreşimi azaltır.
- Yanma geciktiricilik özelliği ile itfaiyeye müdahale için süre kazandırır.

Yapıda kullanılacak yalıtım malzemesinin karakteristik özelliklerinin araştırılması, incelenmesi ve analiz bulgularının irdelenmesi, deneysel ve gözlemsel bulgularla sağlanabilmektedir. Kullanım yerlerine göre bir yalıtım malzemesinin yapısını ve karakteristiğini zaman içinde doğrudan etkileyen çevresel faktörler;

- Mekanik deformasyonlar
- Aşınma
- Isısal etkenler
- Su ve nem etkileri
- Akustik sorunlar
- Güneş ışınları
- Atmosferik etkiler

bu etkileşimler, stabil veya dinamik ortam şartlarında zamana bağlı, ayrı ayrı fiziksel, kimyasal ve mekanik değişimler açısından incelenmelidir.

Günümüzde, yapılacak uygulamaya en uygun bir yalıtım malzemesini belirleyebilmek bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik parametrelerin o malzemede olup olmadığına bağlı olacaktır. Bu parametreler [65];

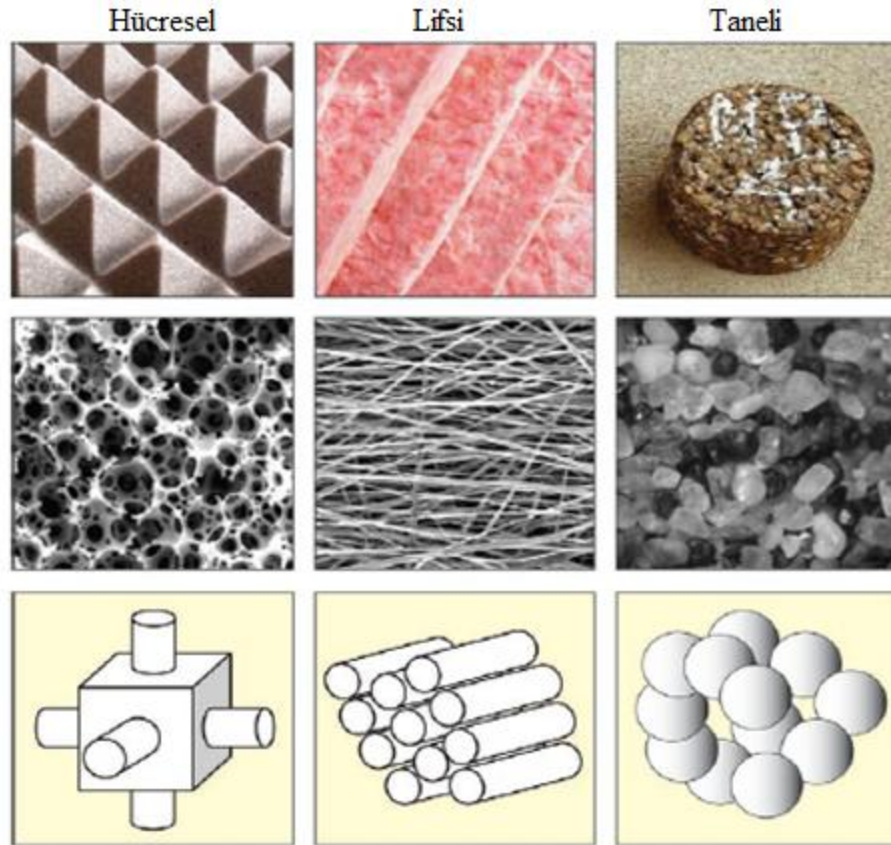
- Isı iletkenliği
- Isı depolama kapasitesi
- Nem alma kapasitesi
- Nem iletme özelliği (Kapiler iletim özelliği)
- Nem desorpsiyonu (yeniden kuruma özelliği)
- Ses emme ve yutma ve akustik özellikleri
- Nem etkisi altında dayanım özelliği
- Değişken ısı ve nem koşullarında şekil ve hacim değiştirme eğilimi
- Yüksek ve düşük ısılara dayanım miktarları, yanmaya karşı direnci
- Sertlik, ısı ve nemle değişim özelliği
- Kohezyon direnci
- Korozyon direnci
- Yapısını fiziksel ve mekanik olarak koruyabilme özelliği
- Malzemenin kimyasal ve fiziksel yapısı (kimyasal içerik ve lif yapısı)
- Atmosferik şartlardaki değişime dayanım özelliği
- Yapı ile dekoratif uygunluk

Isı yalıtım malzemelerinin ısı akışı direnci, malzeme bünyesindeki sayısız kapalı mikroskobik hava hücrelerinin (hava hareketini engelleyerek) ısı taşınımını bastırması sonucu ortaya çıkar. Bu ısı direncini sağlayan, yalıtım malzemesi değil malzeme içinde hapsedilmiş havadır. Kapalı küçük hücre yapıları içindeki hava yapı içindeki ısıyı yayılmasının etkisini azaltır.

Mikro gözenekli bu yapı, ısıtım yollarının kısa mesafelere bölünmesine yol açar ki; bu da uzun dalga kızılötesi ısıtımların emilmesine veya dağılmasına neden olur. Ancak hücre boyutunun küçülmesi malzemenin yoğunluğunu ve iletimin artmasına neden olur.

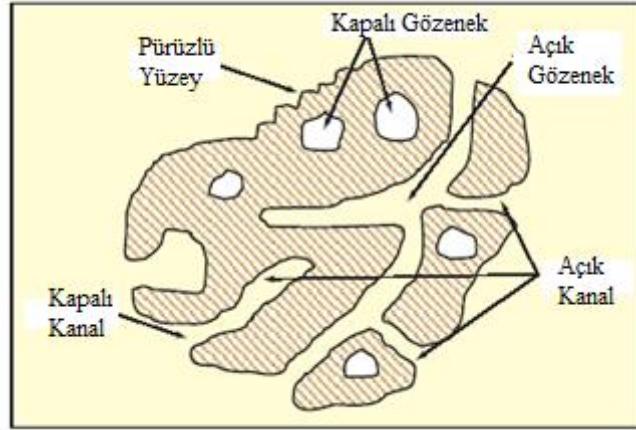
Yalıtım amaçlı kullanılan her malzeme genelde yapıldıkları hammadde aynı olmasına rağmen hem ısı yalıtımında hem de ses yalıtımında aynı performansı veremeyebilir. İstenen yalıtım amacına göre malzeme seçmek gereklidir. Bu amaçla üretilen yalıtım malzemelerinin en belirgin ortak özelliği yapısal gözenekli formlarıdır. Genelde ısı ve ses yalıtım malzemeleri hücresel, lifli, taneli veya bunların kombinasyonları şeklindedir (Şekil 3.1) [85]. Doğal ve yapay maddelerin büyük bir kısmı gözenekli yapıya sahiptir. Bir kova kum, kalker parçası, taş yünü, cam yünü, örme kumaş, bir küme pamuk, ekmek, gaz beton vs. gibi.

Moleküler kuvvetlerin etkili olduğu bu çok küçük boşluklara ‘moleküler boşluklar’, akışkan hareketinin boşluk iç yüzeyinden kısmen etkilendiği büyük boşluklara da ‘mağara’ denir. Bu iki büyüklük arasında kalan boyuttaki boşluklar ise genel olarak, ‘gözenekler’ olarak tanımlanır.



Şekil 3.1 : Gözenekli yalıtım malzemelerinin üç temel yapısı [85].

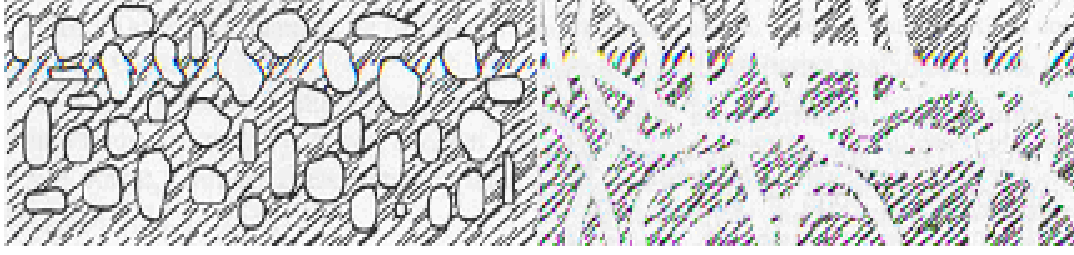
Yalıtım malzemesinin gözenek yapısı, malzemenin yalıtım amacına göre uygulama performansını etkiler. Açık gözenekli ve hava boşlukları, kanalları bol olan bir malzemeden iyi bir ısı yalıtımı beklenebilir. Buna karşılık açık kanallara sahip malzemede ses yalıtımı verimli olmayacaktır. Ayrıca kapalı gözenekli hücreye sahip malzemeler genelde iyi bir ses yalıtımı yapmazlar ama, akustik verim olarak iyidirler. Şekil.3.2 'de katı gözenekli bir yapının şematik yapısı görülmektedir [86].



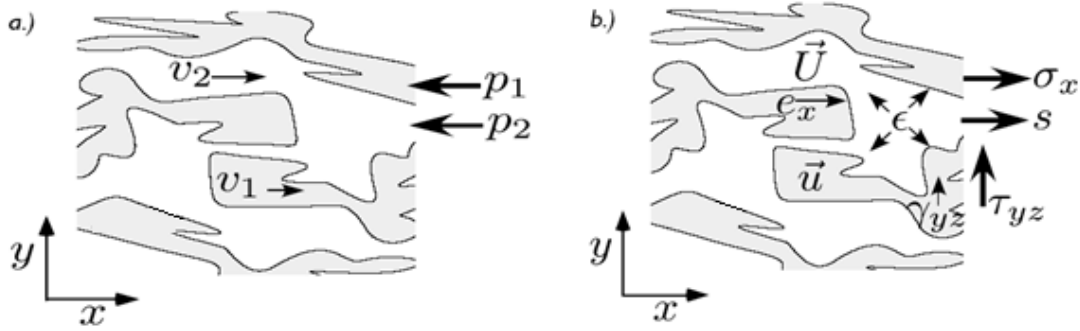
Şekil 3.2 : Gözenekli katı bir malzemenin kesiti [86].

Gözenekler birbirleri ile ya ilişkilidirler ya da ilişkili değildirler. Boşluklar ya düzenlidirler ya da dağınık olarak bünyede yer alırlar (Şekil 3.3). Taneli bir yapıda düzgün bir sıralanış görülmez. Taneler arası köprüleşme oluşarak yüksek gözenekli yapılar oluşur. Teorik olarak tane boyutu küçüldükçe gözeneklilik değeri artmaktadır. Tane büyüklüğünün çeşitli oluşu, büyük tanelerin meydana getirdiği gözeneklerin küçük tanelerle dolmasına ve gözenekliliğin azalmasına sebep olur. Gözenekli bir sistem, çok sayıdaki mikro ölçekteki rastgele değişkenler ve az sayıda da olsa saptanabilen makro ölçekteki büyüklüklerle incelenebilir. Gözenekli maddelerin makro özelliklerini, mikro yapıların istatistiksel özelliklerine bağlayarak açıklayan ve gözenekli ortamların temel fiziksel olaylarını anlamaya yardımcı olan birçok teori vardır [85-91].

Bir akışkan, gözenekli yapı içinden, ancak bazı gözeneklerin birbirleri ile ilişkili olmaları halinde geçiş sağlayabilir (Şekil 3.4a). Akışkanın boşluk içindeki davranışında katı ve akışkan molekülleri arasındaki moleküler kuvvetler rol oynar (Şekil 3.4b) [87]. Ses dalgalarının gözenekli malzemelerde davranış özelliklerini Biot' da teorik olarak izah etmiştir. Teori, akışkanın gözenekler içindeki hareketini, gözenek çeperi ve duvarları ile etkileşimini izah eder [88].



Şekil 3.3 : Gözenekli yapı (Cox ve Antonio, 2004) [91].



Şekil 3.4 : a) Zwikker ve Kosten'e göre, b) Biot'a göre gözenekli bir yapıda akışkanın davranışı ve etkin kuvvetler [87,88].

Gözenekler içinde bulunan durgun havanın ısı iletkenlik değeri az olmaktadır. Gözenek arttıkça malzemenin birim hacim ağırlık değeri de azalmaktadır. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri olan bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği, düzensiz dağılmış büyük gözenekli bir malzemeye göre daha azdır [90,92]. Gözenekli malzemeler, genelde gürültü kontrolü ve akustik düzenleme uygulamalarında kullanılırlar. Bu malzemelerin fiyatları uygun, uygulamaları kolaydır, ayrıca orta ve yüksek frekans aralığında mükemmel ses yutum özelliği gösterirler. Bundan dolayı bu tür malzemelerin geniş bir uygulama sahası vardır. Elastik özellikleri, gözenek yapısı ve gözenek direncine bağlı olarak gözenekli malzemeler, ses yutumu, ses yalıtımı ve vibrasyon azaltıcı olarak geniş bir sahada kullanılırlar [93]. Bizim kullandığımız selülozik elyafı da lifli yapıdadır. Ancak malzemeye eklenen farklı mineral katkılarla yapı, kapalı gözenekli katı partikülleri de içermektedir (Şekil 3.5).

Test edilen numunelerin mineral içerikli olanları yukarıda tanımlanan üç temel yapıdan ikisinin özelliklerini taşımaktadır. Ayrıca selüloz elyafı sıkıştırılmış formda kullanılacaktır. Sıkışma, dışarıdan uygulanan bir basınçla malzemenin hacminde oluşacak azalmadır.



Şekil 3.5 : Mineral katkılı ve katkısız selülozik elyafın gözenekli yapısı.

Katılma ise ortama ilave edilen bağlayıcı madde etkisi ile yapıdaki elemanların birleşerek form oluşturmalarıdır. Doğal gözenekli veya gözenekli yapıyı oluşturan taneli ve lifli malzemelerin sıkışma ve katılma sonucu gözenekliliğinde önemli değişimler olur. Basınç altında gözenekli malzemeler, gözeneklilik değişikliği gösterir. Bunun nedeni, tanelerin veya matris elemanlarının ezilip şekil değiştirmeleridir. Gözenek boşluklarının bağlayıcı maddelerle dolması da malzemenin gözenekliliğinde azalmaya neden olur.

3.2.2 Katkı olarak kullanılan mineraller

3.2.2.1 Bor ve ürünlerinin kullanım alanları

Bor bileşiği olarak, ilk tanınan ve kullanılan bileşik olan Tinkal'in çok eski zamanlardan beri bazı medeniyetlerce kullanıldığı bilinmektedir. Sümerler ve Etiler tarafından metal yüzeylerindeki oksit tabakasını çözme işlemi nedeniyle altın gümüş işlemeciliğinde lehim elemanı olarak, Mezopotamya ve Mısır medeniyetlerinde antiseptik olarak, Çin'de seramik ve cam üretiminde, Arap doktorların ise ilaç olarak boraks kullandıklarına dair bilgiler bulunmaktadır.

Yıllar itibariyle kaydedilen teknolojik gelişmeler, çevre ve insan sağlığı konusunda yenilenen kurallar, bazı endüstriyel alanlardaki yapılan yeniden düzenlemeler, yönetmelikler ve üretim ekonomisi öncelikleri, bor ve kimyasallarının kullanım alanlarını da etkilemektedir.

Bor kimyasalları; normal kullanım koşullarında insanlar, hayvanlar ve çevre sağlığı açısından herhangi bir risk taşıyamaları, bazı kullanım alanlarında alternatiflerinin bulunmayışı, bir kısım kullanım alanlarında ise alternatiflerine göre daha avantajlı

olmaları nedeni ile geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Uygulama alanlarına göre dünya bor tüketiminin dağılımına bakıldığında, dünya bor tüketiminin % 20'si yalıtım tipi cam elyafı, %15'i tekstil tipi cam elyafı, %8'i borosilikat camı, %16'sı deterjan yapımında, %13'ü sır-emaye üretiminde, %5'i tarımda ve geri kalan %23'ü diğer sektörlerde tüketildiği görülür [94].

Bor ürünlerinin tüketim eğilimleri konusunda sık yayınlanan istatistikler bulunmadığından, bu konuda en detaylı binlin bulunabildiği ve 3-4 yılda bir yayınlanan Roskill raporları esas alınarak, rafine bor ürünlerinin 1999-2006 yılları arasında kullanım oranları Çizelge 3.1' de verilmiştir. Bölgesel tüketim açısından toplam, B₂O₃ bazında Batı Avrupa % 46 ile en büyük tüketici konumundadır. Kuzey Amerika % 25, Asya % 11 ve Latin Amerika % 10'unu teşkil eder. Bor ürünlerine en çok talebin olduğu ülke A.B.D.'dir. Bor madeni kaynaklarına sahip olmayan ancak büyük miktarlarda bor bileşikleri üretimini gerçekleştiren ve bor tüketimi olan Avrupa ülkeleri en büyük bor cevherleri ithalatçısıdır. Dünyanın en fazla bor cevherleri ithal eden ülkeleri; İtalya, Fransa, Almanya, Japonya, Belçika ve İskandinav ülkeleridir. Son dönemde özellikle cam ve cam elyafı sektöründe büyüyen Çin'de bu listeye girmiştir [94].

Çizelge 3.1 : Bor ürünlerinin kullanım alanları [100].

Kullanım alanı	Oran, %
İzolasyon cam elyafı	24
Tekstil cam elyafı	21
Borosilikat camlar	9
Toplam cam/cam elyafı	54
Seramik	19
Deterjan ev sabun	5
Tarım	7
Diğer (Alev geciktiriciler, Metalurji, enerji, mıknatıslar)	15

3.2.2.2 Bor ve insan sağlığı

1981 yılından bu yana hayvanlar ile yapılan birçok deney, bor eksikliğinin, beyin ve iskelet dahil çeşitli organ sistemlerinde, kompozisyon veya fonksiyonel etkisi olduğunu göstermiştir. Borun ayrıca kalsiyum, bakır, azot ve kolekalsiferol (cholecalciferol) gibi birçok diğer besinlerin metabolizması ile ilgili biyokimyasal endeksleri etkilediği gösterilmiştir [95-97]. Çalışmalar, borun, hem kalsiyum hem de magnezyum metabolizmasını olumlu etkilediğini, ayrıca enerji kullanımı ve

membran fonksiyonları için de gerekli olabileceğini göstermiştir [96,97]. Bor eksikliğinin belirtileri sıçan ve tavuk [96] üzerinde yapılan deneylerle ve insanlar üzerindeki etkisi de üç klinik çalışmada [96],[98,99] bildirilmiştir.

FAO / IAEA / WHO-(Expert Consultation on Trace Elements in Human Nutrition) İnsan Beslenmesinde İz Elementler Uzman Raporu [101] ortak raporunda borun insan beslenmesinde muhtemelen önemli olduğunu açıklanmıştır. Son kanıtlar ayrıca borun *Xenopus* kurbağaları [102] ve zebra balıkları [103] için erken hayat dönemi gelişiminde gerekli olduğunu ve bor eksikliğinin yetişkin zebra balıklarında retina içinde koni fotoreseptör distrofiye (dystrophy) neden olduğunu göstermektedir [104]. Borik asit ilk kez 1948 yılında A.B.D.'de böcek ilacı olarak tescil ettirilmiştir. Hamamböceği, ateş karıncaları, termitler, bit ve kağıt böceklerinin zararını önlemek için kullanılmıştır [105]. Borik asit bu böcekler üzerinde metabolizma bozucu veya kabuklarında aşınmaya neden olarak etki etmektedir [106].

İnsanlar tarafından diyet bor alımı ile ilgili veriler oldukça azdır [107], görünürde sağlıklı bireyler için bor alımına dair güncel veri sağlamak amacı ile çalışmalar yapmıştır. Bor, ABD Tarım Bakanlığı (USDA) besin veri tabanlarına dahil değildir [108,109] ve bor içerikli özel gıdalara ait kapsamlı bir analitik veritabanı yoktur.

Ortalama bor alımı sınırlı sayıdaki yiyecek ve nüfus kesimlerinde tahminen, yetişkinler için 1-2 mg/d (mg/day) [101], arasında değişen değerler olarak özetlenebilir. Yapılan çalışma [98], ABD'deki bor alımının önceki tahmin edilen değerlerden CSFII (1989-1991) daha düşük olduğunu göstermiştir. Rainey ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; 4-8, 14-18, 19-30, 51-70 (Kadın, Erkek) yaş grupları için ortalama bor alımını gelişme persentiline bağlı olarak erkekler için sırasıyla 0.43, 1.02, 1.17 , 2.42 mg / gün ve kadınlar için ise; 0.33, 0.83, 0.96 ve 0.94 mg / gün olarak tesbit etmiştir [110]. Bor iyi bir antiseptiktir. İnsanlar için sofraya tuzundan 6 kat daha fazla güvenli olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür [105].

3.2.2.3 Bor ve çevre sağlığı

Bor ve bor ürünlerinin çevreye olumsuz etkileri diğer sanayi sektörlerine oranla çok düşük hatta yok denecek düzeydedir. Nötron absorpsiyonu özelliğinden dolayı, kemoterapi sonrası radyoaktif maddelerin etkisini azaltmak üzere kullanımı, insan ve canlılara gerekliliği nedeniyle çevre dostu sayılabilecek bir üründür. Son zamanlarda mineral takviyesi amacıyla insanlar için bor tabletleri üretilmeye başlanmıştır. Bor,

insanlarda beyin gelişiminden kemik gelişimine, menapozdan alerjiye ve metabolizmadaki birçok işlevinden dolayı günlük olarak alınması gereken bir elementtir. İnsanlar günlük bor ihtiyacını sulardan ve yiyeceklerden karşılamaktadır. İnsanların günlük alabileceği bor miktarı 1.2 mg/gün olarak tahmin edilmektedir, Borların insan ve hayvanlarda kanserojen etkisi yoktur [111]. Yapılan araştırmalarda borun insan sağlığına olumsuz etkisi kesin olarak tespit edilememiştir. Aksine bitki ve hayvanlarda bor eksikliği bazı sorunlara yol açmaktadır. Tarımdaki kullanımı da çevre dostu olduğunun bir göstergesidir [105]. Hayvanlar için borik asitin öldürücü dozu türlere göre kilogram başına 1,2 - 3,45 gr arasında değişkenlik göstermektedir. Hayvanların içtikleri suda borik asit 2500 mg/L'yi geçerse büyümeyi engellediği için zararlı olmaktadır. Deniz suyunda ise ortalama 4-6 ppm'e kadar olan bor miktarının deniz hayvanlarını olumsuz etkilemediği saptanmıştır. Tarımdaki kullanımı da çevre dostu olduğunun bir göstergesidir [112]. Boraks ve borik asit güçlü bir antiseptiktir. Rusya'da boraks ve borik asit içeren selülozik yalıtım malzemesi ile tüm boşlukları doldurulmuş bir binada yapılan bir çalışmada bina içine haşerat ve farelerin girmediği ve yuvalanmadığı tespit edilmiştir. Bor ve ürünlerinin haşeratı uzaklaştırmada fare zehirinden daha etkili olduğu görülmüştür [113].

Breum, Jorgensen ve Schneider, işçiler üzerinde yapılan bir çalışmada selülozik mineral yün, fiberglas ve perlite karşı sağlık etkileri araştırılmıştır. Çalışmada toz ve fiberlere karşı kişisel emilimler ölçülmüştür. Toz içerisindeki endotoksin miktarı ve bazı eser elementler (bor ve alüminyum) analiz edilmiştir. Borun alev geciktirici ve küf önleyici katkılarının yanı sıra her hangi bir sağlık zararı olmadığı ölçümlerle gözlenmiştir [114].

Bitkiler için temel bir ihtiyaç olduğu ilk defa 1923 yılında gündeme gelen bor'un mikro besleyici olarak etkileri konusundaki çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda, dünyada 80'in üzerinde ülkede toprakta bor eksikliği saptanmıştır. Dünya toplam ekilebilir alanlarının % 31'i, bor eksikliği olan topraklar olarak kabul edilmektedir. Bu topraklar genellikle fazla yağış alan ve kumlu topraklardır. Bor eksikliğin en yoğun olarak saptandığı topraklar; Doğu ve Güney Asya, Kuzey Avrupa, İskandinavya ve Baltık ülkeleri, ABD'de Doğu bölgesi ağırlıklı olmak üzere yaklaşık 40 eyalet, Kuzeybatı Kanada, Brezilya, Şili, Orta ve Batı Afrika ülkeleridir. Toplam ekilebilir alanın % 34'ünde bor eksikliği olduğu tahmin edilen Çin ise bu açıdan ilk sırada yer almaktadır [112].

Bor eksikliğinin giderilmesi amacı ile, toprak özellikleri, iklim ve yağış durumu ve bitki türüne bağlı olarak çeşitli bor ürünleri kullanılmaktadır. Borun tarımdaki etkisi çift yönlüdür. Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini artırmak veya önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bor, değişken ölçülerde pek çok bitkinin besin maddesidir. Bor eksikliği görülen bitkiler arasında şeker pancarı, kaba yoncalar, meyve ağaçları, üzüm, zeytin, kahve, tütün ve pamuk sayılabilir. Bu gibi hallerde susuz boraks ve boraks pentahidrat içeren karışım gübreler kullanılmaktadır. Bor'un bitkiler için temel mikro besleyici olarak kabul edilmesinin yanı sıra, tarımda haşere ilaçları kullanımında da alternatiflerine oranla gerek daha etkili olmaları, gerekse daha az risk içermeleri nedeni ile tercih edilmektedir. Bor sodyum klorat ve bromosol gibi bor ürünleri ile yabancı otlarla mücadele ve toprak sterilizasyonu yapılmaktadır [115].

3.2.2.4 Yalıtım uygulamasında bor ürünlerinin kullanımı

Dünyadaki bor rezervlerinin %72'si ülkemizdedir. Ancak bor kimyasallarının ülke içersinde sektörel kullanımı oldukça düşüktür. Bor kimyasallarının, bizde bilinmemekle birlikte, yaygın kullanıldığı sektörlerden biriside yalıtım sektörüdür. Ülkemizde nüfus artışına paralel olarak bina sayısı da artmaktadır. Sağladığı konfor şartları dolayısıyla yalıtım ürünlerine de talep artarak devam etmektedir.

Selülozik esaslı mineral lifli yalıtım malzemelerinden dökme ve serpmeye olarak uygulanan tipinin üretiminde bor kimyasalları kullanılmaktadır. Alev geciktirici olarak en yaygın kullanılan çinko borat'dır. Ana üreticisi US Borax olan ürün $2ZnO.3B_2O_3.3,5H_2O$ olarak formüle edilmektedir. Bununla birlikte farklı bileşimler ve ticari isimler adı altında çeşitli çinko borat ürünü vardır. Çinko boratın alev geciktirici malzeme olarak alüminyum trihidrat ile birlikte kullanımı artarak yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks ve borik asit de alev geciktirici olarak kullanılmaktadır. Selülozik yalıtımda katkı maddesi olarak; Boraks (Sodyum-Borat Cevheri) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$); alev geciktirici ve yangın söndürücü özelliği ile, Borik Asit (H_3BO_3); yangın direncini arttırıcı ve haşere önleyici olarak, Çinko borat ($2ZnO.3B_2O_3.3,5H_2O$) ise, alev geciktirici, duman bastırıcı, korozyon geciktirici özellikleri ile yapıda etkindir [116]. Bina hastalığı sendromu, ilk kez 1982 yılında, iç mekan hava kalitesinin bozulması ve buna bağlı gelişen solunum yolu enfeksiyonları, allejik rinit, göz sulanması,

başığrsı ve flu görüş gibi rahatsızlıkların kaynağı olarak tanımlandı [117-119]. Bunlara neden olarak iç mekan havasında zamanla yoğunlaşan SO₂, Nx, hidrokarbonlar, sigara dumanı, asbest tozu, radon ve formaldehit gibi, bazıları kanserojen olan kimyasallar gösterildi [120,121]. Bununla birlikte yapı elemanları üzerinde mantar oluşumu da bina hastalığı sendromunun etkenleri içinde sayılıyordu. Özellikle yüksek oranda selüloz içeren yalıtım malzemeleri, mantar kolonilerinin oluşumu ve mikotoksinlerin üremesi için ideal ortamlardı [122,123].

Farklı yer ve zamanlarda yapılan pek çok çalışmada araştırmacılar tavan ve duvar yalıtımında kullanılan selüloz elyafında, denenen mantarlardan Cladosporium, Penicillium ve Stachybotrys türlerinin üredikleri tespit etmişlerdir [123-126]. Yukarıda belirtildiği gibi, selülozik malzemelerin böcek ve mantarlar etkisi ile bozulması yanısıra, rutubete bağılı olarak form değışikliği, yanıcılık ve deforme olma gibi dezavantajları da vardır. Bu özellikler kullanım yerini ve ömrünü sınırlamaktadır. Bu nedenle; selülozik malzeme koruyucu kimyasal maddeler ile birlikte kullanılarak bu sakıncalar ortadan kaldırılmalıdır. Borlu bileşikler, biyolojik zararlılara karşı yüksek etkinlikleri, suyla çözünerek kolayca uygulanabilmeleri, malzemeye difüzyon yetenekleri, renksiz olmaları, metallere karşı paslandırıcı etkisinin olmaması, ucuz ve kolay temin edilebilmeleri, çevre dostu olması, memelilere karşı ihmal edilebilecek derecede düşük zehirlilik ve yanmaya karşı malzemenin direncini önemli ölçüde artırmaları nedeni ile güncellik kazanmışlardır [127,128].

Boratlar ile yapısı desteklense de geri dönüşümlü gazete kağıdından elde edilen selülozik yalıtım [129] zamanla, yapı malzemeleri sektörünün, çevrecilerin ve endüstriyel biyologların, selülozun bünyesinde mantar oluşumu endişesi ile [130-132] dikkatini çekmiştir. Selülozik yalıtım, onlarca yıl, bu endişelerle uygulanmış, bazı araştırmacılar ise [133] ürünün atık kağıt bazlı olmasından dolayı mantar üremesine maruz kalabileceğini belirtmişlerdir. Mantar ve mantar ile ilgili sağıık sorunları hakkında inşaat sektöründen ve çevreciler tarafından yapılan "kapalı ortamlarda mantar gelişimi" için yapılan çeşitli itirazlar olmaktadır. Herrera ve ark. (2007) , yaptıkları bir çalışmada, yüksek konsantrasyonlu altı farklı mantar sporunun, sodyum (CAS # 183290-63-3) polyborate içeren selülozik yalıtım malzemesinde antifungal özelliklerini uzun vadeli değıerlendirmeye tabi tutmuş ve sodyum

polyboratın mantar oluşumunu engelleyecek etken madde olduğunu belirtmiştir [134].

Korozif bir yalıtım malzemesi, çelik bir yapıda yapısal bozulma ve binanın çökmesine neden olabilir. Bazı alev geciktirici kimyasal katkıları bakır ve alüminyum kablo üzerinde korozyona neden olarak elektrik tesisatında aşırı ısınma ve kısa devre oluşturabilir. Boraks, selülozik malzemeye genellikle borik asit ve diğer kimyasalların pH'ını ayarlamak böylece yalıtım malzemesi ile temas eden metallerin korozyonunu en aza indirmek için eklenir. Boraks, nemli ortamda demirli metaller için iyi bilinen bir korozyon engelleyicidir [135].

3.2.2.5 Borik asit

Ülkemizde üretimi yapılan ve genel olarak en fazla kullanılan bor ürünleri borik asit, susuz borik asit, çinko borat ve sodyum perborat'dır. Borik asit $B(OH)_3$ ya da H_3BO_3 sayısız sanayi dalında kullanılan bir bor ürünüdür. Tekstil, kozmetik, cam, seramik sanayi başta olmak üzere dünyada yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde borik asit Eti Bor AŞ. tarafından Kolemanit'ten elde edilmektedir. Daha önceleri Tinkal mineralinden elde edilmekte iken ekonomik olmadığı için vazgeçilmiştir [136].

Bor ürünleri, ergiyerek yanan yüzeyi kaplamak sureti ile alev geciktirici ve duman bastırıcı etki oluşturmaktadır. Suda çözünen bor ürünleri; boraks ve borik asit, uzun yıllardan beri selülozik izolasyon malzemesi üretiminde, çinko borat ise PVC uygulamalarında kullanılmaktadır. Bor, inşaat sektöründe yanmayı geciktirici özellikli yalıtım ve ahşap malzeme üretiminde de kullanılmaktadır.

İyi ısı direnç özellikleri, üretim ve uygulama kolaylığı, az enerji gerektirmesi bir yalıtım malzemesi olarak selüloz elyafını diğer yalıtım malzemeleri ile maliyet/performans esasına dayalı bir mukayesede tercih edilebilir kılmaktadır. Ancak selülozik yalıtım malzemesinin yanma geciktiricilik özelliğinin artırılması için kimyasal maddelerle desteklenmesi gerekmektedir. Boratlar, selülozik yalıtım ürünlerinde yangın geciktirici olarak yıllardır kullanılmaktadır. Borik asit ve boraks selülozik yalıtımda son yıllarda kullanımı artış gösteren iyi bir alev ve yanma geciktiricidir [137,138]. Korozif bir yalıtım malzemesi, çelik bir yapıda yapısal bozulma ve binanın çökmesine neden olabilir. Herhangi bir yangın geciktirici katkı maddesi içermeyen selülozik yalıtım malzemesi düşük karbon çeliğinde genel yüzey

korozyonuna neden olurken %25 borik asit içeren selülozik malzemede bu korozif etki görülmemektedir. Boraks, selülozik malzemeye genellikle borik asit ve diğer kimyasalların pH'ını ayarlamak böylece yalıtım malzemesi ile temas eden metallerin korozyonunu en aza indirmek için eklenir. Boraks, nemli ortamda demirli metaller için iyi bilinen bir korozyon engelleyicidir [139].

Ateşe dayanıklı madde olarak selülozik yalıtım maddelerinin kullanımı, borik asit talebinin artmasına yol açmıştır. A.B.D.'de uzun zamandır kullanılmakla birlikte, dünya üzerinde son yıllarda çok fazla yaygınlaşmaya başlamıştır. Alev geciktirici ürünler olarak dünya toplam bor tüketimi B_2O_3 bazında 25,000 ton seviyesine ulaşmış olup bu miktarın yaklaşık 15,000 ton kadarı ABD'de tüketilmektedir. Bu tüketim içindeki büyük payı yaklaşık 12,000 ton ile selülozik izolasyon malzemeleri almaktadır [140].

Alev geciktirici uygulamalarda bor ürünlerinin bir başka etkisi ise bu amaçla kullanılmakta olan diğer kimyasallar ile birlikte yarattıkları sinerjidir [141]. Bu nedenle, çinko borat alüminyum trihidrat ile, amonyum floroborat antimontrioksit ile birlikte kullanılmaktadır. Alev geciktirici olarak kullanılan bor bileşiklerinin başında çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum floroborat gelmektedir [142]. Suda çözünen bor ürünleri; boraks ve borik asit, uzun yıllardan beridir selülozik yalıtım malzemesi üretiminde, çinko borat ise PVC uygulamalarında kullanılmaktadır. Bor bileşikleri plastiklerde de yanmayı önleyici olarak giderek artan oranlarda kullanılmaktadır.

3.2.2.6 Perlit

Perlit, doğal haliyle gümüş grisi, koyu gri veya siyah renklidir (Şekil 2.6). Bazı perlit tipleri kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edildiğinden; perlit ismi inci anlamına gelen “Perle” kelimesinden türetilmiştir. Bünyesinde %2-6 oranında bağlı su bulunduran perlit , %71-75 SiO_2 , %12,5 - 18 Al_2O_3 , % 4-5 potasyum dioksit (K_2O), %1-4 sodyum ve kalsiyum oksit (Na_2O , CaO) ve çok az metal oksit (Fe_2O_3 , MgO) bileşikleri içeren asidik özellikli, silisli volkanik bir kayadır [143]. Fibrik yapıda değildir. Nitrat sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısı ile kimyasal olarak oldukça saftır.

Boyutu küçültülmüş perlit kayacı, genleştirme işlemi için önce 430 °C de ön ısıtmaya tabi tutulur, ardından fırında (760-1200 °C)'de ani ısıtılarak bünyesindeki suyun uzaklaştırılması ile hacmi 4-20 kat artırılarak genleştirilir [144-146]. Isıl işlem uygulanarak elde edilen gözenekli ve düşük yoğunluktaki genleşmiş perlit, yoğunluğu ve ısı iletim katsayısı düştüğü için yalıtım malzemesi olarak kullanıma uygundur. Gevşek yoğunluğu 32-400 kg/m³ olan perlite ekonomik ürün niteliği kazandıran teknik özellik, ısıl işlem sonrası elde edilen genleşmiş, gözenekli yapısıdır. İnşaat malzemesi olarak kullanılmak üzere üretimi, ilk olarak ABD'de 1946 yılında başlamış kısa sürede hafifliği, yangına dayanıklılık, uzun süre stabil olma ve uygulama kolaylığı ile ısı ve ses yalıtım özelliklerinden dolayı aranan bir malzeme olmuştur [147]. Perlit, gözenekli bünyesinde fazla durgun hava bulundurması ile iyi bir ısı yalıtımı yapması yanında, yüksek frekanslı darbeli sesleri de etkisiz hale getirir. Üretimi sırasında kimyasal değil de, fiziksel işlem gördüğü için, çevre ile ilgili sorunlar oluşturmamaktadır [143].



Şekil 3.6 : Doğal ve genleştirilmiş perlit.

Genleşmiş perlit; başlıca inşaat, filtre, yalıtım, tekstil yıkama, dolgu malzemesi, döküm, petrol endüstrileri ile tarım sektörü, deniz kirliliğinin önlenmesi çalışmaları ve temizleyici olarak kullanılır. Genleştirilmiş perlit çeşitli uygulama alanlarında istenen şu özelliklere sahiptir:

1. Gözeneklilik
2. Hafiflik
3. Isı ve ses yalıtıcılık (Yutuculuk)
4. Kimyasal pasiflik
5. Yanmazlık

Gözeneklilik, perlit taneciklerinde boşluk hacminin toplam tanecik hacmine oranının ortalaması olarak tanımlanır. Gözeneklilik perlite emicilik (absorptif) ve yüzeyde soğurma (adsorptif) özellikleri kazandırmakta ve bu nedenle bu özelliklerin gerekli olduğu uygulama alanlarında önem taşımaktadır. Isı yalıtıcılığı aranan durumlarda su emicilik istenmemektedir. Bunun nedeni, gözeneklere dolan suyun ısı iletkenliğini artırması olmaktadır. Bu durumda silikon ile gözenekler pasifleştirilip perlit "hidrofobize" edilmektedir.

Hafiflik, gözenekli bir yapıya sahip olmanın sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Tane büyüklüğü dağılımına ve genişleme oranına bağlı olarak genişleştirilmiş perlitin birim hacim ağırlıkları oldukça farklı değerlerde olabilmektedir. Hafiflik özellikle prefabrik yapı malzemesi üretiminde ve çeşitli dolgu maddeleri kullanımında perlit uygulamasını özendirici önemli bir nitelik olarak belirlemektedir. Tüketilen perlitin %71'i inşaat ve yalıtım ürünlerinde, %10'u tarım agregası % 9'u filtre yardımcı malzemesi, %7'si dolgu malzemesi, %3'ü diğer alanlarda kullanılmaktadır [147,148].

Isı ve ses yalıtıcılık özelliği de, hafiflik gibi gözenekli bir yapının sonucu olarak beliren bir özelliktir. Kuru perlit dolgusunun 24 °C'daki ısı iletkenlik hesap değeri, kuru birim hacim ağırlığına bağlı olarak, 32 kg/m³ birim hacim ağırlığında 0,04 W/mK 'dan 180 kg/m³ birim hacim ağırlığında 0,055 W/m K değeri arasında değişiklik göstermektedir. Aynı sıcaklıkta cam yününün 0,037 W/m K ısı iletim katsayısına sahip olduğunu söylemek perlitin yalıtıcılıktaki mükemmelliğini belirlemeye yardımcı olacaktır. Yapılan testlerde, perlit dolgulu duvarların EPS ile kaplı olanlardan %12, vermikülit dolgulu olanlardan ise % 6 daha verimli olduğu tespit edilmiştir [149]. Ses emicilik ve ses yalıtıcılık konusunda da perlit ve perlit ürünlerinin önemli özendiricilikleri vardır. 5 cm kalınlığındaki bir perlit gevşek dolgusu 13 dB düzeyinde ses yalıtımı sağlar. Bu değer aynı kalınlıktaki cam yünü için 12 dB, strafor için 13 dB'dir [145].

Perlit kararlı kimyasal yapısı nedeniyle, kimyasal reaksiyonlara girmeyen ve suda çözünmeyen bir maddedir. (Perlit yalnız derişik hidroklorik asitte çözünmektedir). Yanmazlık özelliği yanında, yüksek ısılarda uzun süre bozulmadan dayanabilme ve ısı yalıtıcılık özellikleri bulunduğundan, yangından zarar görmesi istenmeyen önemli yapı elemanlarının korunmasında kullanılır. Uygun detayda düzenlenen koruyucu

perlit katmanları 700°C - 900°C arasındaki yangın sıcaklığında 4 saate kadar, taşıyıcı çelik elemanları koruyabilmektedir.

3.2.2.7 Vermikülit

Mineralojik olarak tek başına farklı bir grubu temsil eden vermikülit, endüstriyel olarak genleşme özelliğine sahip tüm mika grubu minerallerini de (flogopit, biotit ve hidrobiotit) kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Vermikülit, monoklinik sistemde kristallenir, dilinimi muntazamdır. Yeşil, sarımsı kahve ve hatta siyah renkte olabilir. Sertliği Mohs ölçeğine göre 1.2 ile 2.0 arasında değişir, özgül ağırlığı 2.5'dir. Erime noktası 1320-1350 °C arasındadır. Kimyasal kompozisyonu şu değerler arasında değişiklik gösterir; % 37-42 SiO₂, %10-13 Al₂O₃, %5-17 Fe₂O₃, %1-3 FeO, %14-23 MgO, %8-18 H₂O ve %5'e kadar da K₂O [150,154].

Vermikülit yüksek sıcaklıklarda aniden ısı-şokuna tabi tutulduğunda C eksenini boyunca akordiyon gibi uzamakta küçük kurtçuklara benzer şekiller almaktadır. Vermikülit terimi, bu şekilsel benzerlik nedeni ile Latince Vermiculare sözcüğünden türetilmiştir. Genleşme oranları oldukça düşük olan (~2 kat) cevher ekonomik değere ulaşamamaktadır. Karakteristik genleşmenin yapıda bulunan kristal suyunun ani olarak buharlaşması sonucu oluşan buhar basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genleşme sonucunda malzemenin yığın yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak, 0.8 g/cm³ 'den 0.08 g/cm³'e düşmektedir. Isıl işlem sonucunda vermikülitin kalitesine ve işlem şartlarına bağlı olmakla birlikte yaklaşık 30 katlık bir genleşme sağlanabilmektedir. Genleşen vermikülitin % 90'ı havadır [144,151]. Ülkemizdeki verikülitlerin, yapılan testlerde genleşme oranının 13 ile 18 kat arasında olduğu ve elde edilen malzemenin yığın yoğunluğuna göre yapılan sınıflamaya göre 2. sınıf malzeme kalitesinde olduğu belirlenmiştir [145] .

Vermikülitin satışa sunulmasından önceki son aşama geliştirilmesidir. Maksimum genleştirmeyi elde etmek açısından fırın sıcaklığı ve alı konma süresi çok önemlidir. Genelde fırın sıcaklığı 1000°C ile 1800°C arasında, alı konma süresi ise 4 ile 8 saniye olacak şekilde ayarlanmaktadır. Genel olarak, dikey içi tuğla kaplı ve alttan ateş beslemeli fırın tipi kullanılmaktadır. Malzeme beslemesi yukarıdan yapılmakta, malzeme fırın içindeki plakalardan düşerken alevle karşılaşarak bu şok ısı neticesinde genleşmektedir. Genleşen taneler ve tozlar bir fan vasıtası ile emilerek siklonda birbirlerinden ayrılmaktadır [152].

Genleşmiş malzeme en yaygın olarak ısı ve ses yalıtımı amaçlı malzeme olarak ve zirai uygulamalarda kullanılmaktadır. Tane boyuna göre kullanım alanları da şöyle sıralanabilir [146] ;

- a. 12.5 - 0.74 mm : Konutlarda izolasyon malzemesi, akustik sıvalar, tavan kubbe kaplamaları, boru kaplamaları, yalıtım amaçlı çimentolar.
- b. 0.74 - 0.37 mm : Buzdolabı, otomobil ve uçaklarda izolasyon malzemesi, yangın söndürücüler, fitreler, soğutucu depolar.
- c. 0.37 - 0.12 mm : Yer ve çatı kaplamaları,
- d. 0.12 - 0.074 mm : Motor yağları, plastik ürünler.
- e. 0.074 - 0.054 mm : Duvar kağıtları, dış cephe boyaları

Türkiye'de vermikülit üretimi ve tüketimi yok denecek kadar azdır. Tüketilen miktarın tümü tarımsal amaçla kullanılmak üzere ithal edilmektedir.

3.2.2.8 Pomza

Pomza, ülkemiz endüstrisinde son 25 yılda efektif olarak kullanılan volkanik kökenli bir kayadır. Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Farklı dillerde değişik adlandırmaları vardır. Örneğin Fransızca'da Ponce, İngilizce'de (iri tanelisine) Pumice, (ince tanelisine) Pumicite , Almanca'da (iri tanelisine) Bims, (ince tanelisine) Bimstein denilmektedir. Dilimizde ise süngertaşı, köpüktaşı, nasırtaşı, hışırtaşı, küvek, kisir gibi pek çok adla anılmaktadır. Sertliği mohs skalasına göre 5-6'dır. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir [153,155]. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı kayaca abraziflik özelliği kazandırmaktadır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayiinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir. Özgül ağırlığı $1-2 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir [144].

3.2.2.9 Diatomit

Diyatomit, Kizelgur ve Tripoli isimleriyle de bilinen su yosunları sınıfından mikroskobik alglerin çökmesi sonucu oluşmuş $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ bileşiminde, hafif ve kolay ufalanabilen endüstriyel bir kayadır [156]. Geniş bir endüstriyel kullanım

alanı olan diyatomit, %90'a kadar çıkabilen yüksek gözenekliliğe ve kurutulduğunda 400 kg/m³'lük düşük özgül ağırlığa sahiptir. Bu özellikleriyle diyatomit filtrasyon işlemlerinde, dolgu malzemesi ve izolasyon alanında kullanılmaktadır [156,158]. Gözenekli yapısı, geniş süzme yüzeyi sağlaması, yağ ve bazı mikroorganizmaları absorbe etmesi filtrasyon hızını ve randımanını artırmaktadır. (Bentli, 2009) diyatomitin özellikleri ve kullanım alanlarıyla ilgili kapsamlı bir literatür çalışması gerçekleştirmiştir [158].

3.3 Isı Yalıtımı ve Malzemeleri

3.3.1 Isı yalıtımı

Yapı sektöründeki zorlamalar ve ekonomik şartlar yapı elemanlarının hem az yer kaplayan, hem de ısı kayıp ve kazançlarının az olduğu tasarımların geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Yapı elemanlarının kalınlığını fazla artırmadan, binalarda ısıtma amaçlı enerji tüketiminin azaltılması hedeflendiğinden ısı yalıtım malzemeleri bu ihtiyaca karşılık verecek bir çözüm olarak geliştirildi. Bu yeni 'ısı yalıtım' malzemeleri; hem hafif, hem de ısı geçişine karşı gösterdikleri yüksek direnç nedeni ile yapıların vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Isı yalıtımının esas amacı; yapı bileşenlerini dış etkenlerden korumak, değişen mevsim koşullarında, kullanım amacına uygun sağlık ve en ekonomik konfor koşullarını oluşturmakla birlikte, yapı bileşenleri üzerinden geçen ısı enerji miktarını sınırlandırmaktır. İnşaat teknolojilerindeki gelişmeler ve betonarmenin taşıyıcı iskelet olarak kullanımı, duvarların incelmeye neden olmuştur. Buna bağlı olarak ısı, nem, ses ve yanma ile ilgili yapı fiziki sorunları gündeme gelmiştir. Binalardaki ısı kayıplarının (çok katlı binalarda) % 40'ı, (tek katlı bina) % 25'i duvarlar yoluyla olmaktadır. Binalardaki ısı kaybı Türkiye'nin toplam enerji talebinin % 14'üne karşılık gelmektedir [159].

Klasik eski mimarideki kalın duvarlarda ortaya çıkmayan bu sorunlar, yeni tip mimaride yapı malzemelerindeki çeşitlilik ve duvarların incelmeye sonucu daha iyi çözümler sunan yeni tip yalıtım malzemelerinin kullanımını gerektirmektedir [160]. Isı yalıtım malzemeleri ile ilgili birçok çalışma 20.yüzyılın ilk yarısında yapılmıştır. Bu nedenle, enerji korunumu teknolojisinde geçtiğimiz yüzyıla, ısı yalıtımı yüzyılı denilebilir. Yalıtım malzemelerinin pek çoğu 1950 yılından önce geliştirilmiş

olmasına rağmen, yoğun kullanım alanı bulmaları 80'li yıllardaki petrol krizinden sonra olmuştur. Petrol krizinden sonra yapılarda enerji verimliliğini artırmada ciddi yaptırımlar öngörülmüş, yapılarda ısı yalıtımı; ısı kayıplarını engellemek ve enerji verimliliğini artırmada kilit rol üstlenmiştir. Yalıtım, özellikle ısı yalıtımı konusu, mühendislik ve bilim adamlarının yanı sıra tasarımcılar, ürün geliştiriciler ve üreticilerin önemli bir ilgi alanı olmaya devam etmektedir.

İnsanların konforlu bir yaşam sürebilmeleri, 20–22 °C sıcaklık ve % 50 bağıl nem değerine sahip ortamlarda mümkün olabilir. Kış aylarında dış ortam ısısı 20 °C' nin oldukça altında seyreder. Yaz aylarında ise hava ısısı 20 °C'nin oldukça üstündedir. Isı termodinamiğin II. yasası gereği; yapılarda kışın ısı kayıpları, yazın da ısı kazançları oluşur. Bina içinde istenen konforun sağlanabilmesi için bu ısı alışverişinin dengelenmesi ve kontrolü gerekir.

Isıtma ve soğutma işlemlerinin ikisine birden maruz kalan bir yapı elemanı değişken bir ısı etkisi altındadır. Isı etkileri içten (ısıtıcılar ile) ya da dışarıdan (mevsimsel ısı değişimi, gece gündüz ısı farkı v.s.) gelebilir. Bu etkileşim genelde 24 saat süreli günlük bölümler halindedir. Bir yapıda, ısıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı düşürülmelidir. Bu fark ne kadar yüksek olursa konfor da o kadar düşük olacaktır. Konforlu bir mekan için bu farkın en fazla 3°C olması gerekir.

Çizelge 3.2'de iç ortam ile duvar iç yüzey sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farklarının konfora etkisi verilmiştir. Ülkemiz yaz ve kış ayları ile günlük sıcaklık değişimleri esas alınarak 4 ayrı iklim bölgesine ayrılmıştır (Çizelge 3.3). Yapılarda iç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak yapı kesitini oluşturan elemanların (duvar, taban, tavan) iç yüzey sıcaklıklarının belli değerlerde olması gerekmektedir.

Çizelge 3.2 : Sıcaklık farkı ve konfor ilişkisi [161].

$T_i - T_{iy}$	Konfor durumu
2	Çok konforlu
3	Konforlu
4	Az konforlu
6	Konforsuz
8,5	Soğuk
> 8,5	Çok soğuk

Çizelge 3.3 : Isı Bölgeleri Marjinal Dış Sıcaklık Değerleri [162].

	YAZ ORTAMI	KIŞ ORTAMI
1. ISI BÖLGESİ	+ 28.0	+ 8.0
2. ISI BÖLGESİ	+ 24.4	+ 3.3
3. ISI BÖLGESİ	+ 21.1	+ 1.3
4. ISI BÖLGESİ	+ 17.2	- 5.2

Yapılan literatür çalışması göstermiştir ki; iç ortam sıcaklığının 18-22 °C, yapı elemanı sıcaklığının ise 16-18 °C’de olması ile, istenen ısı konforu sağlanabilmektedir. Ayrıca yaz ve kış iklim şartlarında her iki sıcaklık derecesinin 4 °C’lık bir farkla kabul edilmesi yeterli görülmektedir [162]. Yalıtım mevsimsel değişimlerde ısısal farklar oluşturmaz. Yalıtım, bina maliyetine ek bir yük olarak algılanabilir. Fakat enerji giderlerinin azalması ile kısa sürede bu açık kapanacaktır. Yalıtım maliyetinin geri dönmesi ortalama beş yıl kadardır [163].

Ülkemizde, enerjinin bilinçsiz kullanımının getireceği olumsuz etkileri minimum seviyede tutabilmek için, binalarda enerji kullanımı ile ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü TS825 No’lu standart uygulamalarda esas alınmaktadır. Ülkemizde çıkartılan ısı ve ses yalıtımı, yönetmeliklerine göre; 05 Aralık 2008 tarih 27075 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan ve 05 Aralık 2009’da yürürlüğe giren, ‘Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği’ ile yönetmelikte belirtilen bina ve yapılarda bu koşullara uyulması yasal bir zorunluluk olmuştur.

Ülkemizdeki binaların yaklaşık % 90–95’inde yalıtım bulunmamaktadır. Gelişmiş ülkelere göre, ülkemizde ısınma için aşırı bir yakıt tüketimi vardır. Ülkemizde birim hacim ısıtma için harcanan enerji % 100 daha fazladır. Bu aşırı yakıt tüketimi, ülkemizin coğrafi konumundan değil, ülkemizde ısı yalıtımına gereken önemin verilmeyişinden kaynaklanmaktadır. Toplam enerji tüketiminin % 41’i konut, % 33’lük kısmı ise sanayi alanında kullanıldığı göz önünde bulundurulursa öncelikli olarak bu alanlarda yatırımın yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Enerji tüketiminin en fazla olduğu bu iki alandan sağlanacak tasarruf kayda değer miktarları bulacaktır. 2006 yılında ısı yalıtımı pazarı önceki yıla göre % 22 büyüyerek genişlemiştir. 2006 yılında yapılmış olan ısı yalıtımı uygulamaları ile yaklaşık 550 milyon dolarlık tasarruf sağlanmıştır. Bu bilgiler ışığında yalıtım malzemelerine olan talep artarak devam edeceğinden yeni ürünlere ihtiyaç duyulacaktır [164].

3.3.2 Isı akışının temel kavramları

Evrendeki tüm olaylar, sahip oldukları enerjinin zamana bağlı olarak niteliğinin değiştiği yönde gelişmektedir. Dünyanın zamana bağlı olarak soğuması, masaya bırakılan bir fincan çayın ısı kaybetmesi veya ocak üzerine konan bir kabın içindeki suyun ısınması zamana bağlı değişimlerdir. Bu olgu; 1850'li yıllarda William RANKIN, Rudolf CLAUSIUS, Lord KELVİN tarafından yapılan araştırmalar sonucu teorik olarak açıklanmıştır [165].

Termodinamiğin II. (Fourier Kanunu) Yasasına göre, eğer iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa, ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama her iki tarafın sıcaklığı eşit olana kadar geçiş yapar, yayılır. Bu yayılma ve geçiş durdurulamaz fakat etki altına alınıp yalıtılabilir ve biriktirilebilir. Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortamın ve yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır. Isı akışını üç temel başlık altında incelemek mümkündür [166].

- İletim (Conduction)
- Taşınım (Convection)
- Işınım (Radiation)

3.3.2.1 İletim

Bir maddede, sürekli sıcaklık farklılıkları varsa, herhangi bir hareket gözlenmeden ısı akışı meydana gelir. Cismin farklı ısı bölgeleri arasındaki temas halinde bulunan noktalarında ısı bir parçacıktan diğerine (atom veya moleküler olarak) taşınır. Bu olay 'Isı iletimi' olarak tanımlanır. İletim moleküler boyuttadır ve mekanizması, her bir molekülün momentumunun sıcaklık farklılığı boyunca taşınmasına dayanır. Isı iletim elverişliliği, sabit bir değer olarak malzemenin bir özelliğini oluşturur. Enerji geçişi katı, sıvı ve gaz ortamında gerçekleşebilir. Katılarda enerji geçişi serbest elektron ve atomların titreşimi şeklinde olur. Katılar ve metaller (altın, gümüş, bakır...) en iyi iletkenlerdir. Sıvılar ve gazlar iyi bir ısı iletkeni değildir.

3.3.2.2 Taşınım

Isı taşınımı sıvı ve gaz ortamlarda meydana gelir. Vakum ortamında ısı taşınımı olmaz. Taşınım ısı geçişi akışkan özelliklerine, akış hızına ve sıcaklık farkına bağlıdır. Isı transferi proseslerinde, akışkanın hareketi bir pompa veya fan yardımıyla gerçekleştirilirse, bu zorlanmış taşınım (Forced convection) olarak adlandırılır. Eğer

akışkan hareketi yoğunluk farkı nedeniyle kütleli bir kuvvet etkisiyle gerçekleşirse, bu tür ısı taşınım olayına da doğal taşınım (Natural convection) denir.

3.3.2.3 Işınım

Isının ışıınım yolu ile yayılması, fiziksel bir ortam olmaksızın tıpkı radyo veya ışık dalgaları gibi elektromagnetik dalgalar halinde oluşur. Tüm cisimler, her fazda, yüksek sıcaklıklarda elektromagnetik dalgalar şeklinde enerjiyi hem yayar hem de yutarlar.

3.3.3 Isı yalıtım malzemeleri

Isı, farklı sıcaklıklara sahip ortamlarda daima sıcaktan soğuğa doğru geçerek bir denge oluşturma eğilimindedir. Bu geçiş, ortamdaki enerjinin niteliğini azaltan bir ısı transferidir. Yalıtım malzemeleri, söz konusu ısı geçişine, ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir direnç gösterirler. Bir başka ifadeyle, en genel anlamda ısı yalıtımı, ısı geçişini azaltan bir dirençtir. Bunu sağlayan malzemelere de ısı yalıtım malzemesi adı verilmektedir.

Isı yalıtımı sağlayan malzemelerin en önemli özelliği “ısı iletkenlik katsayısı” olup, genellikle “ λ ”sembolü ile gösterilmekte ve “kcal/m°C” veya “W/mK” biriminde ifade edilmektedir. Bu değer, ne kadar küçük ise o malzemenin ısı yalıtımına katkısı o derece yüksek olduğunun bir ifadesidir [167]. Türk Standartları TS 825 ve Alman DIN normu 4108 ‘e göre ısı iletim katsayısı (λ) 0,060 W /mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır, bu değerın üstünde kalanlara da “yapı malzemesi” denir [168].

Isı yalıtım malzemelerinin istenilen performansı karşılayabilmeleri için, boşluk oranı fazla, yoğunluğunun düşük, nem oranının az olması gerekir. Sadece ısı iletkenliği düşünülerek oluşturulan yalıtım malzemelerinin aynı zamanda ses ve yanma geciktiricilik işlevini de yerine getirebilmesi mümkün görünmemektedir. Binalarda yalıtım planı yaparken ısı, ses yalıtımı, hava geçirimsizliği, hijyen ve doğal uyumluluk, terleme, yangına karşı güvenlik gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte binanın estetik kaygılarını da karşılamalıdır.

Isı yalıtım malzemeleri genel başlıklar altında şöyle sınıflanabilir [169].

1. İnorganik malzemeler;

- . Lifli (Fibrous) malzemeler, (camyünü, taşıyünü, curuf yünü)

- . Hücresel (Cellular) malzemeler, (köpük kauçuk, polistren, polietilen, poliüretan, poliizosiyanurat, diğer polimerler)

2. Organik malzemeler;

- . Lifli (Fibrous) malzemeler, (atık kağıt elyafı, pamuk, ahşap, kamış, kenaf...)
- . Hücresel (Cellular) malzemeler, (mantar, seramik ürünler, genişletilmiş perlit, vermikülit ve killeri)

3. Metalik ve yansıtıcı (reflective membrane) malzemeler; (hava, gaz ile şişirilmiş veya havası boşaltılmış içi boş formlar)

Isı yalıtım malzemeleri farklı formlarda üretilmektedir.

1. Mineral şilte, plaka ve rulolar (camyünü, taşıyünü, curuf yünü)
2. Gevşek dolgu ürünleri, (camyünü, taşıyünü, curufyünü, selüloz, perlit, vermikülit, genişletilmiş killeri, hafif beton)
3. Sert plakalar, (polistren, poliüretan, poliizosiyanurat, camyünü)
4. Köpükler, (poliüretan, poliizosiyanurat)
5. Dolgu ve blok ürünler, (perlit, vermikülit, bims, pomza)
6. Yalıtımlı blok ve levhalar (bims, alçıpan, hafif beton)
7. Yansıtıcı ürünler, (alüminyum folyo, seramik kaplamalar)

Isı yalıtım malzemelerinin yapı üzerinde uygulamaları da şu şekilde sınıflanabilir;

1. Duvar, Çatı Uygulamaları:

Yalıtım malzemeleri dış duvar yüzeylerine, duvar elemanları arasına kaplama ve dolgu şeklinde, çatı altı ve tavan tabanına serilerek uygulanmaktadır. Genelde kullanılan malzemeler; cam yünü, taş yünü, ahşap yünü, selüloz elyafı, yumuşak poliüretan esaslı köpükler, melamin köpüğü, keçeler, delikli metaller, delikli ahşaplar, delikli alçı panolar, mantar levhalar, genişletilmiş mineraller (perlit, vermikülit) ve pomza taşıdır.

2. Döşeme Uygulamaları:

Kat aralarında veya zemin tabanında döşeme altına serilerek uygulanmaktadır. Genelde ses yalıtımı için uygulanır, ısıl geçirgenlik açısından da fayda sağlar. Polietilen, kauçuk köpüğü, EPS, XPS, tekstil atığından mamul malzemeler kullanılmaktadır.

3.Teknik Yalıtım:

Binaların ısıtma/soğutma ve havalandırma sistemlerinde uygulanmakta, genelde bu amaçla kullanılan malzemeler; camyünü, taş yünü, polietilen, poliüretan, kauçuk köpüğü, sayılabilir.

Yapılarda konfor, tasarruf, sağlık ve çevre için ısı, ses, su ve yangın yalıtımı yapılmaktadır. Bu yalıtımlar yapılırken XPS, EPS, membran, PVC, PS, PE, PP den üretilen petrol esaslı malzemelerin yanı sıra, cam yünü ve taş yünü gibi doğal malzemeler de tercih edilmektedir. Bor kimyasallarının yaygın kullanıldığı sektörlerden birisi de yalıtım sektörüdür. Ülkemizde nüfus artışına paralel olarak bina sayısındaki artış ve dolayısıyla yalıtım ürünlerine talep artarak devam etmektedir.

Isı yalıtım malzemelerinin başlıca ticari özellikleri;

1. Uygulama Kolaylığı; Diğer yapı malzemeleri ile uyumlu olmalı, uygulama kolaylığı sağlamalı, kolay temin edilebilmeli
2. Yoğunluk; Taşıyıcı sisteme fazladan yük bindirmemeli, hafif olmalı
3. Ekonomik olması; Montajı yerinde, maliyeti düşük olmalı
4. Ürün Gamı; Gerekli aksesuarları paket halinde sunulabilmeli
5. Teknik Veriler; Akustik ve ses kontrol özelliği de olmalı
6. Estetik olmalı; Farklı uygulamalara imkan tanımalı

Isı yalıtım malzemelerinin başlıca teknik özellikleri;

1. Isı İletim Katsayısı (R) ; malzeme enerji tasarrufu sağlamalı, ısı iletim katsayıları küçük olmalı
2. Su Buharı Difüzyon direnç Katsayısı; buhar difüzyon direnci yüksek olmalı
3. Yangın Sınıfı; Yangın güvenliğini sağlamalı, yanıcı olmamalı
4. Toksisite; Ekolojik olmalı, sağlıklı çevre şartını sağlamalı
5. Korozyon Riski; Uzun ömürlü olmalı, çürüme ve fermantasyona karşı dayanımlı olmalı
6. Hacimce Su Emme; Bakteri üretmemeli, nem tutmamalı, kokusuz olmalı

Bir yalıtım malzemesinde, yukarıda istenen şartların bütününe bir arada bulunması çok zordur. Bu nedenle, yalıtım malzemesi belirlenirken, yalıtılacak ortamın özelliklerine göre uygun ve maksimum ortak şartları sağlayan malzemenin seçilmesi gerekecektir [170].

3.3.4 Doğru yalıtım yöntemini belirlemek

Yaptırılacak uygun yalıtım, yakıt maliyetlerinin kontrolünde en önemli araçlardan biri olacaktır. Yalıtımda, bina ömrünü azaltan risklere girmeden, bakım masraflarını en aza indirerek daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilmek için doğru yöntemin seçilmesi en az doğru malzemeyi seçmek kadar önemlidir. Karar aşamasında, ödenen bedel ile elde edilecek toplam fayda tam karşılaştırılmadan, yapılacak yanlış yöntem tercihi ileride risk oluşturabilecek durumların ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilecektir.

Modern binalarda artan enerji gereksinimlerini azaltmak için yalıtım kalınlığının ve hava sızdırmazlığı konusunun iyileştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu eğilim ve ihtiyaç, uçucu sentetik organik bileşikler (VOCs) içeren yapı, mobilya, dekorasyon malzemelerinin yaygın kullanılmaya başlaması ile eş zamanlı olarak gelişmiştir. Artan yaşam standartları da, evlerde daha yüksek iç ortam sıcaklığı ve nem oranlarının oluşmasına neden olmuştur. Bunun sonucu sağlık ve nem sorunlarında artış görülmektedir.

Dinamik yalıtım, bir binanın dış duvarlarında hava ve nem hareketi ile, havalandırma, yalıtım ısı kayıpları kaliteli iç mekan havası elde etmek için 'nefes alan yapılar' olarak tanımlanabilir. Basit bir analitik model, önerilen herhangi bir kaplama tasarımı için dinamik yalıtım, ısı ve kütle transferi süreçleri için fiziksel fikir verebilir, etkili veya dinamik U-değeri tahmin etmek için de kullanılabilir. Hens, bilgisayar programı kullanarak sıcak hava ve nem taşıma modellemesini başarı ile gerçekleştirmiştir [171]. Yapısal olarak iyi olan malzemeler, en iyi dinamik yalıtım sonuçlarını verir. Dinamik yalıtım, daha az yalıtım malzemesi ile uygulama şartlarını optimize edebilmektedir. Dinamik yalıtım, gözenekli yalıtım malzemelerinde analitik olarak, hava ve katı matriksin yerel termal dengede olduğunu varsayar. Bu varsayım düşük hava akımları için geçerlidir [172].

Bir ısı yalıtım malzemesi, ısı akışına engel olur. Sıcak yüzeyin ısını yavaşça düşürürken kendisi o ısyı üzerine alır. Bu ısı alış verişi karşılıklı denge hali tamamlanana kadar sürer. Isı yalıtımı, ısı üretmez. Uygulandığı yapıda ısyı muhafaza eder. Yapıyı, bir ısıtma işlemi uygulanmadığı sürece serin tutar. Binanın ısı yalıtımı; yapının gerek kışın, gerekse yazın karşılaşıacağı dış şartları güvenle karşılayabilecek şekilde düşünölmelidir. Binanın ısı etkilerine karşı yalıtılmasında

amaç, yapının zararlı boyutlarda ısı hareketleri ve buhar yoğuşması sonucu zaman içinde yapı hasarlarının (don hasarı, nem hasarı, küflenme, bozulma, demir aksamının çürümesi-korozyonu vs) ortaya çıkmasını önlemektir. Yoğuşmanın hiç olmaması için, yapı bileşeni içindeki tüm sıcaklıkların, su buharının doyma sıcaklığından daha yüksek olması gerekir. Bu da yapı bileşenlerinin dış iklim koşullarından korunmasıyla, yani yalıtım sistemleri ile sağlanır. Yalıtımla yapı bileşenleri, ısı yalıtımının sıcak tarafında kalmaları sağlanır ve yoğuşma sıcaklığının üstünde tutulur. Dolayısı ile yoğuşmanın zararlı etkilerinden korunulmuş olur. Yalıtımlı yüzeyler sıcaktır. Yoğuşma bu yüzeylerde görülmez. Bu nedenle mantar, küf ve bunlara bağlı alerjik rahatsızlıklar oluşmaz [173].

Yapılar, bina temelinde yapılan su izolasyonu gibi özel durumlar dışında, bütünlüğünü oluşturan kısımların hava akımı ile teması kesilmeden yalıtılmalıdır. Dışarıdan uygulanacak hava geçirimsiz kapalı bir zarf halindeki yalıtım, yapının dış kısım bileşenlerinin teneffüs etmesini engeller. Yapıda biriken nem, betonarme taşıyıcı sistemdeki demir-çelik donanımın zamanla çürümesine neden olur. Çelik donanımda oluşacak bu paslanma ve çürümenin çok yavaş olacağı ve ihmal edilebileceği söylene de yapıdaki taşıyıcı sistemin esas donmuş harç ile demir-çelik donanımın birlikte, tek vücut olmasıdır. Tek başına paslanmış bir demir-çelik çubuk mekanik yük taşıma özelliğini uzun bir süre daha devam ettirebilir ancak, beton içinde, paslanma sonucu ‘aderans’, yani yapışma son bulacak ve taşıyıcı sistem bütünlüğü zarar görecektir ve oluşacak mikro çatlaklar sonucu yapının depreme dayanım özelliği risk altına girecektir. Dıştan yapılacak bir yalıtımla yapı bileşenleri nemini muhafaza eder hale getirilmektedir. Ancak, açık dış yüzeyler hava sirkülasyonu nedeni ile daha kolay kururlar. Beton yapı da kuru olacağından, ısı köprülerinden oluşacak ısı kaybı da daha az olacaktır.

İçten uygulanacak yalıtımda, dış cephenin sadece içe bakan kısımları yalıtılacaktır. Bu da yapıda ısı köprüleri oluşmasına neden olur. Kuru bir ortamdaki ısı geçişi nemli bir ortama oranla daha azdır. Doğal olarak nem alış veriş yapabilen bir yapıda doğal kuruma da olacağından enerji iletimi çok az olacaktır. Yapının teneffüs edebiliyor olması genel konfor için önemlidir. İç yalıtım ile dıştan yalıtılmış binalarda görülen iç yüzey terlemeleri, yoğuşma sonucu küf, mantar oluşumu görülmeyecek daha sağlıklı bir yaşam alanı oluşturulacaktır. Kışın ısınma enerjisinden tasarruf

sağlanırken yazın iç mekanın soğutulması için harcanan enerjide de büyük avantaj sağlanacaktır. Duvar iç cidarlarının gereksiz yere soğutulması engellenmiş olacaktır. Yapılarda, yangınlar daha çok bina içinden dışa doğru gelişir. Yanma geciktirici özellikli malzemeler seçildiğinde, iç yalıtım, can ve mal güvenliği açısından daha etkin olacaktır. Özellikle betonarme karkas ısısını demir-çelik kısmının taşıma vasfını yitireceği 540 °C seviyesinin altında tutarak çökmeleri engelleyecektir. İç mekanda ısı, alev yayılması daha geç ve az oluşacak, zehirli gaz çıkışı olmayacağından buna bağlı zararlar görülmeyecektir.

Mutlaka dıştan yalıtım uygulaması yapılacaksa, elyafli yapıdaki malzemeler tercih edilmeli ve üzerleri nem ve toz girişine engel olacak başka bir malzeme ile kaplanmalıdır. Nem ve toz bu tür yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtım özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca yalıtım yöntemi seçerken, yöntem ve malzemenin yapı ile ilişkisi kadar, çevreye etkisi de dikkate alınmalıdır. Dış yalıtım malzemelerinin bazılarında gaz salınımı, yanma sırasında zehirli gaz oluşturma, yanmayı hızlandırma gibi dezavantajlara sahiptir. İç veya dış yalıtım yöntemlerinin, yalıtım uygulama amacına göre birbirlerine üstünlükleri olacaktır. Hangi amaçla yalıtım yapılmak isteniyorsa o amaca yönelik malzeme seçilmeli ve yöntem belirlenmelidir.

3.3.5 Isı yalıtım malzemelerinde uygulamaya göre aranması gereken özellikler

3.3.5.1 Isı iletim katsayısı

Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği, (λ) ısı iletim katsayısıdır. Bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1 °C olduğunda, yüzeyin, birim alanından (1 m²) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m), 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Isı iletkenlik, λ -değeri, W/mK (Btu/h-ft-F veya Btu-in/hrft²-F) olarak ifade edilir. Bu malzemenin ortalama sıcaklığı ve nem içeriğinin bir fonksiyonudur. Isı iletkenliği, bir malzemenin ısı iletkenlik etkinliğinin ölçüsüdür. Dolayısı ile ısı iletkenlik değerleri, farklı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik etkinliklerinin kantitatif karşılaştırmasına imkan sağlar. Isı iletim katsayısı yükseldikçe malzemenin ısı yalıtım özelliği azalır (kötüleşir). Türk Standartları TS 825, ISO ve CEN Standartları, Alman DIN normu 4108 'e göre bir yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı 0,060 W/mK değerinden küçük olmalıdır. Isıl iletkenlik değerinin belirlenmesi, kuru yalıtım malzemesinin ortalama 10 °C

sıcaklıkta laboratuvarda ölçülen ısı iletkenlik (λ) katsayısı değerine dayanmaktadır [174].

Binaların toplam ısı iletkenliği hesaplanırken nemin ve uygulama hata payının da dikkate alınması gerekir. Ülkemizde selülozik yalıtım malzemesinin ısı ve ses parametrelerine çevresel koşulların etkisi ile literatüre geçmiş ilgili çalışma yoktur. Çok uzun süredir dünyayı pek çok ülkesinde kullanılmasına rağmen iklim ve mimari koşullara bağlı olarak selülozik malzeme uygulama alanı bulmamıştır. Çeşitli yazarlar [175,176], gevşek dolgu selüloz yalıtım malzemesinin ısı geçirgenliği üzerinde nem etkisini daha fazla araştırılması gerektiğini tavsiye etmekle birlikte bir kaç test sonucu bildirmişlerdir.

Uzun yıllar 10 cm, yalıtım açısından iyi bir kalınlık olarak kabul edilmiş, ancak yapılan uygulamalarda 50 cm ve üzeri bir kalınlığın optimum yalıtım kalınlığı olduğu hesap edilmiştir. Bugün, Avrupa'daki pek çok yönetmelik ve standart, çatı ve duvarlarda $U=0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri aramaktadır. Bu da yaklaşık 20 cm yalıtım kalınlığına karşılık gelir. Ancak, yapılarda 20 ila 50 cm arasında değişen bu yalıtım kalınlıkları ihtiyacı, mimari uygulamalarda kaybedilen alan ve ortaya çıkan yüksek maliyet nedeni ile oldukça kısıtlanmaktadır. Bu nedenlere bağlı olarak, bina yapımındaki gelişmelerle birlikte, yapılarda kalın boyutlu ve ağır malzemelerden narin-ince boyutlu hafif malzemelere geçiş olmuştur. Bu durum, sağladığı birçok yarar yanında yapı fiziği ve ısı yalıtımı konularında daha dikkatli davranmak ve daha pahalı ancak daha etkin bir yalıtım malzemesinin gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Binalarda yalıtım cinsi ve kalınlığının belirlenmesinde pencere alan oranı, önemli rol oynamaktadır. Enerjinin verimli kullanımı açısından bu hesapların mimari plan aşamasında dikkate alınması gerekmektedir. TS 825 standardında ülkemiz dört iklim bölgesine ayrılmış ve her bir bölge için binalarda istenen ısı geçiş değerleri belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alınarak, Çomaklı ve Yüksel, binalarda ısı yalıtım standartlarına göre, Türkiye'nin IV.derece gün bölgesinde olan üç ilin optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır [177]. Bolattürk, Türkiye'nin dört iklim bölgesindeki iller için, farklı yakıt türleri kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlığını ve amortisman sürelerini hesaplamış, bir diğer çalışmasında ise, ülkemizin 1. iklim bölgesindeki binaların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığını ısıtma ve soğutma yüklerini dikkate alarak hesaplamıştır [178,179]. Özel ve Pıhtılı, Türkiye'deki beş ayrı coğrafi bölgeden beş il için optimum dış duvar yalıtım

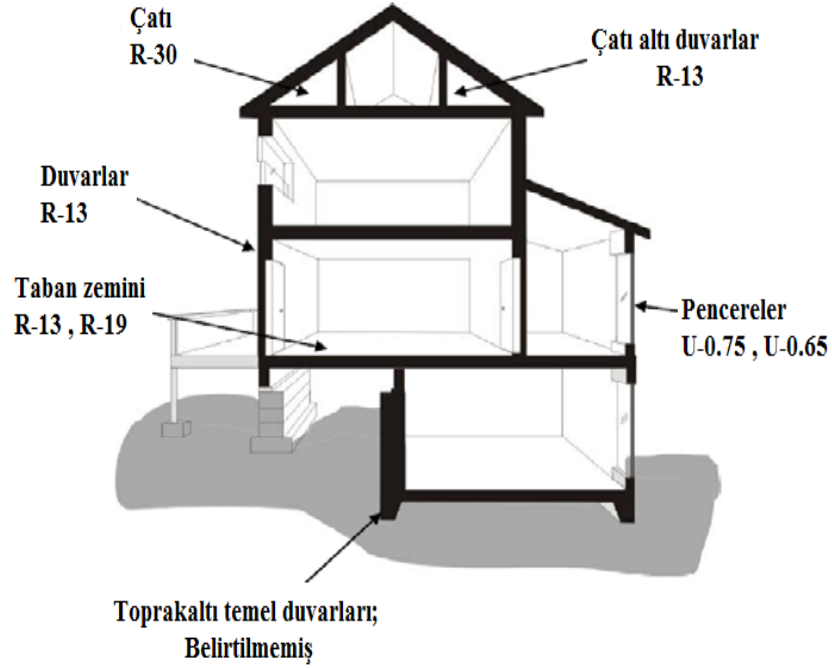
kalınlığını, ısıtma ve soğutma yüklerini göz önüne alarak hesaplamışlardır [180]. Uçar ve Balo, yalıtım malzemesi kalınlığının ısı yalıtımına etkisini incelemişler ve ülkemize ait dört iklim bölgesi için dört ayrı yalıtım malzemesi üzerinden hesaplamalar yapmışlar, sandviç tip optimum duvar yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır [181]. Ülkemiz için yalıtım malzemesi kalınlığı, bölgeye ve yalıtım malzemesi cinsine göre 3cm- >20 cm olarak değişiklik göstermektedir [182].

3.3.5.2 Isıl direnç (R-Değeri)

Isı yalıtımı malzemesi/malzemeleri doğru uygulandığında iletim, taşınım ve ışıınım şeklindeki ısı geçiş hızını yavaşlatır. Isı yalıtımı, bina yüzeylerinde buhar yoğunlaşmasına engel olur. Yapıda içten dışa veya dıştan içe ısı geçiş hızının büyüklüğü, uygulanan yalıtım malzemesinin termal direncine bağlıdır [183]. Yalıtım malzemeleri “R-Değeri” ile derecelendirilir ki; bu “Isıl Direnç” büyüklüğünü temsil eder. R-Değeri, yalıtım malzemesinin ısı akışını yavaşlatma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1 °C olduğunda, dik yönde birim kalınlıktan, 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Isıl iletkenlik katsayısının malzemenin kalınlığına oranıdır, (d/λ) ile bulunur.

Yüksek R-Değerine sahip bir malzeme, daha iyi yalıtım sağlar. Isı yalıtımında kullanılan malzemeler birbirleri ile ‘Isıl direnç’ (R-Değer) değerleri ile orantılı olarak mukayese edilirler. Bir malzemenin ısı direnci, malzemenin ısı iletkenlik, kalınlık ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Isı direnç, R-değeri, $m^2.K/W$ veya $(hft^2.F/Btu)$ olarak ifade edilir. Uygulamalarda yalıtım için, iki farklı malzeme kullanılacak ise; sağlanacak toplam ısı direnç değeri, her iki malzemenin ısı direnç (R-Değer) değerlerinin toplamı olacaktır. Yalıtım malzemelerinin belli bir türünün gerçek R-Değeri, üreticileri farklı veya aynı üreticinin farklı ürünleri arasında değişiklik gösterebilir. Üretici firma, her ürünün R-Değerini ambalaj veya ürün üzerinde belirtmek zorundadır. Binalarda yalıtım uygulamalarında farklı bölümler için dikkate alınması gerekli R-değerleri (Şekil 3.7)'de verilmiştir [183].

Binaların farklı bölümlerinde uygulamada
dikkate alınacak R-değerleri



Şekil 3.7 : Binalarda yalıtım uygulamalarında farklı bölümler için dikkate alınması gerekli R- değerleri [183].

3.3.5.3 Yoğunluk

Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk, ısı iletim katsayısını pek etkilememekle birlikte malzemenin stabilitesi ve mekanik dayanımı yoğunlukla doğrudan ilgilidir. Genellikle ısı yalıtım malzemelerinin yoğunlukları farklılık gösterir. Lifli yapılarda kanalların içinde hapsedilen havanın ısı ve ses iletimi açısından önemi büyüktür. Kanallar boyunca küçük hücrelere hapsedilecek hava daha iyi bir yalıtıma neden olacaktır. Malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak hava kanallarının kapanması ve liflerin temas noktalarının artması sonucunda iletim yoluyla ısı iletim artacağından ısı iletkenlik değeri kötüleşir. Yoğunluğun azalması durumunda hava dolu geniş kanallar ısı iletimini engelleyeceğinden daha verimli bir ısı iletkenlik değeri elde edilecektir. Fakat bu açık hava kanalları ses yalıtımını olumsuz etkileyecektir.

Selülozik yalıtım uygulamalarında iki önemli unsur ön plana çıkmaktadır.

Birincisi; R-Değeri (ısı direnci), ikincisi ise bu değeri ne kadar uzun süre koruyabildiğidir. Isı direnci basit olarak kalınlık ve yoğunluğun fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Ancak ısı iletkenlik, normalde uygulanan malzeme hangi yoğunluk aralığında olursa olsun, neredeyse yoğunluktan bağımsızdır. Kullanılan kağıt cinsine,

öğütme boyutuna ve eklenen kimyasallar gibi etkenlerle nispeten küçük de olsa bir değişkenlik gösterir [184-188].

İkincisinde, malzemenin performans ömrü söz konusudur. Bu da uygulama ve çevresel faktörlere bağlı olarak gelişir. Düşük yoğunluklu Selülozik dolgu yalıtımında malzeme uygulandığı alanda, genellikle sıcaklık ve nem değişiklikleri [189] ve binanın titreşimi gibi faktörlerin etkisi altındadır [190]. Uygulamada, eğer selülozik malzemenin yoğunluğu üretim ortalama değerine göre %20 kadar değişiyorsa, R-değerinde kayda değer bir değişim gözlenmez [191]. Manohar, ısı yalıtımında, organik liflerin yoğunluğa bağlı olarak ısı iletkenliğinin değişimini incelemiş ve farklı yoğunluklarda ısı iletkenlik (λ) değerinde minimal düzeyde farklılıklar elde etmiştir [192]. Gevşek dolgu selülozik malzeme ile yapılan çalışmada, 7 aylık bir süre sonunda yalıtım malzemesinde kendiliğinden sıkışma ve buna bağlı yoğunluk miktarında % 8.5 oranında bir değişim görülmüştür [193,194]. Rudbeck ve Rode'un, laboratuvar ortamında, sabit ısı ve relatif nemde bir yıl boyunca elde ettikleri veriler selülozik malzemede nem miktarının %7-10,7 arasında değiştiğini göstermiştir [195]. Yanma denemesi için yapılan binalara uygulanan yalıtım malzemelerinin, normal iklim şartlarına uyum sağlaması için üç haftalık bekleme süresi sonunda yalıtımsız (duvarları sadece alçıpan kaplı) blokta % 2'lik bir nem kaybı, cam yünü yalıtımlı blokta % 1'lik bir artış kaydedilirken, selülozik yalıtım malzemesi ile kaplanmış blokta nem değişikliği görülmemiştir [196].

3.3.5.4 Yangın sınıfı

Yalıtım malzemelerinde yanma reaksiyonu ve yanma geciktiricilik, malzemenin yanıcılık özelliğine, alev sürekliliğine ve yanma sırasında damla oluşturup oluşturmadığına bağlıdır. Malzemenin yangın karşısında yapısal kararlılığını ne kadar süre devam ettirebildiğidir. Malzeme içindeki yanma geciktirici katkı oranı, kalınlık, yoğunluk ve alevlenebilirlik yanma dayanımını etkileyen faktörlerdir. Yapı ve yalıtım malzemelerinin yangın sırasındaki davranışlarını ölçmek için çeşitli deney metodları geliştirilmiştir. Bu deneylere tabi tutulan malzemenin davranışı ölçülür ve sınıflandırılır. Bu deneylerin ve sınıflandırmaların tarif edildiği Almanya 'da DIN 4102, İngiltere'de BS 476 standartları esas alınmaktadır. Yalıtım malzemelerinin yanma ve alevlenme özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

3.3.5.5 Mekanik dayanım

Isı yalıtım malzemelerinin mekanik dayanımları genellikle, malzemede %10 deformasyon oluşturan basma gerilmesi değeri esas olarak kabul edilir. Bunun yanı sıra bazı malzemelerin çekme gerilmeleri ve kırılma dayanımları da, basma gerilmeleri ile birlikte mekanik dayanım özelliği olarak verilebilir. Yalıtım malzemesinin kısa ve uzun süreli yüklemeler karşısında gösterdiği mekanik dayanım önemlidir. Bir ısı ve ses yalıtım malzemesi yük altında iken basma dayanımı ne kadar yüksek olursa kalınlığındaki azalma o kadar az olur, bu da malzemenin özellikle termal direnç değerini koruması açısından dikkate alınır. Çünkü, termal direnç değeri kalınlık ile doğru orantılıdır ($R=d/\lambda$). Genelde yalıtım malzemelerinin yoğunlukları ile basma ve sünme dayanım değerleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça basma ve sünme dayanımları artar. Sünme, sabit yük altında uzun süreli deformasyon miktarıdır. (EN 1606), test metodu ve hesaplamalara göre 20 ila 50 yıllık period tahmin edilmiştir. Sünmede normal limit olan maksimum %2 (EN 1606'ya göre) kabul edilmektedir. Güvenlik değeri = 3 alındığında çıkan sonuç dizayn değeridir. (30kg/m^3 yoğunluk için : $30/3 = 10 \text{ kPa} = \text{dizayn değeri}$).

Çizelge 3.5 : TS-EN 13501-1'e göre belirlenmiş DIN 4102 Normuna göre yalıtım malzemelerinin yanma, alevlenme özellikleri [50].

Yapı Malzeme Sınıfı	Yanıcılık Sınıfı	Yangında Gözlenen Davranış
Taş Yünü, Cam Yünü	A1	İçerisinde yanıcı malzeme içermeyen, hiç yanmayan, kömürleşmeyen malzemeler
Taş Yünü, Cam Yünü, Borlu Selülozik İzolasyon Malzemesi	A2	Yanıcı kısımlar içerir, ancak kendileri yanmaz, ateşi iletmez, yangın yüküne katkısı olmaz.
Poliüretan, XPS, EPS, Talaşlı hafif yapı malzemeleri	B1	Zor alevlenir, alev kaynağı kalktıktan sonra da yanmayı sürdürür.
Poliüretan, XPS, EPS, Polistren Yapı Malzemeleri	B2	Normal alevlenicidir, yanıcı duman veya zehirli gaz oluşturur.

3.3.5.6 Buhar difüzyon direnci

Bir malzemenin bünyesinden buhar geçişine gösterdiği direnç veya belirli sıcaklık, nem ve kalınlık koşullarında birim zamanda birim alanından geçen su buharı miktarı o malzemenin buhar difüzyon direncidir. Buhar difüzyon direnci yükseldikçe malzemenin içinden geçebilecek buhar miktarı azalır. Isı yalıtım malzemelerinde, malzeme yapısına göre değişmekle birlikte, genellikle buhar difüzyon direnci yüksek

olması istenir. Yapıların duvarından gerçekleşen difüzyon (nefes alma) mekanizması, her malzeme için farklılık gösterir ve buhar difüzyon katsayısı (μ) değeri olarak tanımlanır. Bu değer, malzemelerin havaya oranla buhar geçiş direncini tanımlamaktadır. Bu değer, mineral yünü ve cam yünü için 1'dir. Cam yünü ve taş yünü ile benzer yapıda olduğundan, selüloz elyafı için de μ değeri 1 alınabilir.

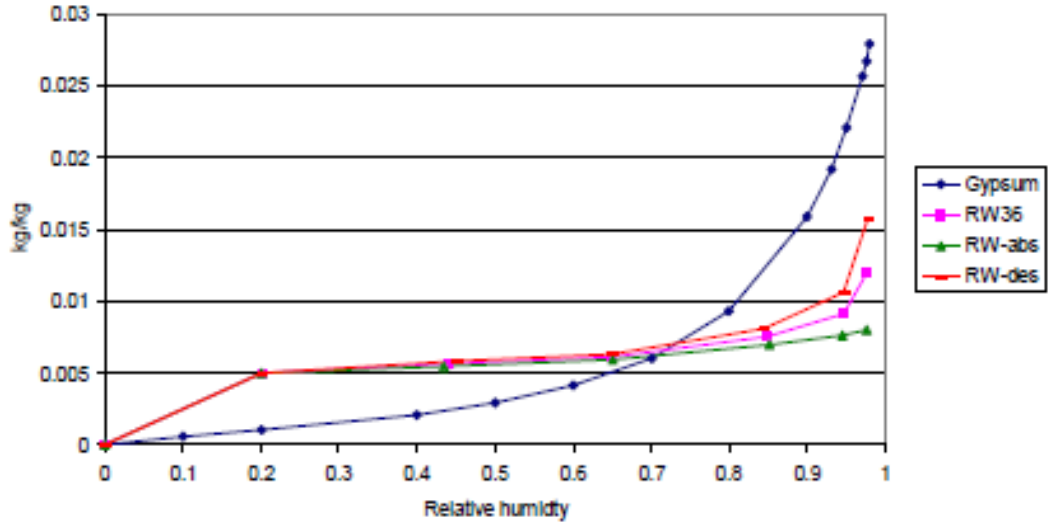
3.3.5.7 Su emme

Yalıtım malzemelerinin bazıları, bina dışında geçirimsiz bir 'zarf' tabakası oluşturabilir. Bu tabaka içerisinde oluşabilecek kontrolsüz nem, sağlıklı bir iç mekan hava kalitesine, küf, mantar ve mikrobiyolojik uçucu organik bileşikler (MVOCs) gibi oluşumlara, sonunda yapısal hasara yol açabilecek, korozyon, çürüme ve yapıda zayıflamaya neden olmaktadır [197]. Nem genellikle suyun varlığı anlamına gelir. Nem, pek çok kaynaktan yapı bünyesine girebilir. Nem hareketi yapısal ortamda genellikle yayılım ve taşınım yolu ile kılcal boşluklar içinde gerçekleşir. Kılcal boşluklar ne kadar ince ve küçük ise taşınım okadar yavaş fakat güçlü oluşur [198]. Nem ve su buharı, yalıtım malzemeleri bünyesinde ise sıcak yüzeylerden soğuk yüzeylere doğru hareket eder. Su buharı, buhar basınç farkı veya sıcaklık farkının bir sonucu olarak malzeme içinde taşınır. Yapı ve yalıtım malzemelerinin geçirgenliği ise bu hareketi etkiler. Ortam neminin bir fonksiyonu olarak bağıl nem yalıtım malzemelerinin yapısal özelliklerini de değiştirir. Nem yeterinden fazla yapıda birikir ve uzaklaştırılmazsa, nemli ortam küf, mantar ve diğer nem ile ilgili sorunlar için iyi bir ortam olur.

Hava ile temas halinde olan gözenekli yapıların bağıl nem içerikleri, ortam relatif nemi ve ısıya bağlı olarak bir süre sonra yavaşlamakta ve denge durumuna gelmektedir. Malzemenin bu yapısı, su emme kapasitesi kadar nem alma/verme yeteneği, gözenek boyutu ve dağılımı relatif nem oranına göre değişiklik göstermektedir. Relatif nem artışı ile bağıl nemde de artış olmaktadır (Şekil 3.8) [201]. Bu faktörlerle birlikte ortam bağıl neminin artışında sıcaklığında az da olsa etkisi vardır. Yüksek sıcaklıklı ortamlarda bağıl nem daha yüksek olsa da, ısı artışı ortam neminin azalmasına neden olmaktadır [199,200].

Taşıyününün nem alma/verme yeteneği malzemenin nem tutma kapasitesini belli bir noktadan sonra yavaşlatmakta ve artışın alçıpan gibi hızlı yükseliş trendi

göstermesine engel olmaktadır. Benzer davranışın, benzer fiziksel yapılarından dolayı camyünü ve selüloz elyafı içinde geçerli olabileceği söylenebilir.



Şekil 3.8 : Alçıpan ve taşıyününün nem alma/verme izoterm eğrisi.

Isının 5°C ve relatif nemin %80'den fazla olduğu ortamlarda mikroorganizma ve mantar oluşumu başlar. Bunu kanıtlayan pekçok çalışma yapılmış [202-207], mantar oluşumunun ilk birkaç gün içinde gerçekleştiği, mikroorganizmalar için ise bu sürenin 8-10 haftalık bir periyodu kapsadığı belirtilmiştir. Farklı malzemeler, yapılarının, zaman, sıcaklık ve malzeme özelliklerinin bir fonksiyonu olarak farklı nem depolama kapasitesine sahiptir. Geçirgenlik dört grupta incelenebilir [208];

1. Geçirimsiz malzemeler; Geçirgenliği 0.1 veya daha az olan; lastik membran, polietilen film, cam, folyo kaplı izoleli levhalar, alüminyum folyo, metal levha gibi malzemeler.
2. Yarı geçirimsiz malzemeler; Geçirgenliği 0.1 den büyük 1'den az olan; yağ bazlı boyalar, vinil kaplamalar, 1-inch den kalın XPS levha gibi malzemeler.
3. Yarı geçirgen malzemeler; Geçirgenliği 1'den büyük 10'dan küçük olan; kontrplak, bitüm emdirilmiş kraft kağıt, OSB ahşap levha, EPS levha, XPS levha, lateks bazlı boyalar gibi malzemeler.
4. Geçirgen malzemeler; Geçirgenliği 10'dan büyük olan; boyasız alçıpan levha, kaplamasız camyünü ve taşıyünü levha, selülozik yalıtım, bazı lateks bazlı boyalar, hafif asfalt emdirilmiş kağıt ve sunta, döşemelik kumaş gibi malzemeler.

Yapılarda nem, yapı elemanları ve yalıtım malzemelerinin dayanıklılık, performans ve servis ömrünü etkileyen önemli faktörlerdendir. Yapılarda doğru havalandırmanın, ısı kaybı ve nem performansı üzerindeki etkileri TenWolde ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır [197]. Eğer nem, malzemenin içine nüfuz ederse, ısı yalıtımında fiziksel hasara neden olur ki, bu da termal iletkenliği artırarak performansı olumsuz etkiler [209]. Su ısıyı havadan 25 kat daha fazla iletmektedir. Özellikle dış cephe yalıtımında malzemenin bu özelliği öne çıkmaktadır. Yalıtım malzemesi su mümkün olduğunca bünyesine almamalı, bünyesinde uzun süre tutmamalı iklim şartlarına bağlı olarak donma - çözülme döngüsünde ısı ve ses iletkenlik performansları fazla etkilenmemelidir. Isı yalıtım malzemeleri su ile temas ettiklerinde bünyelerine bir miktar su emebilirler. Su emme miktarları çeşitli testler uygulanarak belirlenir. Isı yalıtım malzemelerinde su emme oranlarının sıfır veya sıfıra yakın olması idealdir.

Dört faktör, nemi yapı bünyesinde biriktirir ve sorunların kaynağını oluşturur.

1. Nem kaynağı
2. Nem yapıda ilerlemesine uygun zemin
3. Nemi ilerletecek itici güç
4. Malzemenin nem zararına karşı duyarlılığı

Eğer bu koşullardan birisi yok edilebilirse (yoksa) nem ideal kontrol edilebilir [208,209]. Straube, yarı geçirgen veya geçirimsiz buhar bariyeri kullanımının binalarda ısı performansını artırmayacağını, aslında yapı sistemine zarar verecek yoğunlaşmayı ve bölgesel nem birikmelerine neden olacağını belirtmiştir [210]. Tüm yapı ve yalıtım malzemeleri nem tutmaya yatkındır. Özellikle, inşaat sürecinde yapı içinde depolanan nemin yapının kuruma sürecine bağlı olarak yavaş yavaş çıkması, normal olarak birkaç yıl devam eder [209,211]. Finlandiyalı bilim adamı Erkki Kokko'nun 2004 yılında yayımlanan "Higroskopik Selüloz Fiber Yalıtımlı Yapılar" konulu, yaptığı bir çalışmada, herhangi bir buhar bariyeri olmaksızın sadece selüloz elyafı ile yalıtılmış bir bina üzerinde yapılan ölçümlerde, yalıtım malzemesindeki bağıl nemin sabit kaldığı, bununla birlikte hem CO₂ seviyesinde %30 azalma oluşumu ile bina içi hava kalitesinde iyileşme hem de konfor artışı sağlandığı belirtilmiştir [212].

Organik lifler kolayca, büyük miktarlarda nem emerler. İnorganik lifler nemi absorbe etmezler ancak, ıslandıkları zaman zor kururlar bu nedenle inorganik lifler uzun süre

nemli kalırlar. Selülozun nemi ise doğal olarak kurur. Bu nedenle, ısı iletkenlik özelliğinde kalıcı bozulmalar oluşmaz ve yangın geciktirici kimyasallar da zamanla veya nem ile etkinliklerini kaybetmezler.

3.3.5.8 Boyutsal kararlılık

Isı yalıtım malzemelerinin boyutsal kararlılıkları olmalıdır. Yani malzeme uygulandığı andaki boyutlarını zaman içerisinde veya termal ve mekanik etkilerle kaybetmemelidir. Başka bir ifadeyle, malzemenin zamana bağlı sıcaklık veya basınçla şekil değişimi olmamalı ya da çok az olmalıdır. Mevsimsel veya gece/gündüz döngülerinde hızlı fiziksel ve ısısal değişimler yalıtım malzemelerinde boyutsal kararlılık açısından etkili olur. Üç yönlü olarak ölçülen (Yatay/ Dikey/ Üretim yönü) boyutsal kararlılık değerindeki kötüleşme malzemenin ısı ve ses iletim değerlerini olumsuz etkileyecektir. Yapısal kararlılık ve dayanım, malzemenin lif yapısına, mineral çeşiti, içeriğine, boyut dağılımına ayrıca, bağlayıcı cins ve miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Yapı malzemelerinde dayanıklılık, özellikle yalıtım malzemelerinde çevresel açıdan çok önemlidir. Uzun süre görev yapan bir yapı malzemesi her zaman tercih edilir. Yalıtım malzemelerinin çoğu onlarca hatta yüzyıl boyunca görev yapabilmektedir. Zaman geçtikçe birçok etken bir yapı malzemesinin etkinliğini değiştirse de yapı malzemelerinden birçok beklenti söz konusudur.

Selüloz yalıtım malzemelerinde yangına karşı kullanılan bor ve borikasit suda çözülebilir bir maddedir ve çok uzun sürelerle yalıtım görevini yapmasını sağlamaktadır. Yalıtım malzemesi su ile ıslatılırsa ayrılmalar oluşabilir. Selüloz yalıtım malzemelerinde, su ile ıslatılmasa bile zamanla bu kimyasal maddelerin kaybolacağı ileri sürülmektedir. Ancak henüz bunu kanıtlayacak bulgular yoktur. Amonyum sülfatın, yalıtım malzemelerinde zamanla yangın direncinin artmasında etkili olduğu bilinmektedir. Amonyum sülfat, ıslak püskürtme uygulamasında metallerle temas durumunda oluşan pastır. Lifli yalıtım malzemeleri için diğer bir konu da, yerleşme ve sonuçta oluşan boşluktan içeri böcek veya rüzgâr girişidir. Bazı ahşap yapılarda görülen karınca ya da böcekler yalıtım malzemesinde de boşluk ve tüneller oluşturmaktadır. Oluşan boşluklarda biriken toz ve yabancı maddeler R değerinde azalmaya neden olmaktadır. Bu ise yalıtımın ısı iletkenlik verimini azaltacaktır.

3.3.5.9 Porozite

Gözenekli bir maddenin porozitesi, yapıdaki boşlukların toplam hacme oranıdır. Taneli ve elyafli yapıdaki gözenekli malzemelerdeki hava hacmi yalnız açık gözeneklerdeki havayı tanımlar. Kapalı gözeneklerdeki boşluklar toplam hacim olarak değerlendirilir. Porozite ($\emptyset$),

$$\emptyset = (V_t - V_f) / V_t = \text{Hava Hacmi} / \text{Toplam Hacim} \quad (3.1)$$

olarak tanımlanan ve 0 ile 1 arası değer alan boyutsuz bir büyüklüktür. Polimer köpükler ve elyafli malzemeler için bu değer $0.95 < \emptyset < 0.99$ dur [213].

Porozitenin ölçülebilmesi için yukarıdaki eşitlikte verilen iki hacmin ölçülmesi gereklidir. Bunun için de çeşitli yöntemler vardır. Sıvı veya kuru hava kullanarak bu ölçümleri yapmak mümkündür. Suya dayanımı olmayan malzemelerde, belirli basınç değişiminde malzeme gözeneklerini dolduran gazın hacimsel değişikliği temeline dayanan gaz genleşmesi yöntemi uygulanır.

Mutlak veya etkin olmak üzere iki tip porozite tanımı yapılabilir. Mutlak porozite, gözenek ilişkileri düşünülmezsizin kaba hacme göre oransal boşluk hacmidir. Etkin porozite ise kaba hacmin, birbirleri ile ilişkili boşlukların meydana getirdiği orandır. Taneli bir yapıda düzgün bir sıralanış görülmez. Taneler arası köprüleşme oluşarak yüksek poroziteli yapılar oluşur. Teorik olarak tane boyutu küçüldükçe porozite değeri artmaktadır. Tane büyüklüğünün çeşitli oluşu, büyük tanelerin meydana getirdiği gözeneklerin küçük tanelerle dolmasına ve porozitenin azalmasına sebep olur.

Gözenekli malzemeler genelde gürültü kontrolü ve akustik düzenleme uygulamalarında kullanılırlar. Bu malzemelerin fiyatları uygun, uygulamaları kolaydır, ayrıca orta ve yüksek frekans aralığında mükemmel ses yutum özelliği gösterirler. Bundan dolayı bu tür malzemelerin geniş bir uygulama sahası vardır. Elastik özellikleri, gözenek yapısı ve gözenek direncine bağlı olarak gözenekli malzemeler, ses yutumu, ses yalıtımı ve vibrasyon azaltıcı olarak geniş bir sahada kullanılırlar. Ses dalgalarının gözenekli malzemelerde davranış özelliklerini Biot 1956'da teorik olarak izah etmiştir. Teori, akışkanın gözenekler içindeki hareketini, gözenek çeperi ve duvarları ile etkileşimini izah eder [214].

Gözenekli bir sistem, çok sayıdaki mikro ölçekteki rastgele değişkenler ve az sayıda da olsa saptanabilen makro ölçekteki büyüklüklerle incelenebilir. Gözenekli

maddelerin makro özelliklerini, mikro yapıların istatistiksel özelliklerine bağlayarak açıklayan ve gözenekli ortamların temel fiziksel olaylarını anlamaya yardımcı olan birçok teori vardır. Gözenekli malzemelerdeki dinamik yapı karmaşıktır. Çünkü, birden fazla farklı formu bünyesinde barındırmaktadır. Mikro ve makro düzeyde tüm yapılar dikkate alınmalı ve tanımlanmalıdır. Kıldner ve Hansen, bu alanda geliştirilmiş teorileri karşılaştırmalı olarak incelemişler, gözenekli dokuyu oluşturan malzeme yapısına bağlı olarak, tek bir modelle dinamik yapıyı açıklamanın mümkün olmadığını belirtmişlerdir [215].

Sıkışma, dışarıdan uygulanan bir basınçla malzemenin hacminde oluşacak azalmadır. Katılma ise ortama ilave edilen bağlayıcı madde etkisi ile yapıdaki elemanların birleşerek form oluşturmalarıdır. Doğal gözenekli veya gözenekli yapıyı oluşturan taneli ve lifli malzemelerin sıkışma ve katılma sonucu porozitelerinde önemli değişimler olur. Basınç altında gözenekli malzemeler, porozite değişikliği gösterir. Bunun nedeni, tanelerin veya matris elemanlarının ezilip şekil değiştirmeleridir. Gözenek boşluklarının bağlayıcı maddelerle dolması da malzemenin porozitesinde azalmaya neden olur. Permeabilite, gözenekli malzemenin akışkan geçirgenliğidir. Gözenekli malzemelerin akışkan geçirgenliğini karakterize eden parametrenin anlamlı bir şekilde tanımlanabileceği 1856 da Darcy tarafından ilk defa gösterilmiştir. Ona izafeten, geçirgenliği ölçülebilir büyüklüklerle tarif eden denklem Darcy kanunu olarak bilinir.

3.4 Ses Yalıtımı ve Malzemeleri

3.4.1 Ses yalıtımı

Hayatımıza giren ses ve gürültü düzeyleri daha aza indirgenmiş ürünlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu da bize ses yalıtımı ve gürültü kontrolünün daha ürünün tasarım veya üretim aşamasında ele alındığını göstermektedir.

Ses, bir fizikçiye göre, her çeşit ortamda moleküllerin titreşimi yoluyla dalgalar halinde yayılan bir tür mekanik enerji şeklindedir. Bir tıp klinisyenine göre ise, işitme duyusunun uyarıcı olarak, kulak tarafından algılanabilen, hava, su ya da benzeri elastik bir ortamdaki basınç değişimi şeklinde tanımlanabilir. Birçok tanımda ses, titreşim ve gürültü için yalnız “ses” veya “gürültü” sözcüğü kullanılmıştır. Fakat “ses şiddetinden” söz edilirken, şiddeti ölçülen ses, “gürültü” de olabilir. Algılama

açısından fiziksel olarak ses, titreşim ve gürültü arasında bir fark olmadığı için, tanımlarda genellikle ses sözcüğü kullanılmış olmasına karşın, yerine göre gürültü sözcüğü de kullanılmıştır. Gürültü, Latince 'Nausea'dan türetilmiş bir kelimedir. Hoş olmayan, istenmeyen sesleri tarif eder [216].

Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletilmesiyle olur. Sesin oluşması için, vibrasyon özelliği olan bir enerji kaynağına ve çoğalıp dağılması için de elastik elemanlara sahip bir ortamın bulunmasına gerek vardır. Ses nesnel bir kavramdır. Yani ölçülebilir ve varlığı kişiye göre değişim göstermez. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar, havada basınç değişiklikleri oluşturur. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilir ve beyin tarafından ses olarak algılanır [217].

Gürültü ise, öznel bir kavramdır. Algılayana göre bir sesin gürültü olarak nitelenip nitelenmemesi kişiye bağlı olarak değişebilir. Genel olarak; gürültü, düzensiz yapılı, farklı frekans bileşenlerine sahip olan ve genellikle zamana göre, değişken olan istenmeyen ses topluluğudur [213]. Gürültü kavramı ile, sessizliği bozan veya istenen ses algılayışını bozarak rahatsızlığa ve sağlık yönünden sakıncalara yol açan her türlü ses veya ses kümesi anlaşılır [218]. Gürültü, günümüzde, kentleşmenin doğal bir sonucudur. Özellikle çarpık ve plansız kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde, gürültü insan sağlığını ciddi boyutta tehdit eden ve yaşam konforuna zarar veren etkenlerdendir. Araştırmalar, gürültünün, davranış bozuklukları, çalışma verimindeki düşüş, duyma kayıpları, kulak çınlamaları ve bazı psikolojik rahatsızlıkların temel sebebi olduğunu göstermiştir. Gürültüye bağlı işitme kayıplarının ilaç ve cerrahi tedavisinin mümkün olmadığı bilinmektedir. Sürekli 55 dB mertebelerindeki gürültünün sinirlilik, saldırganlık ve uyku düzensizliklerine neden olduğu görülmüştür [219,220].

Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 56'ncı maddesine göre; herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir; çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir. Çevre ve Orman Bakanlığı olarak; Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin uygulamaya konulması için “2009-2020 yıllarını içeren “Çevresel Gürültü Eylem Planı” hazırlanmıştır. Plan kısa, orta ve uzun vadeli hedefleri belirlemekte ve bu hedeflerin gerçekleşmesi için yapılması gereken çalışmaları

içermektedir [221]. Fransa'da çevresel gürültü seviyesi sınır değeri arka plan gürültü seviyesini 3 dB den fazla aşmama şartı getirilmiştir [222].

Farklı büyüklüklerde hayatımıza giren gürültü kirliliği, yaşam kalitesini farklı şekillerde olumsuz etkilemektedir. Çin'de (MS) üçüncü yüzyıla kadar azılı suçlulara gürültü ile işkence yapıldığı kayıtlarda vardır. Günümüzde aşırı gürültü çıkarmayı suç kabul eden ülkeler de vardır [223]. Kiernan, nispeten küçük seviyelerdeki gürültünün bile, yetişkinlerde hipertansiyon ve uykusuzluğa neden olduğunu, çocuklarda ise bilişsel gelişimi engelleyerek insan sağlığını olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur [224]. Bond, ise yaptığı çalışmada aşırı gürültünün hafıza kaybı veya kalıcı psikiyatrik bozukluk gibi daha etkin ve kalıcı sorunlara neden olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, Avrupa'da insanların % 16'sının uyku sırasında 40 dB sese maruz kaldığını, bunun WHO'nun kesintisiz uyku için belirlediği 30-35 dB lik sınırın üzerinde olduğunu da belirtmiştir [225]. Kentsel nüfus bu tür kirlilikten daha çok etkilenmektedir. Çeşitli çalışmalar metropol şehirlerde, gürültü seviyesinin standart seviyeleri aştığını göstermektedir [226-228]. Trafik, iş araçları, inşaat faaliyetleri, farklı üretim süreçleri günlük kullanılan küçük motorlu aletler rutin olarak ses dalgaları yaymakta ve bu tür kirliliğe kaynak oluşturmaktadırlar [229].

Gürültüsüz bir ortamda yaşamak, gürültüyü yok etmek hemen hemen imkansız olabilir. Ancak gürültünün çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini kontrol altına alıp en aza indirmek mümkündür. Gürültüden korunmanın en temel yolu ses yalıtımı uygulamalarıdır. Yaşadığımız, çalıştığımız, dinlendiğimiz binalar ile çevreyi istenmeyen seslerden yalıtarak gürültünün zararlı etkilerinden korunmak; kayıt stüdyoları, sinema, konser salonu vb. mekânları istenmeyen seslerden yalıtarak gerekli akustik koşulları oluşturmak; jeneratör, hidrofor, kalorifer kazanı vb. gürültülü araç çalışan mahalleri yalıtarak çevreye yaydıkları gürültüyü azaltmak amacı ile yapılan uygulamalara “ses yalıtımı” denir. Bunun da en iyi yolu gürültüyü kaynağında kesmek/azaltmak ya da gürültü kaynağını tecrit etmek olacaktır. Ayrıca binanın döşeme ve duvarlarının ses emici malzemelerle kaplanması da bir diğer çözüm yoludur [230].

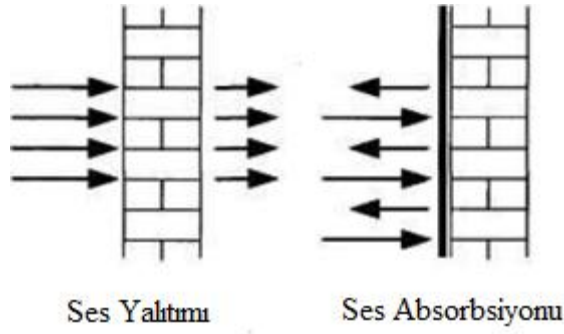
Bir gürültüyü meydana getiren sesin frekansı, gürültüyü oluşturan tüm frekanslar boyunca yayılmış durumdadır. Doğada var olan tüm renklerin karışımı nasıl beyaz ışığı oluşturuyorsa, bütün frekans aralıklarına sahip sürekli dağınık sesler de beyaz gürültüyü oluşturur. Bu tip gürültünün en belirgin örneği makine gürültüsüdür.

Yaşadığımız mekanlarda gürültüye yol açan sesler ise iki sınıfa ayrılır: ortam sesleri ve darbe sesleri.

Ortam sesleri, hava titreşimlerle oluşan ve hava yoluyla yayılan seslerdir. Konuşma sesi, TV sesi, daktilo sesi gibi sesler ortam seslerine örnek olarak verilebilir. Darbe sesleri ise iki sert cismin birbirine çarpması sonucu ortaya çıkan ve katı cisimler üzerinde titreşim yoluyla yayılan seslerdir. Yapılarda oluşabilecek ses ve gürültüyü önlemek için ses yutucular, ses bariyerleri, sönümleyiciler ve titreşim önleyiciler kullanılır [230]. Bu tip malzemelerin aynı anda hem darbe hem de ortam sesi yalıtımı yapması arzu edilir. Sadece ortam sesleri yalıtılmak isteniyorsa selüloz, cam yünü ve taş yünü gibi lifli, açık hücreli ürünler, hem darbe seslerini hem de ortam seslerini yalıtımak isteniyorsa yoğunlaştırılmış kauçuk ya da mantar bazlı ürünler kullanılır. Katlar arası ses yalıtımında malzemenin yoğunluğu, hücresel yapısı ve fiziksel dayanımı son derece önemli faktörlerdir [231].

Esas olarak, sesten iki yolla korunulur (Şekil 2.9). Ses absorpsiyonu (emilmesi, yutulması) ve ses yalıtımı. Bu iki kavram çoğu kez birbirleriyle karıştırılır; halbuki çok farklı kavramlardır. Ses absorpsiyonunda, hava parçacıkları, yalıtım malzemesi içinde (örneğin taşıyünü levhalar, gözenekli kopuk plastikler ve benzerleri) sürtünerek sesin bir kısmını ısı enerjisine dönüştürürler; böylece sesin enerjisi azalır. Ancak bir ses yutucu ile iki odanın arasındaki ses yalıtımına etki edilemez. Ses absorpsiyonu deyimi, ses kaynağından çıkan sesin ne kadarının kaynağın bulunduğu odada yutulduğunu belirtir.

Eğer ses dalgaları, içinde yol aldıkları ortamdan farklı yoğunluk veya esneklikte bir engelle karşılaşırsa enerjinin bir bölümü yansıtılır, bir kısmı da ısı enerjisine dönüşerek soğurulur. Kalan kısım da geçişini tamamlar. Bina dış kabuğunu oluşturan yalıtım malzemeleri de yapısı ve tasarımına bağlı olarak dış kaynaklı gürültünün içeri geçişini az veya çok derecede önleyen bu tür engellerdir [229].



Şekil 3.9 : Ses yalıtımı ve ses absorpsiyonu [218].

3.4.2 Ses yalıtımının temel kavramları

3.4.2.1 Sesin yayılması

Ses her ortamda aynı hızla yayılmaz. Sesin yayılma hızı ortam özelliklerine bağlıdır. Ortama göre sesin yayılma hızı karşılaştırılırsa $V_{\text{kati}} > V_{\text{sıvı}} > V_{\text{gaz}}$ şeklinde sıralanır. Ayrıca ortam sıcaklığı ve yoğunluğu arttıkça sesin yayılma hızı da artar. Sesin iletim yoluyla yayılması söz konusu değildir. Çünkü, ses titreşimlerinin havada yayılma hızı yaklaşık 330-340 m/sn olmasına karşılık, havanın moleküllerinin hareketinin hızı saniyede birkaç metreyi geçmez. Ses kaynağının bulunduğu yönden gelen rüzgarın, sesi taşıyor sanılması bir yanılgıdır. Olay, yüksekte artan rüzgar hızından dolayı, gelen ses enerjisindeki sıkışmasından ibarettir [215,217]. Sesin iletim yolu ile yayılmasında ise, ses basınç düzeyi, esneklik modülü çok farklı ortamlar arasında (katı cisim-hava, su-hava vb.) çok büyük (50 dB civarında) kayba uğrar. Bu nedenle sesin havada iletim yolu ile geçişi hesaplamalarda dikkate alınmayacak kadar önemsiz görülebilir.

Ses, bir mekandan bir diğerine dört farklı şekilde geçiş yapar;

- Açıklıklardan geçme
- İletim ile geçme
- Cidar titreşimi ile geçme
- Dolaylı geçme

Sesin yayılma hızı ortamın özellikleri ile ilgilidir. Yapı akustiğinde ses ile ilgili en önemli ortam havadır. Çünkü, kulak sesi hava aracılığı ile algılar. Ses veya gürültü; gaz, katı ve sıvı ortamlarda titreşim halinde yayılan bir enerji türüdür.

Çoğu ses, titreşim ve gürültü çeşitli frekansları kapsar. Frekans, bir partikülün bir saniye süresindeki yer değiştirme ya da salınım sayısına verilen addır. Buna devir de denilebilir. Birimi 'hertz' dir. İşitme frekans aralığı, 16 Hz ile 20000 Hz arasındır.

Genelde 10000 Hz üzeri frekanslar algılama ve konuşma anlaşılabilirliği kapsamında dikkate alınmaz. 16 Hz'in altındaki titreşimlere ses altı (subsonik) titreşimler. 20 kHz'in üzerindeki titreşimlere de ses üstü (ultrasonik) titreşimler denir. Yapı elemanları için, ses yalıtımı konusunda 100 Hz – 3150 Hz ile sınırlandırılan frekans alanı önemlidir [232].

Ses frekansının değişimi, işitmede sesin incilmesi ve kalınlaşması şeklinde algılanır. Seslerin kulak tarafından ayırt edilmesinin en önemli unsuru frekansıdır. Frekans arttıkça ses tizleşir, düşük frekanslı sesler ise pes sesleri oluşturur. Akustikte;

16 – 100 Hz frekanslı sesler, çok kalın

100 – 400 Hz frekanslı sesler, kalın

400 – 1600 Hz frekanslı sesler, orta kalın

1600 – 3150 Hz frekanslı sesler, ince

3150 – 16000 Hz frekanslı sesler, çok ince ses olarak tanımlanır.

Elastik bir madde olan ve cm^3 'ünde 62 milyar partikül bulunan hava; sesin iletimi için en elverişli ortamdır. Havanın yanı sıra katı ve sıvı ortamlar da sesi iletme olanağına sahiptir. Sesin ölçü birimi 'desibel'dir. Sesin yayılma hızı ortamın özgül ağırlığına ve esnekliğine bağlı olarak değişim gösterir. 0 °C deki hava içinde sesin yayılma hızı 331.5 m/s iken 21 °C oda sıcaklığında sesin yayılma hızı; 344 m/sn olarak kabul edilir [233]. Sesin yayıldığı ortamlar için tek bir değer vermek imkansızdır. Çünkü malzemelerin birbirinden farklı kimyasal, fiziksel veya metalürjik yapıları vardır. Bütün bu özellikler, sesin o ortamdaki yayılma hızını etkilemektedir. Çizelge 3.6'da farklı malzemeler için sesin yayılma hızları verilmiştir. Çizelgedeki değerlerden de anlaşılacağı üzere, sesin katı maddeler içerisindeki yayılma hızları, havadaki hızına göre çok daha yüksektir.

3.4.2.2 Ses iletim kaybı

Açıklıklardan geçişte; açıklıkları yok etmek bu tür geçişleri ortadan kaldıracaktır. İletim ile geçiş değerinin önemsiz ve ihmal edilebiliridir. Dolaylı geçişte ise, ses en az 50 dB kayba uğrar. Çok özel durumlar dışında bu tür ses geçişleri için önlem almaya gerek duyulmaz. Sesin, en önemli geçiş biçimi cidar titreşimi ile olandır. Döşeme, duvar, cam ya da herhangi bir cidarın bir yanında oluşan ses titreşimleri hava basıncında küçük değişimlere neden olur ve bu değişimler çok küçük genliklerle cidarın bütününe titreştirir. Bu titreşimler ötelenerek ses taşınır. Cidar titreşimi ile

geçişteki azalma, çok büyük oranda cidarın ağırlığına (kütlesine), yani hava basıncında oluşan ufak değişimlere (akustik basınca) kütlesi ile karşı koymasına bağlıdır. Buna, Berger (Kütle) yasası denir ve;

$$R = 15.4 \log m + 10 \text{ dB} \quad (3.2)$$

şeklinde formüle edilir. Burada;

R: Ses geçiş kaybı (dB),

m: cidar ağırlığı (kg/m^2) dir.

Çizelge 3.6: Sesin Çeşitli Ortamlardaki Yayılma Hızları [217].

ORTAM	Yayılma Hızı (m/sn)
Hava (0 °C'ta)	331
Hava (21 °C'ta)	344
Mantar	500
Kurşun	1200 – 2400
Su	1450
Sert Kauçuk	1400 – 2400
Beton	3200 – 3600
Tahta	3300 – 4300
Tuğla	3600
Dökme Demir	3500 – 5600
Mermer	3800
Cam	4000 – 5600
Pirinç	4700
Demir	5100 – 6000
Bakır	3600 – 4760
Çelik	5800 – 6000
Alüminyum	5100 – 6400

Cidar yapısının rijitliği, homojen ya da heterojen özellikte olması, ankastre bağlantı durumu gibi etmenler sesin geçmesini etkiler. Bu durum; ses ve ısı yalıtımı arasında pratikte, hesaplamalar ve uygulama açısından hiçbir benzerliğin olmadığını gösterir. Aksine bir bakıma zıtlık da söz konusudur. Ses geçişi açısından; dolu cidarlar ses geçişini engellerken, bu tür yapılardan ısı, iletim yolu ile kolayca geçer. Yapılarda, ses geçişini azaltmak için yapı elemanlarında ses geçişine neden olan titreşim köprüleri kesilebilir ve boşluklar ses yutucu malzemeler ile doldurulabilir. Titreşim köprülerinin kesilmesi ile ses geçişi 6 -10 dB azaltılabilir.

Ses yalıtımı için kullanılacak malzeme lifli yapıda ya da açık gözenekli olması gerekir. Elyafli malzeme ile kaplanan yüzeylere çarpan ses, lifler arasındaki hava

molekülleri sesin az ya da çok, bir bölümünün ısı enerjisine dönüşmesine yol açarlar. Liflerin ince ve sık olması, titreşim hareketlerini olumlu yönde etkileyeceğinden, ses yutulması daha fazla olacaktır [225]. Cam yünü ve taş yünü gibi lifli yalıtım malzemeleri, yapı malzemelerinin önünde/ arkasında veya arasında kullanıldığında iyi bir ses yalıtımı sağlarlar. XPS ve EPS gibi kapalı gözenekli plastik ısı yalıtım malzemeleri ses geçiş kaybını artırma amacına katkıda bulunmaz ve konfor seviyesini iyileştirmez [234].

3.4.2.3 Frekans analizi

Gürültü kontrolü açısından, birçok durumda gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekir. Bir ses kaynağının çıkardığı sesin frekans dağılımını elde etmek için pek çok farklı ölçüm aygıtı kullanılabilir. Temel kural; gelen sinyalleri süzerek istenilen frekanslardaki bileşenlerin büyüklüğünü ölçmektir. Burada önemli olan, gelen sinyali hangi genişlikteki frekans bantlarında süzeceğimizdir. Çok geniş bant aralığı kullanıldığında, frekans ölçümleri fazla bir anlam taşımayabilir. Konu, ses ve gürültü kontrolü olduğundan, insan kulağının duyarlı olmadığı frekansları incelemenin bir yararı olmayacaktır. İnsan kulağı yaklaşık olarak 16–20000 Hz arasındaki seslere karşı duyarlıdır. İnsan kulağının en duyarlı olduğu frekans ise 300 Hz'dir. Normal bir konuşma 200–10000 Hz aralığını kapsar. Konuşmanın anlaşılır olabilmesi için 1000–2500 Hz aralığındaki frekanslar yeterlidir. Telefonlar genel olarak 500–3000 Hz frekans aralığındaki sesleri iletirler. Bununla birlikte gürültü kontrolü açısından kulağın duyarlı olduğu tüm frekans aralığını incelemek gerekmeyebilir. Alt limit olarak 50–100 Hz civarı, üst limit olarak ise, 6000 ya da 12000 Hz alınabilir. Ses analizlerinde, inceleyeceğimiz frekans aralığı, oktav bandı adı verilen kısımlardır. Ses spektrumu içinden seçilmiş standart merkez frekans serisi; 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 ve 16000 Hz'dir. gürültü kontrolüne ilişkin analizlerde genellikle; 63–16000 Hz arasındaki bantlar kullanılır [217].

3.4.2.4 Ses yutma katsayısı

Bir yüzeye gelen ses enerjisi üç parçaya ayrılır. Ölçülen ses enerjisinin (E_i), bir kısmı yansır (E_r), bir kısmı ise enerji şekline dönüşür (E_a), bir diğer deyişle yutulur. Geri kalan kısmı ise iletilir (E_t) (Şekil 3.10) [232].

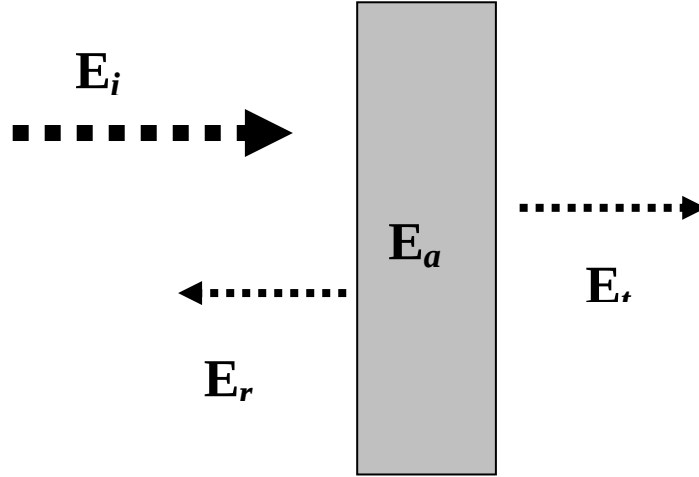
Buna göre;

$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad (3.3)$$

Ses yutum katsayısı;

$$\alpha = (E_i - E_r) / E_i = (E_a + E_t) / E_i \quad (3.4)$$

Bu eşitlikteki ikinci kısım, yansımaz tam yutum şartları için geçerli kabul edilir [232]. Bir yüzeyde yutulan ses enerjisinin, o yüzeye gelen toplam ses enerjisine oranına; o yüzeyin, ‘ses yutma katsayısı’ (Sound Absorption Coefficient) denir [217].



Şekil 3.10 : Ses enerjisinin yansımazı, yutumu ve iletimi [232].

Tanım olarak ses yutma katsayısı, yutulan enerjinin toplam enerjiye oranı olarak verilmekle birlikte, ses yutma katsayısının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerle, ses yutma katsayısı yansımazan enerjinin toplam enerjiye oranı şeklinde bulunmaktadır [217].

$$\alpha = (P_1 - P_2) / P_1 \quad (3.5)$$

α ile gösterilen ses yutma katsayısı 0 ile 1 arasında frekansa bağılı olarak değişen değerler alabilir. $\alpha = 0$, tümüyle yansıtıcı yüzeyleri, $\alpha = 1$ ise ses enerjisinin tümünü yutan yüzeyleri gösterir. Bir yalıtım malzemesinde kaynaktan çıkan ses enerjisinin %45’i yutuluyorsa, % 55’i yansımış demektir. Böyle bir durumda malzemenin (α) değeri 0.45’ dir diyebiliriz [233]. Açık pencereler için $\alpha = 1$ ’dir. Yutulan ses gücünün bir kısmı sürtünme yolu ile ısıya dönüşür. Bu olay açık gözenekli malzemelerde daha belirgindir. Bir yüzeyin ses yutma katsayısı, malzemenin özelliğine (gözenekli olup olmamasına), kalınlığına ve frekansa bağılı olarak değişiklik gösterir [234]. Bazı yalıtım malzemeleri için, ses yutma katsayıları ve NRC değerleri Çizelge 3.7’de

verilmiştir [235]. Ses yutum katsayısı α , ile ses gücünün karşılaştığı alan çarpılırsa, tam yutum miktarı, yüzeyin ses yutum değeri bulunur.

Çizelge 3.7: Bazı yalıtım malzemeleri için ses yutum katsayıları ve NRC değerleri [235,238].

Malzeme	(kg/m ³)	Ses Yutum Katsayısı (α)				NRC
		250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	
Alçıpan tavan (12 mm)	*	0.10	0.06	0.05	0.04	0.062
Cam Yünü (50 mm)	50.0	0.45	0.65	0.75	0.80	0.663
Taş Yünü (50 mm)	80.0	0.29	0.52	0.83	0.91	0.638
Polistren levha (50 mm)	28.0	0.22	0.42	0.78	0.65	0.518
Poliüretan levha (50 mm)	30.0	0.30	0.68	0.89	0.79	0.665
Polietilen levha (50 mm)	32.0	0.25	1.00	0.40	0.70	0.588
Polyester levha (45 mm)	20.0	0.56	0.85	0.98	0.95	0.835
Kenaf elyaf (50 mm)	50.0	0.48	0.74	0.91	0.86	0.748
Halı (Beton üzerinde)	*	0.06	0.14	0.37	0.60	0.292
Halı (kauçuk köpük üzerinde)	*	0.24	0.57	0.69	0.71	0.382
Kontrplak levha (1 cm)	138.0	0.22	0.17	0.09	0.10	0.347
Hemp elyaf (50 mm)	40.0	0.59	0.60	0.56	0.52	0.568
Parke kaplama (10 mm)	120.0	0.04	0.07	0.06	0.06	0.057
Flax (35 mm)	43.0	0.66	0.84	0.79	0.53	0.705
Hindistancevizi lifi (35 mm)	70.0	0.28	0.40	0.64	0.74	0.515
Tahta blok (50 mm)	145.0	0.05	0.05	0.04	0.04	0.045
Yün elyaf (60 mm)	25.0	0.24	0.38	0.62	0.84	0.520
Tahta tavan kaplaması (20 mm)	145.0	0.19	0.14	0.08	0.13	0.135
Selüloz elyaf (50 mm)	28.0	0.60	0.90	0.75	0.53	0.695
Tuğla	*	0.03	0.03	0.04	0.05	0.037
Lastik granül levha (5 mm)	1400	0.20	0.82	0.50	0.56	0.520

3.4.2.5 Ses azaltma katsayısı (NRC)

Malzemelerin ses yutma katsayılarının frekansa bağlı olarak değişmesi nedeniyle, iki malzemeyi ses yutma özellikleri bakımından tek bir değerle karşılaştırmak için ses yutma katsayıları yeterli olmamaktadır. Ses yutma katsayısı ile iki malzemenin ses yutma özelliklerini ancak belli bir frekans bandı için karşılaştırabiliriz ve birinin ötekinden bu frekans bandında daha iyi olduğunu söyleyebiliriz.

Bir yapı elemanının hava yoluyla ses yalıtımını belirlemek için ses kaynağından ön odada, frekansı 100 Hz ile 4000 Hz arasında değişen ve sayısı 16'ya kadar çıkabilen sabit frekanslarda ses çıkartılır. Kaynak odadaki ses şiddeti P1 ile yapı elemanının ayırdığı arka odadaki ses şiddeti P2 ölçülür. Ölçülen değerlerde, ölçüm odasının akustik özellikleri ile ilgili bir düzeltme yapılarak fark alınır. Böylece ölçüm yapılan her bir frekans için fark değerler elde edilir. Bu değerlere transmisyon (iletim) kaybı adı verilir.

NRC (Gürültü Azaltma Katsayısı), test edilen malzemenin ses emilim kalitesini gösteren tek bir sayı indeksidir. Belirli bir malzemenin laboratuvar şartlarında test edilerek nasıl bir ses yutumuna sahip olduğu belirlenir. NRC; 250 Hz, 500 Hz, 1000Hz ve 2000Hz frekanslarda ölçülen ses emme katsayılarının aritmetik ortalamasının en yakın değere 0.05'lik yuvarlanması ile belirlenir [217]. Sıfır ile bir arasında değer alır. 1 "mükemmel emici" için 0 "mükemmel yansıtıcı" olarak değerlendirilir. Ses azaltma katsayısının tanımında dikkate alınan frekans bantları, gürültü kontrolü açısından önemli olan frekans bantlarını kapsamaktadır. Bu nedenle, gürültü azaltma katsayısı (NRC) değeri bilinen iki malzemeden, daha büyük değere sahip olanın, genelde daha iyi ses yutumu sağladığı söylenebilir [217]. NRC değerleri bizim için sadece kabaca karşılaştırmada kullanılacak pratik bir ölçüdür. NRC laboratuvar deneylerine dayanmaktadır. Laboratuvar ortamı mükemmel yakındır ve burada elde edilen sonuçları aynı malzeme uygulama alanında veremeyebilir. Ayrıca bu değer bir ortalama olduğundan, aynı değere sahip iki farklı malzeme de aynı uygulamada aynı performansı veremeyebilir. Genel olarak yüksek NRC değerli bir malzemenin daha düşük değerli olanına göre daha iyi bir ses yutma özelliğine sahip olduğunu söyleyebiliriz [205][236].

3.4.3 Ses yalıtımında kullanılan malzemeler

Yoğun (gözeneksiz), tek plaklı, homojen yapıli yapı elemanlarında ses yalıtımı esas olarak birim alanın ağırlığı (kg/m^2) ile orantılıdır. Ses azaltma genellikle yoğunlukla ilgilidir. Yüksek yoğunluklu malzemeler daha iyi bir ses azaltma verimi gösterirler. Selüloz gibi esnek malzemeler daha etkili ses absorbe eder. Selülozun diğeri yalıtım malzemelerine göre yoğunluğu daha yüksektir.

Düz cam plakasının ses yalıtım değeri 4 mm için 30 dB(A), 15 mm için 37 dB(A)'dır ve kalınlıkla hemen hemen doğru orantılı olarak artar. Tek plakalı konstrüksiyonlarda yüksek ses yalıtımı elde etmek için çok büyük kütle gerekir. Çift plakalı konstrüksiyonlarla çok daha yüksek ses yalıtımı sağlanabilir [237]. Plaka sayısını arttırarak ses yalıtımını arttırmak yanlış bir düşüncedir; bu şekilde ısı yalıtımı artar. Aynı kütlede ve aynı toplam kalınlıktaki üç plakalı bir elemanın ses yalıtımı daha kötüdür. Alınan yalıtım önlemleri ile 5-10 dB'lik bir iyileşme elde edilmelidir [238]. Yalıtımın başarısını sadece ölçü aleti olmamalı, o ortamda yaşayan insanlar da belirgin olarak hissetmelidir.

Yapılarda, duvar ve döşeme gibi iki boyutlu yapı elemanlarında ses enerjisi, geometrik nedenlerle fazla dağılmadan uzak mesafelere az bir kayıpla gidebilmektedir. Ses yalıtım malzemeleri, kapalı bir ortamda sesin yansıma süresini düzenleyen, gösterdiği dirençle ses enerjisini mekanik enerjiye ve ısı enerjisine dönüştüren ürünlerdir. Genel olarak ses yalıtımı aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

1. Yapı Yalıtımı

a- Duvar, döşeme, çatı uygulamaları;

Elyaf esaslı malzemeler (taşyünü, camyünü, selülozik elyaf...), Poliüretan esaslı malzemeler, melamin köpüğü, keçeler, delikli metaller, delikli ahşaplar, delikli alçı panolar, mantar levha, Mineral esaslı malzemeler (Perlit, Vermikülit, pomza...)

b- Döşeme Uygulamaları;

Polietilen esaslı malzemeler, kauçuk köpüğü, tekstil atığı keçeler, selülozelyaf.

2. Yalıtım Camı

Akustik laminasyonlu camlar

3. Endüstriyel Yalıtım

Elyaf esaslı malzemeler (taşyünü, camyünü, selülozik elyaf...), polietilen, poliüretan, kauçuk köpükler, yaylar, askılar, susturucular.

Son yıllarda, çevre ve halk sağlığı bilinci pek çok araştırma ve gelişmeye yön vermiştir. Yeşil ve sürdürülebilir malzemelerin akustik performansları ile ilgili literatürde yayın sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Genellikle geleneksel yalıtım malzemelerinden daha düşük çevresel etkiye sahip, toplam enerji gereksinimleri daha az ve ekolojik olan bu yeni ürünler piyasada yer almaktadır [239]. Gürültü kontrolünde kullanılan malzemeler genel olarak iki grupta toplanabilir.

1. Doğal malzemeler; Pamuk, keten, Koyun yünü, kil, perlit, vermikülit

2. Geri dönüşüm kaynaklı malzemeler; Kauçuk, plastik, tekstil atıkları, selüloz atıkları.

Doğal elyaflar genellikle iyi ses emicidirler. Doğal lifler içinde, her çeşit ses emici ihtiyacına uygun bir malzeme bulmak mümkündür. Pek çok geri dönüşüm malzemesi de gürültü kontrolü elemanı olarak kullanılmaktadır. Selüloz atıkları da yanma geciktirici ve mantar önleyici kimyasallarla desteklenerek kuru ve yaş uygulamaları ile yaygın olarak akustik düzenleyici olarak kullanılmaktadır. Kenaf, keten, kenevir,

koyun yünü, bambu veya Hindistan cevizi lifleri gibi birçok doğal malzemeler [240,241], iyi ses yutumu performansı gösterdikleri için oda akustiği ve gürültü bariyerleri için ses emici olarak kullanılabilirler. Ahşap ve mantar paneller yapıları nedeniyle zayıf ses emme özelliği gösterirler [242].

500 Hz'de, sentetik malzemelerin ses yutum katsayıları doğal malzemelerden üstündür. Genleştirilmiş kil ve mineral yünler geniş frekans aralığında (500-5000 Hz) 0.80 gibi ses yutum performansı gösterir [238]. Doğal ya da geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılmış sürdürülebilir akustik malzemeler [243], çoğu kez geleneksel sentetik malzemeler için geçerli bir alternatiftir. Keten veya atık selüloz liflerinin ses yalıtım özellikleri taş yünü ve cam yünü ile birbirlerine yakındır [244]. Darbe ses yalıtımı için mantar ve geri dönüştürülmüş kauçuk granül katmanlar kadar bambu [245], kenaf ve hindistan cevizi lifleri [246] gibi doğal malzemelerde iyi bir ses yalıtımı performansı göstermektedirler. Bu malzemeler genellikle, iyi bir ısı yalıtım performansı yanında uygun katkı malzemeleri ile yanma geciktiricilik özelliği de sergilerler, hafif ve insan sağlığı için zararlı değildirler [244][247, 248].

Gözenekli yapılar, kapalı bir mekanın akustik düzenlemesinde en sık kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler, orta ve yüksek frekans aralıklarında iyi bir ses emici olarak mineral veya selüloz lifi olabilir. Tipik gözenekli emiciler olarak, halı, akustik fayans, akustik(açık hücreli) köpükler, perdeler, yastıklar, selüloz veya mineral yün sayılabilir. Lifler arasında oluşacak boşluklarda sürtünme direnci değişikliğinin ses enerjisine etkisi, gözenekler içindeki küçük liflerin titreşimleri nedeniyle ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü şeklindedir. Enerji yoğunluğu sesin kat edeceği yol boyunca azalacaktır. Gözenekli malzemelerde ses emilimi, malzemenin yoğunluğu, kalınlığı, malzeme arkasındaki hava boşluğu ve yüzey yapısı ile ilgilidir [243].

Ahşap malzemelerde nem içeriği ölçüm sonuçlarının doğruluğunu etkilemektedir [249]. Yoğunluk değişiminin gözenekli malzemelerin ses emme performansı üzerinde çok az etkisi olduğu bilinmektedir. İri gözenekli emiciler, özellikle 500 Hz frekans altındaki düşük frekanslarda daha yüksek ses emilimi sağlarlar. Malzeme kalınlığı $\lambda/4$ ise sözü edilen frekans aralığında daha iyi bir performans sağlamak mümkündür [250]. Yani ses dalgaları parçacık hızı maksimum pozisyonda olduğunda, gözenekli bir malzeme $\lambda/4$ 'lük bir hava boşluğu mesafesi ile malzeme için ilave ses emilim performansı elde edilebilir. Gözenekli fiber yapılarda %20'den

fazla bir boşluk oranı ses emilimini etkilemez. Ancak, daha küçük bir boşluk oranı ise yüksek frekanslı ses emme performansını azaltacaktır [251].

Aglomera akustik malzeme hazırlamak için atık lastik, metal talaşı, plastik, tekstil atığı gibi pek çok geri dönüşümlü malzemeler, kullanılabilir. İstenilen performansı elde etmek için farklı boyutlarda geri dönüşümlü malzeme karışımı kullanmak yararlı olabilir; bu gibi durumlarda uygun bir oranda bir bağlayıcı ya da yapıştırıcı eklenmesi gerekmektedir [241] [252].

Kuru gevşek selüloz lifleri ses dalgalarının yüksek emilimi için uygundur. Mükemmel akustik duvar oluşturur. Dış etkenlerden gelen gürültülerin kontrol edilmesinde etkindir. Ses ve akustik özellikleri bakımından, geleneksel olanlar kadar iyi bir performans sergilemektedir [240]. Kapalı mekanlarda ses akustiğini düzeltmek için, geri dönüşümlü gazete kağıdından elde edilen selüloz elyafı, çoğunlukla alev geciktiriciler ve biyositler eklenerek kullanılır. Islak selüloz lifleri genellikle duvar veya tavana doğrudan püskürtülür, ses yutma özelliği mineral yün, koyun yünü, polistren -PST 40mm- levha, atık lastik, kenevir levha ürünlerine göre daha iyidir [257]. Diğer umut verici malzemeler metal talaşı ve tekstil aglomeralar vardır [253]. Atık lastikten elde edilen kauçuk kırıntıları geniş bant absorpsiyon spektrumu ve dayanıklılığı nedeniyle [129][254,255], özellikle trafik gürültü bariyerleri uygulamaları için uygundur.

Tekstil ve halı atık liflerinin granül atık karışımlarının oluşturduğu malzemeler de kat araları ve zeminde darbe sesi yalıtımında olumlu sonuçlar vermektedir [256,257]. Son zamanlarda atık pet şişelerden geri dönüştürülmüş polyester lifli malzemelerde ses emici materyal olarak incelenmiştir [258,259]. EVA (etilen vinil asetat) esaslı ayakkabı tabanı atıkları da elastik özellikleri ve düşük maliyeti ile geleneksel malzemelere alternatif olarak teklif edilmiştir [260].

3.4.3.1 Ses yalıtım malzemesinde aranması gereken özellikler

Yalıtım ürünleri, binalarda ses ve gürültü kontrolü için vazgeçilmez çözümler sağlar. Ancak, tüm ürünler benzer özelliklerde üretilmemektedir. Uygulama için bazı ürünler daha uygun olabilir. Akustik bir uygulamada en uygun ürünü seçmek için, sesin binada nasıl yayıldığının temellerini anlamak faydalı olacaktır. Ses enerjisi katı bir yüzeye çarptığı zaman yansıyabilir, iletilebilir veya absorbe edilebilir. Bu nedenle sesin karşılaştığı zemin yapısının, yani yalıtım malzemesinin bazı özelliklerinin

bilinmesi gereklidir. Bunlar; genel başlıkları ile yalıtım malzemesinin yoğunluğu, sertliği, hücre yapısı gibi doğrudan ses yalıtımına etkisi olan özelliklerin yanı sıra fiziksel, mekanik dayanım, nem, küf, böceklenme ve yanma dayanımı gibi genel özelliklerdir.

1. **Yoğunluk:** Bir ürünün yoğunluğu arttıkça hem ortam hem de darbe sesi yalıtım gücü de artar. Düşük yoğunluklu malzemeler ($110 - 130 \text{ kg/m}^3$ 'den küçük) yeterli ses yalıtımı yapamazlar. Ancak çok yüksek yoğunluklu malzemeler yapının statik yükünü artırarak başka sorunların ortaya çıkmasına yol açabilirler.
2. **Sertlik:** Sert malzemeler yüksek yoğunluğa sahip olsalar dahi darbe seslerini yalıtamazlar (Örn. beton). Esnek malzemelerin darbe emme yeteneği daha yüksektir.
3. **Hücresel Yapı:** Malzemenin açık hücrelere sahip olması (lifli ya da serbest granüllü yapı) ortam sesi yalıtımını performansını artırırken, kapalı hücrelere sahip olması (mantar gibi bal beteği yapısı) titreşimleri sönümlemesini sağlayarak darbe sesleri yalıtımında etkinliğini yükseltir.
4. **Fiziksel Dayanım:** Özellikle zeminde kullanılan ürünler sürekli olarak yüke ve darbeye maruz kalırlar. Zaman içinde meydana gelen çökme malzemenin orijinal yapısının bozulmasına ve ses yalıtım özelliğinin yitmesine yol açar.
5. **Nem ve Küfe Dayanım:** Lifli ya da sentetik malzemelerin neredeyse tamamı neme ve küfe karşı dayanıksızdır. Nem, küf ve bazen de bakteri oluşumları zamanla malzemenin yapısını bozar; yalıtım gücünün yitmesine yol açmakla kalmaz insan sağlığı için de tehlike oluşturur.
6. **Yangın Güvenliği:** Özellikle döşeme altında kullanılan ürünler yangına karşı dayanıklı olmalıdır. Yangınlarda yaralanma ve ölümlerin pek çoğu zehirlenmeden kaynaklanmaktadır. Yalıtımda çabuk alevlenen ve yandığında zehirli gaz çıkaran sentetik ürünler tercih edilmemelidir.
7. **Böceklenme:** Tıpkı bakteriler gibi böcekler de ilaçlama ile ulaşılamayan yumuşak yapı elemanlarına kolayca yerleşirler. Bu durum hem yalıtımın başarısız olmasına hem de sağlıksız bir mekanın ortaya çıkmasına yol açar.

3.5 Yangın yalıtımı ve malzemeleri

3.5.1 Yanma

Günümüzde, her an çevremizde olan ve hayatımızı kolaylaştıran pek çok alet, potansiyel yangın kaynakları durumundadır. Yangının çıkabilmesi için yanıcı madde–oksijen–tutuşma sıcaklığı üçlüsünün varlığı ve bunların uygun bir oranda bulunmaları gerekir. Eğer bu üçlünden herhangi birisi olmazsa yangın olmaz. Sıcaklık, oksijen ve yanıcı madde dengesindeki değişiklikler ise yangının şiddetini belirler. Bir yangının çıkmasına engel olmak veya mevcut bir yangını durdurmak için bu üç öğeden birini ortadan kaldırmak ya da aralarındaki dengeyi bozmak gerekir. Yangın 5 ana aşamada yayılır:

Isıtma Aşaması: Dış kaynak çevrede sıcaklığın artmasıyla ısınma.

Bozuşma Aşaması: Yanıcı gazlar çıkar.

Ateşleme Aşaması: Yükselen sıcaklık malzemeyi ateşler.

Yanma Aşaması: Isı ve duman çıkar

Yayılma Aşaması: Çıkan zehirli gazlar itilerek ısı çıkışıyla alevli yanma olur ve yayılır.

Yanma, fiziksel ve kimyasal bir reaksiyon olarak tanımlanabilir. Oksijen ile olan reaksiyon sonucu ışık ve ısı yayılımı olur. Ayrıca buna ek olarak düşük enerjili ürünler açığa çıkar (Su, Karbon dioksit ve Karbon monoksit). Malzemenin sıcaklık artışı; öz ısısına, yoğunluğuna, termal iletkenliğine, gizli ısısına ve buharlaşma ısısına bağlıdır. Ahşap malzeme direkt olarak yanmaz. Alevli yanma öncesinde piroliz yer alır. Şartlar bu şekilde devam etmesi durumunda ağaç malzeme, tamamen inorganik kalıntı olan küle dönüşünceye kadar pirolize devam eder [261].

3.5.2 Yangın yalıtımı

Gelişen teknolojik imkanlarla birlikte, ihtiyaçların da etkisiyle yüksek yapılar hayatımıza her geçen gün daha fazla girmektedir. Bu gelişim beraberinde yüksek yapılarla ilgili sorunları da getirmiştir. İşte bu sorunların en önemlilerinden bir tanesi de yüksek yapılarda yangın etkisidir. Yüksek yapılar insanların kaçış olanaklarını sınırladıkları için yangın güvenliği açısından iyi planlanmalıdırlar. Taşıyıcı sistemin yangından daha az etkilenmesi veya etkilenmemesi kaçış sürelerini değiştirmektedir. Taşıyıcı sistemlerde doğru korunum yönteminin uygulanması ve malzeme kullanımı

yüksek yapılarda yangın güvenliğinin sağlanabilmesi için önemlidir. 11 eylül 2001 tarihindeki Dünya Ticaret Merkezine (WTC) yapılan terör saldırısı binalarda uygulanan yalıtım yöntemlerinden, özellikle yangın yalıtımı konusunun önemini ortaya koymuştur. Gökdelenlerde yangın riskinin daha fazla olmasının en büyük nedeni, yangın anında sıcak gaz, alev, zehirli gaz ve dumanın yukarıya doğru hareket etme fiziksel özelliğinden kaynaklanmaktadır. yapı içinde daha dizayn aşamasında gerekli önlemler alınmaz ise, olası bir yangın anında yangın çıkan katın üstündeki katlar da kısa bir sürede yangına dahil olacaktırlar.

Geçmişte yapıların ana malzemesini taş, ağaç ve kerpiç gibi geleneksel malzemeler oluşturmuyordu. XV. yüzyıla ilişkin kayıtlarda, taşın hem temini hem de işçiliği pahalı olduğu için evlerin genellikle ahşaptan yapıldığı belirtilir [262]. Tarih boyunca yaşanan büyük depremler, yapıların depreme daha dayanıklı olduğu düşünülen ahşaptan inşa edilmesini teşvik etmiştir. Ahşap hiç kuşku yok ki depreme daha dayanıklıdır. Ancak, bu durum bizleri yangın gibi ciddi bir sorunla karşı karşıya bırakır. O dönemlerde "yangın yalıtımı" kavramı tam olarak bilinmemesine rağmen, insanlar bütünüyle uzak da değillerdi. Yangına karşı iki bina arasına tuğladan bir duvar örülürdü. 1800'lü yıllarda yaşanan büyük İstanbul yangınlarından sonra, "Yangın duvarı" olarak adlandırılan bu duvarın örülmesi zorunluydu. Bilinçli olarak yangın yalıtımının, bilinen ilk uygulaması budur [262].

Yapıların yangından korunması, sadece yangının meydana gelmesini önleme ve yangın esnasında yangına müdahale edilmesi değildir. Yangının yayılmasını önlemek ve yangından sonra binaların yeniden kullanımını sağlamak temel esastır. Yapı elemanlarını yangının etkisinden korumak ve yangına karşı direnç sürelerini artırmak amacı ile çevrelerini yanmayan, yangın sırasında bozulsa bile kolayca onarılabilen malzemeler ile kaplama yoluna gidilmelidir. Bazı hallerde koruyucu malzemenin bileşiminde yer alan çözücü maddelerin, parlayıcı ve yanıcı olması nedeniyle yalıtım malzemesi de son derece kolay tutuşmakta ve hızlı bir şekilde yanma özelliği kazanmaktadır. Bundan dolayı özellikle yalıtım malzemesinin çeşitli yanmayı engelleyici yada geciktirici maddelerle muamele edilerek yanmanın yavaşlatılması yada geciktirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Alman normu, DIN 4102 Bölüm 1'e göre yapı malzemeleri yangın güvenliği açısından sınıflandırılmışlardır. Alman Standardı'nın kısmî bir tercümesi olarak yayınlanan TS 1263 sayılı Türk Standardı da aynı sınıflandırmaya yer vermiştir.

Bu standartlara göre yalıtım malzemeleri şu şekilde sınıflanır;

.Yanmaz (A Sınıfı)

A1 sınıfı; kum, çakıl, alçı, beton, tuğla, seramik, organik bağlayıcısız camyünü, taş yünü.

A2 sınıfı; organik bağlayıcılı cam yünü, taş yünü, selüloz elyafı.

.Yanar (B Sınıfı)

B1 Sınıfı (Zor alevlenir); alçı-karton plaka, çimentolu odun talaşı, yanma geciktirici katkılı polistiren ve poliüretan köpük,

B2 Sınıfı (Normal alevlenir); ahşap, polipropilen boru, silikon derz dolgusu, yanma geciktirici katkısız polistiren ve poliüretan köpük.

B3 Sınıfı (Kolay alevlenir); katkısız ahşap talaşı, kâğıt ve diğer yanıcı maddeler.

Yangınlarda ilk dakikalar çok önemlidir. Yangın başladıktan sonra, her 30 saniyede bir, yangın iki katına çıkarken, ilk 4 dakikada da % 1100 yayılma gösterir. Isı saniyede yaklaşık 27 ° C yükselebilirken, yangınlardan ölümlerin % 90'ı evde ve uyku esnasında olmaktadır. Ev yangınları tüm yangınların %80'i kadardır [262]. Yangınlarda can kaybının çoğu alev geciktirici olmayan malzemeden çok yanma sırasında ortaya çıkan zehirli yan ürünlerin etkisinden olmaktadır. Yangının meydana geldiği yapının içinde sıcaklık, kısa sürede çok yüksek değerlere ulaşarak yapının yük taşıyan kısımlarının dayanıklılığını etkiler. Bir odada çıkan yangın ele alınırsa, sıcaklık zeminden tavana doğru artış gösterir. Bir süre sonra, tavanda sıcaklık yaklaşık 1000 ° C' ye ulaşabilir. Betonarme yapılarda malzemenin dayanımı 500 ° C' nin üzerinde 1/3 oranında azaldığından tavanın çökme riski oluşur. Bu nedenle yapının yük taşıyan kısımlarının yangın söndürülene kadar fonksiyonlarını sürdürmesi hayati bir öneme sahiptir.

Yük taşıyan yapı elemanlarının, yangın neticesinde oluşan ısıdan etkilenmemeleri için; aktif önlemlerin dışında yangının ve zararlı etkilerini, bina içinde ve komşu binalara yayılmasını yavaşlatacak, kişilerin yangın mahallinden güvenli bir şekilde tahliye edilmesine olanak sağlayacak yapısal önlemler alınmalı, taşıyıcı yapı ısı iletimi düşük olan, alev ve yanma geciktirici özellikteki yalıtım malzemeleri ile kaplanmaları gereklidir.

Yangın yalıtımı, yangının başlangıcından sönümüne kadar yıkılmaması için taşıyıcı kısımlara ve yangının civar yapılara/yapılardan sıçramaması için de çatı ve cephelere

ayrıca, kazan dairesi gibi özel odalara, ısı ve dumanın yayılmasına engel olmak için hava kanallarına da uygulanmalıdır.

3.5.3 Yanma geciktiriciler

Yanma geciktirme, yanmayı durduran ya da bastıran bir prosestir. Yanma geciktiriciler fiziksel ve/veya kimyasal olarak ortamda etkin olurlar. Yanma geciktirici maddeler fiziksel olarak; Ortamı soğutarak, Koruyucu bir katman oluşmasını sağlayarak ve katı veya gaz fazındaki yakıtın/yanıcı malzemenin seyreltilmesini sağlayarak engel olabilir.

Bir yapının yanma direnci, ahşap ve selüloz malzemenin yanmaz veya yanma geciktirici hale getirilmesi ile artırılabilir. Ağaç malzemenin yanmaya karşı dayanımının artırılması çalışmaları ilk medeniyetlere kadar uzanmaktadır. Eski Yunanlılar, ağaç malzemeyi deniz suyuna batırmışlar, Mısırlılar alüminyumlu çözeltilere daldırmışlar, Romalılar ise kil, kireç ve balçık karışımını odun üzerine sürerek ateşe karşı yanma önlemleri almayı denemişlerdir [263].

Bilinen modern su bazlı yangın geciktiricilerin formüle edilmesi 1821 'de Gay-Lussac tarafından başlamıştır. Gay-Lussac amonyum fosfat, amonyum klorlu amonyum fosfat ve boraks amonyum klorür kimyasallarının selülozik liflere uygulandığında yangına karşı çok iyi koruyucu sonuç verdiğini belirtmiştir [264].

Alev (yanma) geciktirici ve duman bastırıcı malzemeler, katkı maddeleri ve reaktifler olarak iki ana gruba ayrılırlar. Alev geciktirme ve duman bastırmada inorganik mineraller/bileşikler önemli rol oynamaktadır [265]. Genelde alev geciktiricilerden iki görev istenir. Öncelikle alev geciktirme etkisine sahip olmak ve daha sonra içine katıldığı ana malzemenin işlenme özelliklerine zarar vermemek/uygun olmak. Alev geciktirici ilavesi, ateşe karşı oluşturulan direncin bir ölçüsüdür. Sonuçta, tüm organik ve inorganik malzemeler yanar. Ancak alev geciktiricilerin önemi, katastrofik yanmayı geciktirmek veya yangın hasarını en aza indirmektir [266]. King ve Matteson, Jessome, Johnson, Gerhards, Winandy'e göre yangın geciktirici kimyasallar kömürleşmeyi arttırmakta, ısıl bozunma sıcaklıklarını düşürmekte, yanıcı sıvı ve gaz miktarını azaltmaktadır [267, 268].

Ohlemiller, borik asit (yanma geciktirici) ve boraks'ın (alev geciktirici) her ikisinin de selülozik izolasyon malzemesine katkı olarak konduğunda yanma sırasında alev geçişini ortadan kaldırılabildiğini tesbit etmiştir [269]. Alev geciktirici malzemeler, ısı

veya alev maruz kaldıklarında alev almayan gazlar çıkarırlar. Bu gazlar alevin yayılmasını engellediği gibi şiddetini de azaltıcı etki yapmaktadır [270].

Yanma geciktiriciler ürünlere üretim aşamasında ya da sonradan eklenen kimyasallardır. Termal kararlılıkları nedeni ile yanmayı geciktirir veya önlerler. Kimyasal yapılarına göre bromlu, fosforlu, azotlu, mineralli ve inorganik bileşikler olmak üzere beş alt grupta sınıflanırlar [271]. Yaygın olarak kullanılan yanma geciktiriciler şunlardır;

1. Halojen içeren yanma geciktiriciler
2. Fosfor içeren yanma geciktiriciler
3. Anorganik yanma geciktiriciler

Halojenli alev geciktiriciler etkilerini yanma prosesini keserek sağlarlar ve böylece çıkan duman miktarı artar. Bu alev geciktiriciler plastiklerin yanmasını önleyemezler fakat katastrofik yanmayı engellerler, kontrol edilebilir yangınlarda hasarı sınırlar veya kurtarma operasyonlarında zaman kazandırır. Halojenik yanma yan ürünlerinin korozif yapısından dolayı 1980 ve 1990'ların başında kanuni tedbirler getirilmiştir, ABD, İtalya ve Japonya'da kablo üretiminde PVC'nin yerini halojen içermeyen alev geciktirici poliolefinik malzemeler almıştır [266].

Anorganik bileşikler, organiklerin tersine ısı etkisi altında buharlaşmazlar daha ziyade ayrışarak, su ya da karbondioksit gibi yanıcı olmayan gazlar çıkarak malzeme yüzeyinde termal geri dönüşümlere kalkan olurlar. Alüminyum hidroksit en çok kullanılan ve bilinen anorganik maddedir. Bor ürünleri özellikle çinko borat ve borik asit de yangın geciktirici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çinko borat Alüminyum trihidrat (ATH) ile birlikte kullanıldığında halojen olmayan bir kömür oluşmaktadır. Ayrıca bor ürünlerinin kullanılması, bu etkilerin yanında, yangın sırasında daha az duman ve zehirli gaz ortamının oluşmasını sağlamaktadır. Yangın geciktiriciler genellikle gaz fazında veya kondense olmuş fazda bulunurlar. Bu fazda yanan malzeme yüzeyinde karbon tabakası oluşturur ve dehidratasyonun gelişimini sağlar. Alev geciktiriciler gaz fazında gerçekleşen yanma prosesinin radikal mekanizmasını durdururlar. Böylece alevde gerçekleşen ekzotermik prosesle durdurulur bu da sistemin soğumasını ve yanıcı gazların azalmasını sağlar [272]. Yanma sırasında malzemenin dış yüzeyi yanar ve kömüre dönüşür. Yanma ile oluşan bu kömür tabakası çok etkili bir ısı yalıtıcıdır. Bu yüzden yanma yavaşlar. Ayrıca

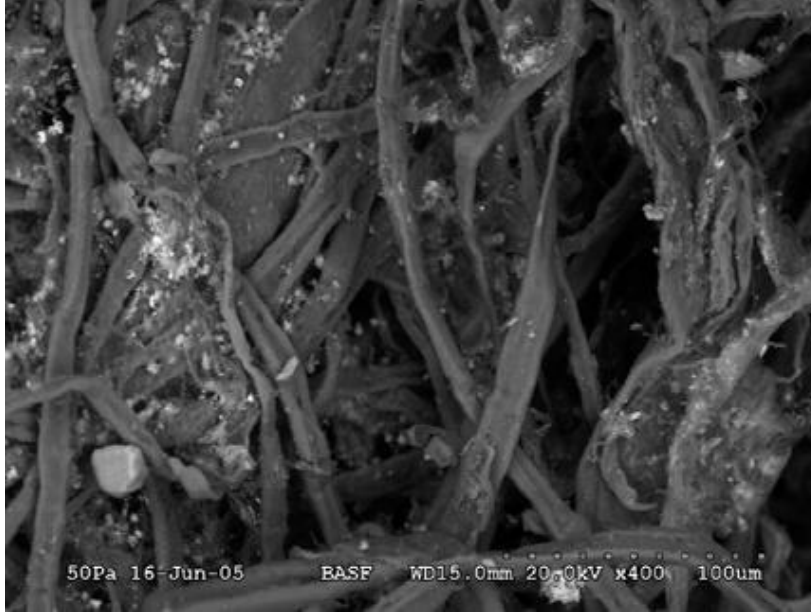
selüloz da çok iyi bir ısı yalıtkanıdır. 2 cm'lik bir selüloz pelet yanarken dış yüzeyin ısısı 800 °C iken arka kısımdaki ısı hala 40° C' dir [273].

Belli oranlarda ilave edilen alev geciktirici katkı maddeleri hem kolay yanıcı ana malzemeyi seyreltmekte hem de ana maddenin oksijen indeksini azaltmaktadır. Oksijen indeksi (LOI) ana maddenin yanmasına devam edebilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarıdır. LOI testleri numunenin yanması için gerekli oksijeni belirler.

3.5.4 Selülozik yalıtım malzemelerinde yanma geciktirici olarak bor kullanımı

Selüloz aslında dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Ağaç, selülozun hammaddesidir ve yapıların vazgeçilmezidir. Selülozik madde olarak mısır koçanı, saman, pamuk, talaş-yonga, kenevir ve benzeri pek çok bitkisel malzeme kullanılmaktadır. Bu gün kullanılan selülozik yalıtım malzemesinin temel hammaddesi ise ahşap bazlı selülozdan üretilen atık kağıt ve mukavva benzeri geri dönüşüm ürünleridir. Yanmasında, düşük yoğunluklu fibröz yapısı vurgulanır. Selülozik yalıtımda yanma genellikle alevsiz yanma (smouldering) şeklinde gerçekleşir. Selülozun bu yanma şekli boraks, borik asit ve amonyum sülfat gibi katkı maddeleri ile nispeten daha iyi kontrol edilebilir [274-276].

Atık kağıt elyafı, kağıdın yapısından gelen safsızlıkları içerir. Kolay tutuşur ve yanıcı sıvılar salarak yanar. Erimez. Alev kaynağı çekildiğinde yanmaya devam eder. yumuşak gri, siyah renkli kül bırakır. Kendine has yanık kokusu bırakır. Selüloz elyafı, Pamuk, Keten gibi diğer doğal elyaflarla aynı karakteristik özelliği gösterir. Sıkıştırılmış bir selüloz malzemedan, 400° C' de yanma sonrasında geriye kömür kalır. Selüloz ve kömürün termik izolasyon özelliği iyi olduğundan, selüloz peletinin iç kısımlarına ısı geçiş hızı, kömürleşme kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Sonunda iç kısma geçen ısı, yanıcı gazların çıkması için yeterli olmaz. Bu şartlar altında alev yavaşlar,söner ve dışarıdan herhangi bir ısı kaynağı takviyesi olmadıkça, yanan kısım yavaşça soğur. Yanan malzemenin bu kendi kendini söndürme özelliği malzemeye, yangına karşı koruyucu bir özellik katmaktadır. Ancak, sıcaklık 500 ° C' ye ulaşırsa, kömürleşen kısım da yanarak geriye kül kalmaktadır [277].



Şekil 3.11 : Bor ve borik asit katkılı selülozik elyafın SEM görüntüsü [278].

Selülozdaki piroliz 350°C ' de başlar. Piroliz sonucu açığa çıkan gazlar birbirleri ile ve oksijen ile reaksiyona girerler, bunun sonucunda tutuşma ve yanma başlar. Kendi kendine yanabilmesi için sıcaklığın 275°C 'ye çıkarılması gerekmektedir. Bununla birlikte herhangi bir tutuşturucu alev kaynağı varlığında çok daha düşük sıcaklıklarda tutuşarak yanabilmektedir. Tutuşma sıcaklığı, çevre koşulları ve termal bozunma altındaki malzemeye bağlı olarak birçok faktör tarafından etkilenebilir. Sözü edilen faktörler, tür, özkütle, yüzey emiciliği, piroliz karakteristikleri, termal iletkenlik, özgün ısı ve içerdiği ekstraktiflerdir [279]. Selülozik yalıtım malzemelerinin alevsiz yanma tehlikesi üç kademede incelenebilir [280].

1. Alevsiz yanma başlangıcı
2. Alevsiz yanma yayılması
3. Alevli yanmaya geçiş

Alevsiz yanma sürecinde, katı oksidasyon kinetiği hakimdir. Yanmanın yayılması, yanma bölgesine taşınacak oksijen oranına bağlı olarak büyük ölçüde kontrol edilebilir. Ohlemiller ve Rogers, yayılma kontrolü, oksijen taşınımı ,tüketilen oksijen oranı için; 18 cm kalınlığındaki %25 Borik asit katkılı gevşek dolgu selülozik malzeme için yaptıkları deneysel çalışmada; borik asitin alevsiz yanma yayılma hızını % 50 engellediğini ancak, 0.3 - 0,15 cm/dk'lık yanma ilerleme hızının, yangını durdurmaya yetmediğine işaret etmişlerdir [281]. Ayrıca; borik asitin yanmanın ikinci kademesindeki yavaşlatma etkisinin, birinci kademeye çekilmesinin

yanma güvenliği açısından daha etkili olacağını belirtmekte ve yeni çalışmaların hedefinin bu yönde olmasının gerektiğini vurgulamaktadırlar [282]. Kokkala, cam yünü ile mukayese edildiğinde, kendi kendine yanma sürecinin selüloz elyafı için bir risk oluşturduğunu, Kaurinnvaha, ise bitkisel kökenli yalıtım malzemeleri gibi selülozun da bu özelliğinin giderilebilmesi ve yanma geciktiricilik kazanabilmesi için elyaf yapısına bağlı olarak, ağırlıkça yaklaşık %13 - 25 oranında bor bileşiklerine ihtiyaç olduğunu belirtmiştir [275][283].

1949 'dan beri atık gazete kağıdı kullanılarak selülozik yalıtım malzemesi yapımı hakkında yüzden fazla alınmış patent vardır. Bunların çoğu, bir diğerinden farklı yanma geciktirici kimyasallar içeren tariflerdir, bunlar genelde; Amonyum fosfat, amonyum sülfat, karbonatlar, borik asit, sodyum tetraborat ve bunların birbirleri ile farklı karışımları halindedir (U.S. Pat. No: 4,168,175 / 4,224,169 / 4,342,669 / 4,349,413 / 4,595,414 / 5,455,065 / 5,534,301 v.d.) Alev geciktirici olarak en yaygın kullanılan çinko borat'dır. Ana üreticisi US Borax olan ürün $2ZnO.3B_2O_3.3,5H_2O$ olarak formülize edilmektedir. Bununla birlikte farklı bileşimler ve ticari isimler adı altında çeşitli çinko borat ürünü vardır. Çinko boratın alev geciktirici malzeme olarak alüminyum trihidrat ile birlikte kullanımı artarak yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks ve borik asit de alev geciktirici olarak kullanılmaktadır [284]. Baysal [285], Hafızoğlu ve diğ. [286], odunun yanma özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında borik asit ve boraks karışımı ile muamele ettikleri deney örneklerinde Borik asit ve boraksın yanmayı ve yıkımı geciktirdiği sonucuna varmışlardır. Borlu bileşiklerin hem uygulanmalarının kolay olması, dünya bor rezervlerinin % 75 gibi büyük bir kısmının ülkemizde yer alması, aynı zamanda selülozik malzemeyi biyotik etkenlere karşı koruması ve biyolojik çevrede birikim yapmaması vb. [287, 288] gibi sebeplerle kullanımları hem, pratik hem de ekonomik olmaktadır.

Günümüzde yalıtım malzemelerinin yanmasının geciktirilmesi ve engellenmesi amaçlı, inorganik esaslı kimyasal maddeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar içinde en çok kullanılanlar : Amonyum sülfat, amonyum klorür, boraks, borik asit, fosforik asit ve çinko klorürdür. Bu tuz esaslı kimyasal yanmayı engelleyici maddeler, yanma esnasında malzemenin kömürleşmesini hızlandırmakta, oluşan bu kömür tabakası yanma sırasında, izolasyon tabakası rolü oynayarak, kolay tutuşabilen gazların oluşumunu önlemektedir [289, 290]. Borlu bileşikler, yanmaya

karşı malzemenin direncini artırması yanında, biyolojik zararlılara karşı koruyucu etkileri, suyla çözünerek kolayca uygulanabilmeleri, ucuz ve temini kolay olması, insan ve diğer canlılar için düşük zehirlilikleri nedeniyle güncellik kazanmışlardır [287][291].

Bor ürünleri, ergiyerek yanan yüzeyi kaplamak sureti ile alev geciktirici ve duman bastırıcı etki oluşturmaktadır. Suda çözünen bor ürünleri; boraks ve borik asit, uzun yıllardan beri selülozik yalıtım malzemesi üretiminde, çinko borat ise PVC uygulamalarında kullanılmaktadır. Bor, inşaat sektöründe yanmayı geciktirici özellikli yalıtım ve ahşap malzeme üretiminde de kullanılmaktadır. % 30'luk sodyumoktaborat çözeltisi ile işlem gören ahşap malzeme çürüme ve kurtlanmaya karşı dayanıklı hale gelmektedir. Gelecek yıllarda borun yoğun kullanılacağı bir başka inşaat sektörü, çimento ve beton sanayi olacaktır.

Ateşe dayanıklı madde olarak selülozik yalıtım maddelerinin kullanımı, borik asit talebinin artmasına yol açmıştır. A.B.D.'de uzun zamandır kullanılmakla birlikte, dünya üzerinde son yıllarda çok fazla yaygınlaşmaya başlamıştır. Alev geciktirici ürünler olarak dünya toplam bor tüketimi B_2O_3 bazında 25,000 ton seviyesine ulaşmış olup bu miktarın yaklaşık 15,000 ton kadarı ABD'de tüketilmektedir. Bu tüketim içindeki büyük payı yaklaşık 12,000 ton ile selülozik yalıtım malzemeleri almaktadır [292].

Alev geciktirici uygulamalarda bor ürünlerinin bir başka etkisi ise bu amaçla kullanılmakta olan diğer kimyasallar ile birlikte yarattıkları sinerjidir. Bu nedenle, çinko borat alüminyum trihidrat ile, amonyum floroborat antimontrioksit ile birlikte kullanılmaktadır. Alev geciktirici olarak kullanılan bor bileşiklerinin başında çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum fluoborat gelmektedir. Suda çözünen bor ürünleri; boraks ve borik asit, uzun yıllardan beridir selülozik yalıtım malzemesi üretiminde, çinko borat ise PVC uygulamalarında kullanılmaktadır. Bor bileşikleri plastiklerde de yanmayı önleyici olarak giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Ürün, alev geciktirici olarak pazar payında Avrupa'da % 2/yıl, Kuzey Amerika'da ise % 4/yıl olarak büyüme göstermektedir. US Borax'ın bu alandaki yıllık büyüme hedefi % 15'dir [293].

Selülozik elyafın yanma dayanımı, malzemenin yapısı göz önüne alındığında önemli bir özelliğidir. Selüloz genel yapısı itibariyle yanmaya karşı dayanıklı değildir.

Malzemenin içine yanmayı geciktirmek için yaklaşık %20 oranında boraks bileşikleri ve kimyasallar eklenir [282]. Kokkala, yaptığı çalışmada cam yünü ile karşılaştırarak selülozun alevsiz yanmasını bir risk olarak tariflemiştir [275]. Kauriinvaha ve ark., yaptıkları bir çalışmada keten ve geri dönüşümlü kağıttan yapılmış yalıtımların benzer olduğunu, yanma dayanımlarını sağlamak için boraks bileşiklerinden % 13 oranında katılmasının yeterli olacağını ancak kenevir ile yapılan izolasyonlar için bu değer % 25 oranına ulaşacağını belirtmişlerdir [283].

Yanma geciktirici tüketiminin önümüzdeki yıllarda % 4-5 oranında artacağı beklenmektedir. Bu artışın nedeni, özellikle otomotiv endüstrisinde başlamış olan yeni uygulamalar ve dünya genelinde giderek önem kazanan yangın emniyeti uygulamaları olacaktır. Bor esaslı alev geciktiricilerin tüketiminde beklenen artışın bir diğer nedeni de halojen esaslı yanma geciktiricilerin çevresel etkileri nedeni ile kullanımdan kalkacak olmalarıdır. Etkin çevre örgütlerinin halojen esaslı alev geciktiriciler aleyhinde düzenledikleri kampanyalar bu ürünlerin tüketimini önemli ölçüde düşürmüştür. Yanma geciktirici olarak etkileşim etkisi yüksek bir ürün olan antimon trioksit III. Kategori kanserojen olarak sınıflandırılmış olması da çinko borat esaslı yanma geciktirici tüketimini artıracaktır.

Benzer şekilde selülozik yalıtım malzemelerine alternatif olan ürefoormaldehit esaslı yalıtım malzemelerinin de kanserojen etkileri nedeni ile kullanımlarının kısıtlanacak olması, bor esaslı selülozik yalıtım malzemelerinin kullanımında ve pazarının genişlemesinde etkili olacaktır. Borik asit ve sodyum perboratın sulu çözeltileri ahşap ve selülozik malzemeye çok iyi nüfuz edebilmektedir. Bor tuzları + Su İtici Monomerler şeklinde uygulanan kombinasyonların selülozun yanma direncini artırdığını, su itici monomerlerin ise yanmada yıkılmaya kadar geçen süreyi uzattıkları belirlenmiştir [294].

İyi bir yanma geciktirici katkı malzemesi; birlikte kullanılan malzeme ile uyumlu olmalı, kimyasal ve fiziksel (mekanik) özelliklerini değiştirmemeli, hidroliz direnci olmalı, korozyona neden olmamalı, sıcaklığa dirençli olmalı, az miktarda kullanılmalı, kokusuz ve insan sağlığı için zararlı olmamalı, düşük seviyelerde duman ve toksik gaz çıkarmamalı, ekonomik ve kolay bulunabilir olmalıdır.

3.5.5 Yangın yalıtım malzemeleri

Yangın yalıtımı, tasarım aşamasında başlar. Yapılarda yaşayan insan ve hayvanların can güvenliği ve eşyanın kurtarılabilmesi bakımından, yapı malzemeleri seçilirken, bunların yanıp yanmadığı veya yangına ne kadar süre direnç gösterdiği hesaba katılmalıdır. Buna karar verirken yapının büyüklüğü ve yüksekliği de göz önünde bulundurulur, çünkü yangın söndürme ve kurtarma çalışmalarında en önemli faktörlerden biri de yapının boyutlarıdır. Yapı elemanlarında en önemli konu, taşıyıcı sistemin yangın sırasında zarar görmesidir. Barınma, sağlık, sosyal, kültürel, eğitim, endüstri ve dini amaçlı yapılar, özel veya toplu kullanıma göre yapısal farklılıklar gösterir. Yangın ise insanlara bir panik halini yaşatır. Özellikle toplu yerlerde ,acil durumlarda bu psikolojik tesirlere bağlı insan davranışları, yapının fiziksel boyutları ile ilişkisi planlamada kaçışlar için çok önem taşır. Üç dakika devam eden ev yangınları kontrol altına alınamayabilir. Bu, mimarın ve yapacağı tasarımın sorunudur. Mimar;teknolojik,işlevsel, ekonomik ve estetik amaçları ile birlikte yapısının yangın güvenliğini de üstlenmek ve çözmek zorundadır [294]. Çelik taşıyıcılar ise, eğer hiçbir önlem alınmamışsa taşıyıcı özelliğini 5-10 dakikada kaybedebilir. Çelikler 400 santigrat derecede mukavemetlerini kaybederler [295]. Çakıl ve iri kumlar ise, 575 santigrat derece sıcaklıkta %7 ile% 1.4 lük bir genleşme gösterirler. Bu nedenle, yangın riski yüksek yerlerde kullanılmamalıdır [296]. Gross J. ve ark, betonun ısı direnci üzerine yaptıkları çalışmada, ısı artışına bağlı olarak betonun yapısal bozunma, çökme, çatlama ve çelik aksamdaki değişimler gözlenmiş ve yanma sırasında 45-50. dakika arasının kritik dakikalar olduğu tespit edilmiştir [297].

Yangın yalıtımında, yapı elemanlarının, yangın sırasında belirli süre için sağlaması gereken, yük taşıma, yalıtım ve bütünlük gibi özelliklerini devam ettirmesi istenir. Yapı yalıtımı ve endüstriyel yalıtım uygulamaları yapıda genellikle duvar, döşeme ve çatı uygulamaları olarak gerçekleşir. Yangın yalıtımında yanmaz (A sınıfı) ve ısı geçişine yüksek direnç gösteren malzemeler yapının duvarlarına, tavanlarına, döşemelerine ve hava kanallarına sabitlenir. Bu amaçla kullanılan malzemeler; Camyünü, taşyünü, selülozik elyaf, alçı panolar, lifli çimento panolar, seramik yünü, perlit, vermikülit, cam köpüğü, kalsiyum silikat, özel mastikler, ısı ile genleşen özel boyalar, özel kapı ve cam fitilleridir.

Alman Standart ve İmar Yönetmeliklerinin getirdiği temel zorunluluklardan bazıları şunlardır;

- Kolay alev alan B3 sınıfı malzemeler yapılarda kullanılamaz,
- Normal alev alan B2 sınıfı malzemelerin alev almadığı veya yanarak damlamadığı kontrol edilir,
- 3 kat ve daha yüksek yapılarda, cephe kaplaması A sınıfı malzemelerden olmalıdır,
- 3 kat ve daha yüksek yapılarda, kaçış yolları ve genel koridorların duvar ve tavanlarındaki ısı ve ses yalıtımları A sınıfı olmalıdır,
- 6 kat ve daha yüksek yapılarda, cephe ısı yalıtımı A sınıfı malzemelerden olmalıdır,
- Her türlü yapıda, havalandırma kanallarının ısı ve ses yalıtımları A sınıfı olmalıdır.

Ayrıca, küçük ve alçak yapılarda kullanımına izin verilen B1 ve B2 sınıfı malzemelerin dahi, yangına dirençli sıva veya kaplamalar arkasında kullanılması şeklinde zorunluluklar vardır. Buna benzer kısıtlamalar henüz ülkemizdeki yönetmeliklerde yer almamıştır [298].

Genel olarak yangından korunmada şu amaçlar göz önünde bulundurulmalıdır [29].

- a) Tehlikedeki insanların can güvenliğini sağlamak ve onlara yangın sırasında yeterli kaçış zamanı sağlamak,
- b) Yangının başlangıcını ve yayılışını yeterince geciktirmek,
- c) Yapının çökmesini engellemek
- d) Yangının söndürme işlemine başlama olanağı vermek,
- e) Yangının yaratacağı her türlü maddi kayıp ve hasarı en alt düzeyde tutmak.

Bu amaçları gerçekleştirmek için, yangının yol açabileceği tehlikeleri bilmek belli stratejilerle çeşitli taktikler almak gerekmektedir. Bu taktiklerle sağlanacak başarı derecesi, yapının yangın güvenlik derecesini belirliyecektir

Yangın güvenlik önlemleri ikiye ayrılmaktadır.

1. Aktif Yangın Güvenlik Önlemleri
2. Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri

Kanada hükümeti ile alçıpan, camyünü ve selülozik yalıtım malzemesi üreticileri birliğinin ortaklaşa düzenledikleri yanma testinde, farklı yalıtım ürünleri ile yalıtılmış bina modelleri ile "Big Burn" yanma simülasyonu gerçekleştirilmişti. Bu test sonunda duvar boşlukları selüloz elyafı ile yalıtılmış bina bloğunun yanma

direnç performansı yalıtımsız (duvar bölmeleri alçıpan kaplı) bloğa oranla % 55, camyünü yalıtımlı bloğa oranla % 22 daha fazla dayanıklı olduğu görülmüştür [300].



Şekil 3.12 : 1988 yılında yapılan "The Large Scale Outdoor Fire Demonstration Program" adlı test gösterisi [300].

Benzer bir deneyde 1998 yılı Temmuz ayında Greenstone Industries Inc.'in sponsorluğunda "The Large Scale Outdoor Fire Demonstration Program" adı altında gerçekleştirilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3.12). Her üç yapıda da ilk 8 dakikada ısı 800°C ' yi bulmuş fakat selülozik yalıtım yapıya fazladan 27 dakika yanıl yayılımı direnci sağlamıştır. Camyünü kaplı ve yalıtımsız binada çökme aynı zaman diliminde başlamasına rağmen, Selülozik yalıtımlı binanın çöküşü, diğer binaların çöküşünden 24:32 dakika sonra gerçekleşmiştir [300]. Yapılan testlerin sonucunda selülozik yalıtım malzemesi yanmaya karşı diğer yalıtım malzemesi türlerine kıyasla % 57 daha dayanıklı çıkmıştır ve DIN 4102 normlarına göre A2 yanmaz malzemeler sınıfında anılmaktadır.

3.5.6 Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)

Atmosferde %21 oksijen mevcuttur. Geri kalanı (N_2 , CO_2 , su vs.) yanmayı desteklemez. Oksijenin, azota oranı arttıkça havada kendi kendini söndüren bazı malzemeler yanarlar. Tam tersine bu oran azaldıkça havada kolayca yanan malzemeler, azotun zengin olduğu ortamda kendiliğinden sönerler. Bu olay alevlenme – yanma testlerindeki sınıflandırmalar için çok önemli bir göstergedir.

LOI (Limiting Oxygen Index), oksijen – azot atmosferi içerisinde bir alevi başlatmak ve arttırmak için gerekli olan minimum oksijen konsantrasyonunun ölçüsüdür. Bir başka deyişle, LOI değeri, bir malzemenin havada yanmaya devam etmesi için gereksinim duyduğu % oksijen miktarıdır.

Farklı polimerlerin yanma davranışlarını belirlemek için, Mark ve Atlas LOI'yi geliştirmişlerdir [301]. Testin ana amacı, ortamda beklenen oksijen konsantrasyonundan %5 daha fazla oksijen bulunan ortamda dahi yanması mümkün olmayan malzemeleri ayırt etmektir. Testin pratikliği, ekipmanın ucuz ve gerekli örnek miktarının az olması nedeniyle sık uygulanan bir metottur. LOI test metodu, malzemelerin alevlenebilirliği ve yanma karakteristiklerini görme açısından en iyi test metotlarından birisidir. Birçok organik malzemenin LOI değeri 14 ile 30 arasında değişmektedir.

Genel olarak, LOI değeri 26'dan büyük malzemeler, yani yanmaları için %26 O₂ gereken malzemeler, havada kendi kendini söndüren malzemelerdir ve yanmaya karşı dirençlidirler [302]. En düşük LOI değerli malzemeler ise kolayca tutuşup, yanarlar. Atmosferde, oksijen miktarı %100'e ulaşırsa, çok az malzeme yanmaya karşı direnebilir [303,304].

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Malzeme

4.1.1 Selüloz Elyafı

Çalışmada, yalıtım malzemeleri üreten ve uygulayan ‘YALİZ A.Ş.’ firmasından temin edilen, iki tip selüloz elyafı kullanılmıştır. Birincisi, firmanın standart ürünü olan, %21 Boraks ve Borik Asit içerikli selüloz elyafıdır. Ürün karakteristiği Çizelge 4.1'de verilen bu ürünü, firma halen ‘serpme’ ve ‘dökme’ metodu uygulayarak bina yalıtımında kullanmakta ve satışını yapmaktadır. İkinci tip malzeme de, aynı firmadan temin edilen içinde herhangi bir kimyasal katkı olmayan 'boş' selüloz elyafıdır. Her iki tip malzeme de -3 mm boyutludur ve fiziksel olarak aynı özelliktedir.

Çizelge 4.1 : Yaliz A.Ş. firması tarafından üretilen selülozik elyaf isimli ürünün özellikleri [305].

Teknik özellik	Katkısız	Katkılı
	Değer	Değer
Yoğunluk, kg/m ³	15- 90	15-150
Isı iletkenliği, W/mK	0.036-0.038	0.036-0.038
Nem denge miktarı,%	10-20	10-20
Bağıl nem, %	11.26	11.26
pH değeri	9.0	7.8 – 8.3
1000 Hz’de ses yutum katsayısı, α	0.85	0.85
Yangın sınıfı - DIN4102	B1	A2

4.1.2 Mineral Katkı Maddeleri

Bu çalışmada, numunelerde kullanılan genleştirilmiş perlit GENPER firmasından temin edilmiştir. Piyasada boyutlandırılmış olarak No:2 ürün kodu ile satılan 0.5 – 0.2 mm arası tane boyutlu Kriyojenik Perlit ve Perlisol-P12 olarak kodlandırılan 3 - 0.5 mm arası tane boyutlu genleştirilmiş inşaat perliti kullanılmıştır. Tane boyutu büyüklüğü dışında mineral ve kimyasal yapı olarak aynıdır. Her iki boyuttaki genleştirilmiş perlitin yoğunluğu 45-60 kg/m³ arasında değişmektedir. pH derecesi 7'dir, asit ve alkalilerden etkilenmez. Genleşme ısısı 1200 °C'dir. Genleştirilmiş

perlitin kimyasal bileşiminde mineralojik dağılım; SiO₂ %74, Al₂O₃ %14, Na₂O %3, K₂O %5, MgO %0.5, CaO %0.5, Fe₂O₃ %1 şeklindedir [306].

Testlerde, piyasadan temin ettiğimiz genel olarak toprak ıslahında kullanılan Güney Afrika (Palabora)'dan ithal, 0.5-3 mm boyutlu genişletilmiş vermikülit kullanılmıştır. Yığın yoğunluğu 0.065 - 0.130 gr/cm³'dür. Palabora vermikülitinin kimyasal bileşiminde mineralojik dağılım; SiO₂ %39.37, MgO %23.37, Al₂O₃ %12.08, Fe₂O₃ %5.45, FeO %1.17, K₂O %2.46, CaO %1.46, TiO₂ %1.25, H₂O %11.2 şeklindedir [154].

Testlerde, Fakültemiz Cevher Hazırlama Pilot Tesisi numune stoğunda bulunan IsıBims A.Ş.'ye ait iri parçalı pomza, 150 mikron boyutuna öğütülerek, kuru olarak selülozik elyaf yapıya eklenmiştir. Pomzanın deklare edilen [155] genel kimyasal bileşimi ; % 60-75 SiO₂, % 13-17 Al₂O₃, % 1-3 Fe₂O₃, % 1-2 CaO, % 7-8 Na₂O - K₂O ve eser miktarda TiO₂ ve SO₃'den oluşmaktadır.

Bu çalışmada, diatomitin yüksek gözenekliliğinin selülozik elyaf yapıya ısı ve ses yalıtımında olumlu katkı sağlayabileceği düşüncesi ile tercih edilmiştir. Testlerde, Kütahya - Alayunt bölgesi doğal diatomiti kullanılmıştır. Ham malzeme 150 mikron boyutuna öğütülerek, kuru olarak selülozik elyaf yapı içerisine eklenmiştir. Alayunt bölgesi diatomitinin kimyasal bileşimi [307]; SiO₂ %84.42, Al₂O₃ %5.02, FeO %1.55, MgO %0.74, CaO %0.96, Na₂O %0.62, K₂O %0.6, TiO₂ %0.05 şeklindedir.

Çalışmada kullanılan bor ve borik asit ETİ Maden A.Ş.'den temin edilmiştir. Bor Eskişehir - Kırka maden yataklarından üretilen Tinkal (Na₂B₄O₇.10H₂O) cevheridir. Sertliği 2-2,5, özgül ağırlığı 1.7 gr/cm³ ve B₂O₃ içeriği %36.5'dir. Katkı olarak, 100 µm boyutlu malzeme kuru şekilde sisteme beslenmiştir.

Çalışmada kullanılan kimyasal ve mineral katkı maddeleri ve yapıdaki kullanım amaçları Çizelge 4.2'de topluca verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Katkı olarak kullanılan malzemeler ve kullanım amaçları

Katkı Maddeleri	Kullanım Amacı
Na ₂ SiO ₃	Nemlendirici, bağlayıcı, yanma geciktirici
Bor, Borikasit	Yanma geciktirici, böcek ve küf engelleyici
Perlit	Isı ve ses yalıtımını destekleyici
Vermikülit	Isı ve ses yalıtımını destekleyici
Diatomit	Isı, ses yalıtımını ve mekanik dayanımı destekleyici
Pomza	Isı ve ses yalıtımını destekleyici

4.1.3 Kimyasal Maddeler

Kimyasal maddeler, sıkıştırılmış yapı içine selülozik elyafın fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde rol oynayan komponentlerdir. Tez çalışmasında üç tür kimyasal madde kullanılmıştır. Bunlar yapıda; Islatıcı, bağlayıcı ve yanma geciktirici olarak rol oynamaktadırlar. Bağlayıcı organik maddeleri çözündürebilmek, Na_2SiO_3 'i deriştirebilmek ve nemlendirici olarak, İSKİ'nin Maslak yöresine dağıtımını yaptığı şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Yanma geciktirici olarak yapıya eklenen borik asit Etibor A.Ş.'den temin edilmiştir. Türkiye'de borik asit (H_3BO_3), ETİ Maden A.Ş. tarafından kolemanit cevherinden üretilmektedir. Suda çözünebilen bir inorganik asit olan borik asitin yoğunluğu $1,435 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Çalışmada sisteme 100μ boyutunda kuru olarak beslenmiştir. Yanma geciktirici olarak kullanılan borik asit, Bölüm 2.5.4'de detaylı olarak izah edilmiştir. Selülozik elyaf yapının form alabilmesinde ve mekanik özelliklerinde en önemli etken bağlayıcı maddelerdir. Uygun bağlayıcı maddenin tespiti için yapılan testlerde piyasadan temin edilen organik Arapzamlı, Dekstrin ve inorganik OrgalPST ve EGE Kimya San.ve Tic. A.Ş.'nin EGENat-2104 kodlu Na_2SiO_3 (camsuyu) ürünü kullanılmıştır. Na_2SiO_3 , su ile her oranda karışabilmekte ve alkali reaksiyon vermektedir. Camsuyunun (Na_2SiO_3) firma tarafından belirtilen kimyasal özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Bağlayıcı olarak kullanılan Na_2SiO_3 'ün üretici firma tarafından belirtilen kimyasal özellikleri [308].

Özellik	Değer
Ağırlıkça Modül, $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	1.9 - 2.2
Moleküler Modül, $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	1.96 - 2.3
Viskozite (20°C)	49 - 51
Yoğunluk (20°C)	1.51 - 1.54
Na_2O , (%)	13.5 - 15.5
SiO_2 , (%)	28 - 30

4.2 Yöntem

4.2.1 Selülozik elyafın bağlayıcı olarak su ile davranışının incelenmesi

Çalışmanın ilk kısmının amacı, yalıtımda kullanılabilecek mineral katkıli selülozik karışımın tarifi, tasnifi, malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine etki

eden faktörlerin etki mekanizmalarını ortaya koymak ve bu bilgi birikimi ile bir sonraki aşama için yöntem tespitine yönelik çalışmalar yapmaktır.

Selülozik malzeme üzerinde suyun bağlayıcı olarak etkisi ve yapı üzerindeki fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi ve sonraki denemelere kontrol grubu oluşturmak amacı ile yapılan sistematik çalışma planının ilk aşamasında, selülozik elyaf malzemenin sadece su ile davranışını yorumlayabilmek için bir dizi deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucu;

- a) Boyut küçültme işlemi uygulanmış atık kağıt elyafının, fiziksel olarak liflerinin dağıtılması, farklı bağlayıcılar ve mineral katkıları ile mekanik ve fiziksel davranışlarının belirlenmesi,
- b) Elde edilen mineral katkılı selülozik yalıtım malzemesi parametrelerinin, % miktarlarına ve ürünün ısı, ses ve yanma geciktiricilik gibi yapısal özelliklerine etkisinin belirlenmesi,
- c) Elde edilen sıkıştırılmış selülozik ürüne, form verilebilirliğinin belirlenmesi ve
- d) Elde edilen form verilmiş selülozik ürünün, çekme, basma, eğilme, kırılma dayanımları gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Deneylerde su/katı oranını optimize etmek için numunelere hiçbir katkı (bağlayıcı olarak) maddesi ilave edilmeden (0/1- 0.25/1- 0.5/1- 0.75/1- 1/1- 1.25/1) su/selüloz oranı dizisi uygulanmıştır. Optimal su/selüloz oranının tespit edilmesi için ikinci aşamada 0.5/1- 1/1 aralığında daha detaylı deneyler yapılmıştır. Elde edilen numuneler, dayanım testine tabi tutulmuş ve su/selüloz oranına bağlı olarak dayanım özelliklerindeki değişim, aletsel ölçüm değerleri ve hesaplanan dayanım değerleri belirlenmiştir. Bu bölümde son olarak malzemenin ısı iletkenlik davranışı da test edilmiş bir sonraki çalışma aşaması için yönlendirici bilgiler elde edilmiştir. Tez çalışması aşağıdaki ana başlıklar izlenerek yürütülmüştür.

1- Numunenin bünye neminin ölçülmesi;

Numunenin nem yüzdesi PRECISA-XM60 enfraruj nem ölçüm cihazı (Şekil 4.1) ile tespit edilmiştir. Literatürde selülozik elyafın 23°C ve % 50 bağıl nemde nem tutma miktarı % 11 olarak verilmektedir [309]. Numunenin enfraruj nem ölçüm cihazı ile tespit edilen nem oranı % 11.26'dır.



Şekil 4.1 : PRECISA-XM60 Enfraruj Nem Ölçüm Cihazı

2- Numuneye su beslemesinin homojen olmasının sağlanması;

Bunun için ortama su, sprey püskürtücü ile beslenmiştir. Besleme aralıklarında numune karıştırılarak nemin orantılı dağılımı sağlanmıştır.

3- Numuneye standart deney kabı içinde sabit yükle form verilmesi;

Nemlendirilen numune, 9 cm çaplı, 8 cm yüksekliğinde şeffaf pleksiglas deney kabına dökülerek tesviye edilmiş ve ayrı ayrı 1 ve 2 kg'lık sabit yüke tabi tutulmuştur. Belirlenen sürelerde yapılan ezilme ölçümleri ile ne kadar zamanda, sabit yükte, sabit ezilme değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

4- Numunelerin kurutulması;

Deney kabında form verilen numuneler farklı ısılarda belirlenen sürelerde ELEKTRO-MAG M-6040p model etüvde tutularak optimum kuruma süresi belirlenmiştir.

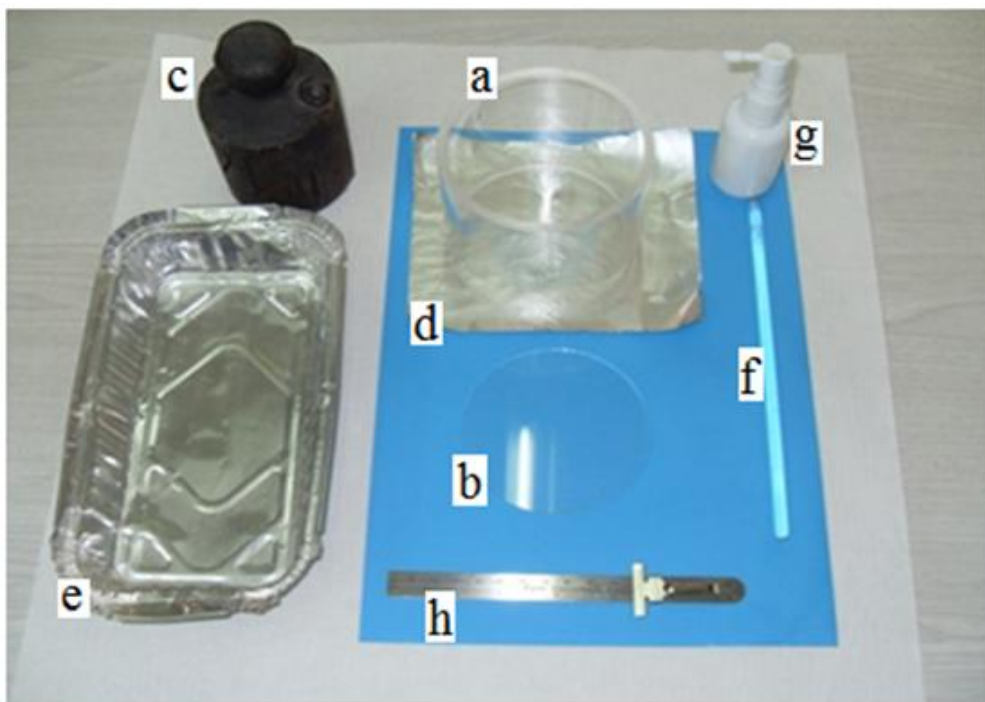
5- Dayanım testlerinin yapılması;

Kurutma işlemine tabi tutulan numunelere, 24 saat bekletildikten sonra yeniden tartım ve ölçüm yapılmış, dayanım test cihazında kırılma değerleri ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

6- Küçülme miktarı tayini ve değerlendirme;

Levha olarak üretilen yalıtım malzemesinin dayanımının yüksek olması, boyutsal küçülmenin ise küçük olması istenir. Mekanik dayanım ve boyutsal kararlılık

Bunun için, Şekil 4.2'deki deney seti kurulmuştur. Deney seti;



Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan set; (a) Deney kabı, (b) Kapak, (c)Yük birimi, (d) Alüminyum folyo, (e) Karıştırma kabı, (f) Karıştırma çubuğu, (g) Sprey su püskürtücü, (h) Ölçüm aleti.

d.Alüminyum folyo; numunenin taşınması, tartılması, kurutulması sırasında formunun bozulmaması için deney kabının altına serilen 5 ± 0.1 gr ağırlığında kesilmiş folyo.

e. Karıştırma kabı; numunenin tartımı, nemlendirilmesi, karıştırılması için kullanılan $7\text{gr} \pm 0.2$ ağırlığında alüminyum kap.

f. Karıştırma çubuğu; uzunluğu 20 cm ve çapı 5mm olan cam çubuk. Karıştırma sırasında elektrostatik yük oluşturmaması için cam tercih edilmiştir.

g. Sprey su püskürtücü; ortamın nemini ayarlamak, homojen nem beslemesi yapmak için kullanılan sprej.

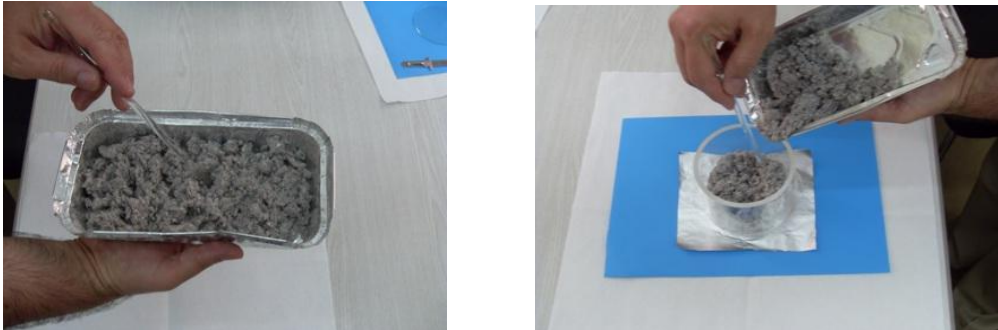
h. Ölçüm cihazları; malzemelerin ve ürünlerin tartımı için 0.01 gr hassasiyetinde elektronik terazi, diğer ölçümler için cetvel ve kronometre de kullanılmıştır.

Hassas terazide kuru olarak tartılan numune, cam çubukla açılmış ve belirlenen su/selüloz oranında nemlendirilerek yeniden hassas terazide tartılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Numunenin hassas terazide tartımı ve nemlendirilmesi.

Nemlendirilen açılmış selülozik elyaf, numune neminin homojen olarak dağılımını sağlamak için cam çubukla karıştırılarak, folyo üzerine oturtulmuş pleksiglas deney kabı içine serilip tesviye edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Numunenin homojen nem dağılımını sağlamak için karıştırılıp, deney kabına dökülmesi.

Üzeri cam kapakla kapatılan numune, kapak üzerine konan yük birimleri ile belli sürelerde yüke tabi tutulmuştur. Belirlenen sürelerde (5-15-30-45-60-90 dakika) ezilme miktarı ölçümleri yapılarak ‘sabit yükte’ ne kadar zamanda sabit yüksekliğe – ezilme miktarına- ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



a. Malzemenin kalıba doldurulması



b. Cam tesviye kapağının konması



c. Yük uygulanması



d. Ezilme miktarlarının ölçülmesi

Şekil 4.5 : Numuneye yük uygulanması ve ezilme miktarlarının ölçümü.

Ölçülen ezilme miktarı değerleri ile hacim hesabı yapılarak her birinin deney sonunda yoğunlukları hesaplanmıştır. Belirlenen sürede yük uygulanan numune, pleksiglas kaptan çıkartılarak tekrar tartılmış ve yüksekliği ölçülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Deney kabından çıkartılan numunenin ölçümlerinin tekrarlanması.

Ön tartım ve ölçümleri yapılan form verilmiş numune önceden belirlenen dereceye kadar ısıtılmış etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kurutma sırasında, (5-15-30-45-60-90 dakika) olarak belirlenen zaman dilimlerinde etüvden çıkarılıp teker teker tartılarak sabit ısıda ne kadar sürede nemini attığı ve sabit ağırlığa ulaştığı tespit edilmiştir. Aynı şartlarda su/selüloz oranına göre hazırlanmış iki seri numune 1 ve 2 kg'lık sabit yükte ve 100-150-200° C derecelerde kurutma testine tabi tutulmuştur. Testlerin ikinci kısmında; ilk kısımda yapılan deney sonuçlarına göre optimum çalışma aralığını belirleyebilmek için su/selüloz oranı (0.5/1- 0.6/1- 0.7/1- 0.8/1-0.9/1) dizisi olarak alınmış, kurutma sıcaklığı ise 150° C olarak uygulanmış ve 5 gr olan numune miktarı da 10 ve 15 gr' a çıkarılarak deneyler tekrarlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Farklı ağırlıktaki numune miktarları ile form verilmiş numuneler.

Çalışmanın, ilk bölümü kapsamı içinde yapılan bu deneylerden, genel olarak;

- Sabit yükte, ısı değişimine göre ve,
- Sabit ısıda, yük değişimine göre farklı su içeriğiyle hazırlanmış numuneler değerlendirilmiş, selülozik yalıtım malzemesinde kullanılan selüloz liflerinin su ile birlikte vereceği optimum fiziksel ve mekanik değerlerin belirlenmesi için yapılan seri deneyler sonucunda yedi temel konuda ilk sonuçlar elde edilmiştir. Bunlar;

- 1- Sabit yük altında süreye bağlı sıkışma miktarı, sıkışma yüksekliği ve süresi
- 2- Yük süresine bağlı yoğunluk değişimi
- 3- Kurutma ısısına bağlı nem içeriği değişimi ve optimum kuruma süresi
- 4- Optimum bağlayıcı oranı
- 5- Malzemenin kırılma değeri
- 6- Boyut küçülme miktarı
- 7- Farklı bağlayıcılarla ısı iletkenlik değişim değerleri ve ısı iletkenlik test süresidir.

4.2.2 İlk beş dakika performansı ölçümü

İlk beş dakikalık performans ölçümü sonuçları bize selülozik elyafın, baskı altında ne kadar sürede form aldığını ve bu formu yük kalktıktan sonra da koruyup korumadığını gösterecektir.

Yapılan ilk testler, numunelerin form almasında özellikle baskı süresinin belirgin bir şekilde etkin olduğunu göstermiştir. Numunelerin ilk beş dakikadaki form alma süresini daha detaylı irdeleyebilmek için, numunelere ' ilk beş dakikalık performans' testi uygulanmıştır. Bu testte numunelerin ilk beş dakikadaki sıkışma ve form alma süresi tespit edilmiştir.

Selülozik malzemenin bağıl nemi %11.26 'dır. Deneyde kullanılan malzeme miktarı 5 gr olarak sabit tutulmuştur. Nemlendirme, sadece su ile ve ağırlıkça 0/1-0.25/1-0.5/1-0.75/1-1/1-1.25/1 oranlarında uygulanmıştır. Homojen bir karışım elde etmek için su, spreyle beslenmiş ve sürekli karıştırılmıştır.

Tartılarak hazırlanan selülozik elyaf, pleksiglass test tüplerine dökülerek gevşek halde yükseklikleri ölçülmüş ve sonra üzerine cam plaka konarak farklı ağırlıklarda (1 kg ve 2 kg) yük uygulanmış, her 60 sn de bir ezilme miktarı ölçülmüştür.

Numuneler 15 dakika süre ile 150 °C' de etüvde kurumaya bırakılmış ve son tartımları alınmıştır.

4.2.3 Bağlayıcı tesbiti

Çalışmanın bu kısmında, uygun bağlayıcı tipini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla, numunelerin, fiziksel ve ısıl değerlerindeki değişim karakteristiğini gözlemleyebilmek için beş farklı bağlayıcı(su, Na₂SiO₃, dekstrin, arapzamlı ve orgalPST) kullanılarak denemeler yapılmıştır. Selülozik yalıtım malzemesi için, literatürde verilen ısıl iletkenlik değerleri, laboratuvar ortamında, 10 °C test başlangıç ısısı ve kurutulmuş (hemen hemen sıfır nem içerikli) numunelerden elde edilen sonuçlardır. Yalıtım malzemeleri, uygulamada bu şartların dışında bir davranış göstereceğinden biz, malzemeyi uygulama koşullarında teste tabii tuttuk. Bu amaçla, üretilen numuneler, 24 saat oda sıcaklığında ve açık havada bekletilmiş, test başlangıç ısısı da, sıcak iklim koşullarında, hava sıcaklığının olabileceği yaklaşık maksimum değer olarak, 60 °C seçilmiştir.

4.2.4 Dayanım testi

Deneylerin son kademesinde, bağlayıcı eklenip sıkıştırılarak form verilmiş 5 ve 10 gramlık numuneler, 24 saat oda sıcaklığında (19-22°C), açık havada bekletildikten sonra teker teker EN 196/1 standartına uygun Gabrielli - Cnometro CRC mukavemet cihazı (Şekil 4.8) ile dayanım / kırılma testine tabi tutularak, yüke dayanım / kırılma basınçları belirlenmiştir.



Şekil 4.8 : Gabrielli- Cnometro CRC cihazı ile dayanım testi.

Ayrıca, ürünün raf ömrünü belirlemek ve zamana bağlı olarak ağırlık, yoğunluk ve dayanım parametrelerinin nasıl değiştiğini görebilmek için bağlayıcı olarak sadece su ile numuneler hazırlanmış, numuneler oda sıcaklığında ve açık havada bekletilerek, günlük ölçüm ve dayanım testine tabi tutulmuştur. 10 adet ve 4 set olarak hazırlanan numuneler 4 haftalık periyodik ölçüme tabi tutulmuş, ölçümlerde ilk haftanın ölçüm değerleri günlük olarak alınarak 7 günlük değişim de gözlenmiştir.

Genelde yalıtım malzemelerinin yoğunlukları ile basma ve sünme dayanım değerleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça basma ve sünme dayanımları artar. Yalıtım malzemesinin kısa ve uzun süreli yüklemeler karşısında gösterdiği mekanik dayanım önemlidir. Bir ısı ve ses yalıtım malzemesi yük altında iken basma dayanımı ne kadar yüksek olursa kalınlığındaki azalma o kadar az olur, bu da malzemenin özellikle termal direnç değerini koruması açısından dikkate alınır.

Bir önceki çalışma döneminde elde edilen veriler dikkate alınarak, ürünün raf ömrünü belirlemek ve zamana bağlı olarak ağırlık, yoğunluk ve dayanım parametrelerinin nasıl değiştiğini görebilmek için bağlayıcı olarak sadece su ile numuneler hazırlanmış, numuneler oda ısısında bekletilerek günlük ölçüm ve dayanım testine tabi tutulmuştur. 10 adet ve 4 set olarak hazırlanan numuneler 4 haftalık periyodik ölçüme tabi tutulmuş, ölçümlerde ilk haftanın ölçüm değerleri günlük olarak alınarak bir haftalık günlük değişim de gözlenmiştir. Dayanım özelliklerindeki günlük değişim, aletsel ölçüm değerleri ve hesaplanan dayanım değerleri belirlenmiştir. Bağlayıcı olarak 1/1 oranında su ile nemlendirilmiş numunelerin ağırlıkları 15 gr olarak alınmış, preslendikten sonra 15 dakika 150 °C' de kurutulularak ilk ölçüm için oda sıcaklığında 24 saat açık havada bekletilmiştir. Numuneler daha sonra 28 gün süresince oda sıcaklığında, açıkta tutulmuşlardır. Hesaplamalarda dayanım değerleri;

$$\text{Dayanım (kgf/cm}^2\text{)} = [(3F*L)/(2B*H^2*10)] \quad (4.1)$$

Formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Burada;

F = Kırılma yükü (kg)

L = Mesnetler arasındaki mesafe (cm)

B = Numunenin genişliği (cm)

H = Numunenin kalınlığı (cm)

olarak alınmıştır.

Çalışmanın temel konusu olan mineral katkısının, sıkıştırılmış selülozik yapının mekanik dayanımı açısından etkisini görebilmek için dört mineral seçilerek numuneler üretilmiş ve dayanım testi uygulanarak kırılma değerleri ölçülmüştür.

4.2.5 Boyut küçülme miktarı ölçümü

Yalıtım levhalarında boyutun sabit kalması önemli bir konudur. Malzemedeki boyut değişimi, farklı sıcaklıklarda ısıl genleşme ile oluşabileceği gibi, zamana bağlı olarak malzemenin kendi yapısından veya dış etkenlerden bağımsız olarak da kaynaklanabilir. Üretimi takiben aynı çevre şartlarında levhaların boyutlarındaki zamana bağlı değişim rötre olarak adlandırılır. Rötre üretimin ilk aşamasında hızlıdır. Zamanla yavaşlar ve durur. Toplam rötre üretim şekline ve yoğunluğa bağlı olarak % 0.3 ila % 1 arasında değişebilir.

Elde edilen numune diskleri, dıştan dışa çapraz olarak ölçülmüş ve ısısı 150° C 'ye ayarlanmış etüvde 15 dakika kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutma sonrası numune çapı kumpas ile yeniden ölçülmüş, elde edilen değerler;

$$\text{Küçülme (\%)} = [(L_0 - L_1) / L_0] * 100 \quad (4.2)$$

eşitliğinden yararlanılarak, numunede meydana gelen küçülme değişimleri (%) olarak belirlenmiştir. Burada;

L_0 = kalıptan çıkan numunenin çapı (mm)

L_1 = numune kuruduktan sonraki ölçülen çapı (mm)

olarak alınmıştır.

4.2.6 Su buharı Geçirgenliği

Literatürde, 40 kg/m³ yoğunluklu gevşek dolgu olarak uygulanmış selülozik elyaf yalıtım malzemesinin su buharı geçirgenliği 200 [kg/m.s.Pa] olarak [199] belirtilmektedir. Farklı yalıtım malzemeleri için literatür değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

4.2.7 Gaz geçirgenliği ölçümü

Gaz geçirimsizlik testi İTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği laboratuvarında 'Gaz Geçirgenlik Test' cihazında yapılmıştır. Jeolojide, geçirgenlik kayaç yapısının sınırları geçirme yeteneğini karakterize eden bir ölçü olarak tanımlanır. Darcy veya milidarcy

(1 darcy= 10^{-12} m²) ile birimlendirilir. Hazırlanan sadece selüloz, perlit ve diatomit mineral katkılı selüloz elyafı levhalara gaz geçirgenlik testi uygulanmıştır.

Çizelge 4.4 : Farklı yalıtım malzemelerinin 20° C 'de su buharı geçirgenlik değerleri[129][188][191][199][209].

Yalıtım Malzemesi	Yoğunluk	Su Buharı Geçirgenliği
	kg/m ³	kg/m.s.Pa
Alçıpan levha	620	15 -65
Polietilen folyo, 0.2mm	*	0.75
Duvar kağıdı, 0.36mm	*	2000 - 10000
Cam yünü	17	542
Selüloz (dökme),	45	40 - 200
Taş yünü	25 -200	542
Mineral yünü	25 - 120	542
XPS	28 -45	0.15 - 0.075
EPS	15 - 30	25
Poliüretan köpük	35 - 55	20
OSB, sunta levha	310	16 -61
Ahşap levha	425	2.8 - 10

Çalışmada yapılan bu ilk bölüm testleri sonucunda elde edilen veriler dikkate alınarak, çalışmanın esasını oluşturacak testler için Şekil 4.9'da görülen iki yeni yardımcı cihaz; mikser ve pnömatik pres yaptırılmıştır.

Mikser; atık kağıt elyaflarının tam açılımını temin etmek ve hem bağlayıcı hem de mineral katkılarının, homojen karışımını sağlayabilmek amacı ile yaptırılmıştır. 950 cm³ hacimli paslanmaz çelik hazneli, devir hızı kontrollü karıştırma motorlu, dikey spiral karıştırma kolu, yandan beslemeli ve dört adet pnömatik, sıvı bağlayıcı besleme nozullu bir cihazdır. Bağlayıcı beslemesi, aralıklarla kontrollü olarak elle kumanda edilerek yapılmaktadır.

Pnömatik pres; numunelerin aynı formda ve özellikte elde edilebilmesi için yaptırılmıştır. Pres kabı 10 cm çapında 8 cm derinliğinde paslanmaz çelikdendir. Basma gücü, 2, 5, ve 8 bar baskı güçlerindeki piston kolları değiştirilerek ayarlanmaktadır, basma plakası yükseklik ayarı da, baskı kolunun şaft üzerinde aşağı ve yukarı çekilerek yapılmaktadır. Basma süresi, zaman ayarlı ünite ile otomatik kontrol edilmektedir.



Şekil 4.9 : Numune üretiminde kullanılan pres ve mikser.

4.3 Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçümleri

4.3.1 İTÜ Maden Fakültesi laboratuvarı ısı iletim katsayısı ölçüm düzeneği

Bilindiği gibi, bir ortam içinde veya ortamlar arasında, bir sıcaklık farkı olan her durumda, ısı geçişi mutlaka vardır. Isı geçişi işlemlerini, ‘Fourier yasası’ olarak da bilinen ‘an denklemleri’ ile incelemek mümkündür. Bu denklemler, birim zamanda aktarılan enerji miktarını hesaplamak için kullanılabilir.

Bu yasanın tarifi gereği; yüzey alanı A (m^2) olan düz bir yüzeyden birim zamanda geçen ısı, Q_1 (W), akı ile alanın çarpımına eşittir.

$$Q_1 = Q_2 \cdot A \quad (4.3)$$

$$Q_2 = Q_1 / A \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (4.4)$$

Isı akısı Q_2 (W/m^2), ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda, x doğrultusunda geçen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı dT / dx ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k , ‘Isı İletim katsayısı’ (W/mK) olarak adlandırılır. Bu katsayı malzemenin yapısı ile ilişkili aktarım özelliğidir.

Katı malzemelerin ısı iletkenliği, malzemenin gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklük ve dağılım durumuna, malzemeyi oluşturan maddelerin ısıl iletim katsayılarına ve barındırdığı nem miktarına bağlı olarak değişim gösterir. Sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli bir rejimde, sıcaklık gradyanı;

$$dT / dx = (T_2 - T_1) / L \quad (4.5)$$

olarak ifade edilebilir ve ısı akısı da;

$$Q_2 = -k (T_2 - T_1) / L \quad (4.6)$$

Veya;

$$Q_2 = k (T_1 - T_2) / L \quad (4.7)$$

Olarak yazılır. Buradan hareketle; deney düzeneğimizde de her iki taraf için;

$Q_1 = Q_2$ yazılabilir.

$$Q_1 = (\lambda_n / L_n) A(T_1 - T_2) \quad (4.8)$$

$$Q_2 = (\lambda_o / L_o) A(T_2 - T_3) \quad (4.9)$$

(7) no'lu eşitlikten Q_2 bulunarak, (6) no'lu eşitlikte yerine konup λ_n çekilirse;

$$\lambda_n = (L_n \cdot Q_2) / A(T_1 - T_2) \quad (4.10)$$

eşitliği, bize numunenin ısı iletim katsayısını verecektir.

Malzemenin karakteristiğini belirleyen bir diğer parametre ısı geçiş direnci'dir.

$R = d/\lambda$ m^2K/W oranı bize malzemenin ısı direnç değerini verir.

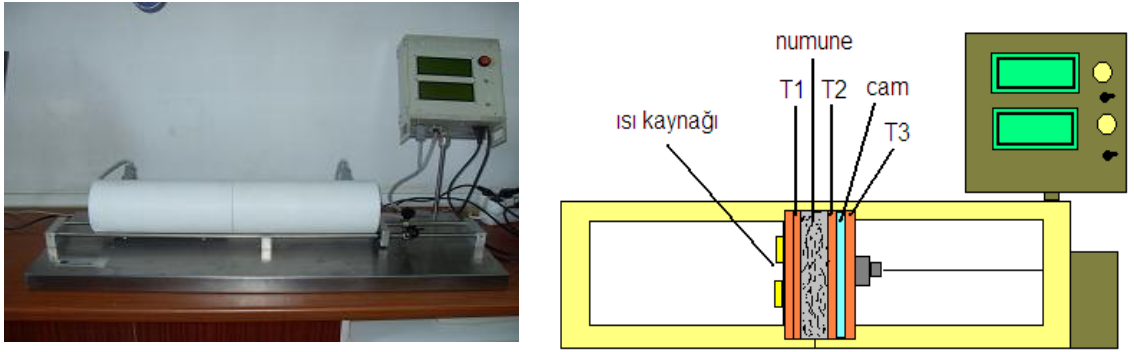
Isı yalıtım malzemeleri birbirleri ile ısı direnç değerleriyle mukayese edilirler. R değeri büyük olan malzemenin ısı yalıtım işlevi daha iyidir. Isı yalıtım malzemeleri R- değerleri ile anılırlar. R-Değeri, r değerinin 5.678 katıdır. Çizelge 4.5'de bazı yalıtım malzemelerinin R-Değer değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Yalıtım malzemeleri ve R-Değer değerleri [49][55][63][65][183].

Malzeme	λ (W/mK)	R (m^2K/W)	R-Değer
XPS -Yüksek Yoğ.	0.033-0.039	0.088-0.95	R-5 / R-5.4
XPS -Düşük Yoğ.	0.035-0.042	0.63-0.82	R-3.6 / R-4.7
EPS - Yüksek Yoğ.	0.033-0.038	0.70	R-4.2
EPS - Düşük Yoğ.	0.038-0.040	0.65	R-3.85
Poliüretan Levha	0.035-0.040	0.88	R-5
Cam Yünü,Yük.Yoğ.	0.038-0.040	0.63-0.88	R-3.6 / R-5
Cam Yünü, Düş.Yoğ.	0.035-0.043	0.55-0.76	R-3.1 / R-4.3
Cam Yünü Rijid panel	0.039-0.042	0.44	R-2.5
Taş Yünü	0.038-0.042	0.52-0.68	R-3 / R-3.85
Selüloz	0.038-0.042	0.52-0.67	R-3 / R-3.8
Perlit	0.040-0.055	0.48	R-2.7
Vermikülit	0.045-0.049	0.38-0.42	R-2.13 / R-2.4
Cam	1.32-1.42	0.025	R-0.14

Yalıtım malzemelerinin ısı özelliklerinin geliştirilmesi, malzemelerin ısı özelliklerinin test edilebilmelerindeki yöntem çeşitliliği ile gelişme göstermiştir. Yalıtım malzemelerinde olduğu gibi, selülozik yalıtım uygulamalarının gevşek dolgu (Loose-fill) tipinde ısı özelliklerin belirlenebilmesi için genellikle Hot-plate, Hot-box ve Heat flow meter [310-313] rahatlıkla kullanılmaktadır. Püskürtme tarzı uygulamada ise bu üç yöntemin kullanılması pratikte zorluk çıkarmakta, test edilecek numunenin kesilmesi veya hazırlanması, birebir örnekleme açısından problem oluşturmaktadır.

Fakültemiz laboratuvarında, numunelerin birbirleri ile ısı iletim katsayılarının deneysel karşılaştırmalarında kullanılmak üzere Hot-plate ölçüm düzeneği yapılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 : Isı İletim Katsayısı Ölçüm Test Düzeneği.

Test düzeneği, iç çapı 10 cm olan, 12 cm çaplı silindirik, teflondan imal edilmiş iki parça silindirden oluşmaktadır. Isı kayıplarını önlemek, en aza indirebilmek için gövde malzemesi olarak teflon tercih edilmiştir. Hot plate olarak dizayn edilen cihazın orta kısmındaki numune yerleştirme yerinin bir tarafında ısı kaynağı bulunmakta, cihazın her iki tarafına da ısı algılayıcılar yerleştirilmiştir. İki bakır plaka arasında ısı iletim katsayısı bilinen cam plaka vardır. Isı kaynağı, otomatik kontrol edilmekte sistemdeki üç noktada (T1,T2,T3) sürekli ölçüm yapmaktadır.

Sistemde; kalınlığı ($L_{cam}=2$ mm) ve ısı iletim katsayısı ($\lambda_{cam}= 1.4$ W/mK) olan cam kullanılmıştır. İkinci denklemde; bu verilerle Q_2 bulunup, birincide yerine konarak numunenin ısı iletim katsayısı (λ_n) hesaplanmıştır. Bu şekilde hesaplanarak oluşturulan örnek tablo, Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Test sonuçları örnek hesap tablosu (Selüloz 20 gr, Na₂SiO₃ 1/1mix, Ø:10cm, d:20 mm, m: 23.6gr, ρ:150.3 kg/m³, T_{oda}:18.7 °C, hata: ±0,02).

Süre,dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değer
120	60.9	25.0	24.9	0.03900	0.51286	2.95
140	60.9	25.1	25.0	0.03911	0.51143	2.95
160	61.1	25.4	25.2	0.07843	0.25500	1.47
180	60.8	25.6	25.4	0.07955	0.25143	1.45
200	61.0	25.7	25.5	0.07932	0.25214	1.45
220	61.1	25.8	25.7	0.03966	0.50429	2.90
240	60.9	25.8	25.7	0.03989	0.50143	2.89
260	61.2	25.9	25.8	0.07932	0.25214	1.45
280	61.1	25.9	25.8	0.03977	0.50286	2.90
300	60.8	25.9	25.8	0.04011	0.49857	2.87
λ _{ort} :				0.05542	0.40421	2.33
stdsapma				0.01939	0.12380	0.71307
λ _{ortrej} :				0.04977	0.43875	2.53
stdsapma _{rej}				0.01706	0.10775	0.62063

Testte ısı ölçümleri, beş saat süreli bir periyotta, belli aralıklarla, cihazdan okunarak kayda alınmıştır. Sistemin rejime oturduğu ve değerlerin sabitlendiği süre dikkate alınarak test süresi beş saatle sınırlı tutulmuştur. Hesaplamalarda sistemin rejime oturduğu süreden geriye gidilerek son on ölçüm değeri dikkate alınmış, sonuçta bu on ölçüm değerinin ortalaması sonuç olarak kabul edilmiştir.

λ-değerlerindeki dalgalanma malzemenin yapısındaki bağıl neme bağlıdır. Deney başlangıcında bu dalgalanma/fark daha bariz görülmekte iken 120 dakikadan sonra nispeten azalmakta ve rejime oturmaktadır.

Nemin ısıyı taşıma özelliği bilinmektedir [42][184][199].Bünye içindeki bağıl nem, ısınmaya bağlı olarak hareketlenmekte [44] [32]ve yüzeyler arasında soğuk yüzeye doğru yönelmektedir. Malzemenin lifli ve gözenekli yapısı nemin yol almasına imkan tanımaktadır [40].

4.3.2 Isı iletim katsayıları ölçüm sonuçlarının İYTE verileri ile karşılaştırılması

Yaptırdığımız cihazdan elde edilen sonuçlar malzemenin net ısıl iletkenlik değerlerini vermese de, amacımız, aynı cihazda yapılacak ölçümlerle, farklı numunelerin birbirleri ile karşılaştırmasını yapabilmektir. Laboratuvarımızda yapılan ölçümleri akredite bir cihazdan alınan sonuçlarla karşılaştırmak, hem test sonuçları

hem de yaptırmış olduğumuz test cihazının ölçüm isabeti açısından önemlidir. Bu nedenle kendi cihazımızda teste tabi tuttuğumuz bir dizi numune İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü (İYTE), laboratuvarına gönderilerek KEM-QTM500 cihazı ile ölçümleri yaptırılmıştır.

4.3.3 Mineral katkıların ısı iletkenlik değerlerine etkisinin tespiti

Farklı kompozisyonlarda, yapı yalıtım malzemesi olarak kullanılan genleştirilmiş perlit, selülozik elyafla birlikte kullanılarak yeni bir yalıtım malzemesi üretimi denenmiştir. Genleştirilmiş perlitin, selülozik yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerinde, bir katkı yapıp yapmayacağını görmek amacıyla, perlit 0.2-0.5mm ve 0.5-2.0 mm olacak şekilde iki farklı boyutta, selüloz elyafının içine, ağırlıkça farklı oranlarda katılarak üretilen numuneler, teste tabi tutulmuştur.

Tek başına yalıtım malzemesi olarak kullanılan bir başka madde de vermikülitir. Testlerde piyasadan temin ettiğimiz toprak ıslahında kullanılan ithal, 0.5-3.0 mm boyutlu genleştirilmiş vermikülit kullanılmıştır.

Selüloz elyafına katkı olarak kullandığımız bir başka mineral de pomzadır. Pomza da tek başına serme usulü ile çatılarda yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 150 mikron boyutlu öğütölmüş pomza olarak kullanılmıştır.

Sıkıştırılmış selüloz elyafının ısı iletkenlik özelliklerine etkisinin araştırıldığı diğer mineraller, sepiolit ve diatomittir. Her iki malzeme de, ortama beslenmeden önce 150 mikron altına öğütölmüştür. Kullanılan tüm mineral katkıları, boyut küçöltme gibi fiziksel ön hazırlığın dışında herhangi bir ısı ve kimyasal işleme tabi tutulmamıştır.

4.3.4 Ses Yutum Test Düzenegi ve Ses Yutum Değerlerinin Ölçümleri

Malzemelerin ses yutma katsayılarının ölçümünde kullanılan birçok yöntem vardır [314,316]. Laboratuar şartlarında ölçüm imkanı sağladığı ve büyük boyutta malzeme ve hacim gerektirmediği için ‘Empedans Tüp Yöntemi’ yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bir malzemenin ses yutma katsayısını belirlemek için farklı iki temel yöntem kullanılmaktadır [317]. Bu yöntemlerin ilkinde ölçümler özel ‘yankısız odalarda’ yapılmaktadır. Bu yöntem büyük panellerin ses yutma katsayılarının ölçümü için uygundur. İkinci yöntem (tüp metodu) ise küçük numunelerin ses yutum özelliklerini belirlemek için uygundur.

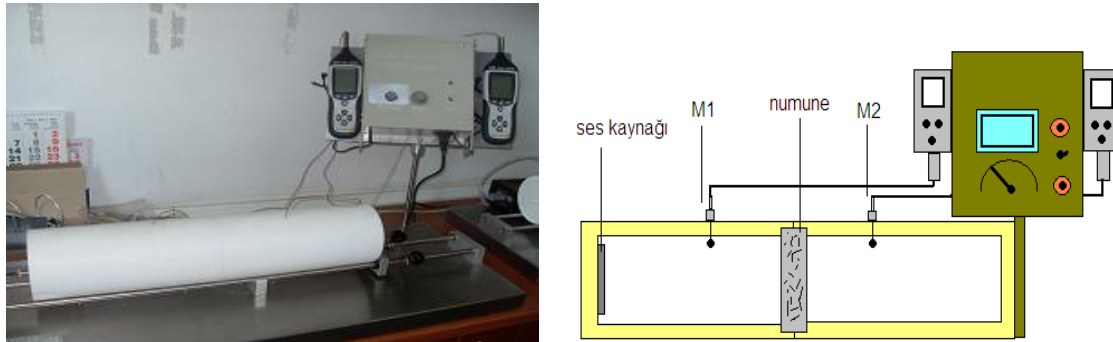
Empedans tüpü kullanılarak pratik olarak akustik bir malzemenin ses yutma katsayısını ölçmek için iki standart teknik vardır. Birincisi; Normal Oranlama Tekniği (Normal Incidence Technique) [317], İkincisi; Anlık Dalga Metodu (Standing Wave Method) [318]. Bu metotta ölçüm tek frekansta, bir kez yapılmaktadır ve anlık frekans değişim değerini vermektedir.

Normal oranlama (NIT) ses yutum ölçüm tekniğinde, çapı dalga boyundan daha küçük bir tüp gereklidir. Ölçüm tüpü bir düzlem boyunca oluşan normal bir ses dalgası için $D < 0.59 \lambda$ şartını sağlamalıdır [317]. Ölçüm tüpünün çapı dalga boyu ile belli bir orandadır.

$$D < 0.59 \lambda \quad (4.11)$$

D ; Tüp Çapı ve λ : Sesin Dalga Boyu olarak tariflenmiştir.

Test tüpü ile 250 Hz ile 4 kHz arasındaki frekansta ölçüm yapılabilmektedir. 100 mm çaplı büyük tüp ile 1.6 kHz'e kadar düşük frekans aralığındaki ölçümler, 20 mm çaplı küçük tüple de 1kHz ile 4 kHz arası frekans ölçümleri yapılabilmektedir. Laboratuvar şartlarında, farklı bileşimlerde elde edilen farklı numunelerin birbirleri ile mukayesesini temin etmek amacıyla, malzemelerin ses yutma katsayısını ölçen bir alet tasarlanmıştır. Literatür bilgileri doğrultusunda NIT yöntemine uygun, teflon gövdeli bu test düzeneği Şekil 4.11'de görülmektedir. Dış ortamdan, ölçüm odasına, gürültü geçişini ve tüp içinde yüzey direncini en aza indirmek için tüpler 15 mm et kalınlıklı teflondan imal edilmiştir. İki parçalı tüpün, iç çapı 100 mm, boyu 600 mm dir. Ses kaynağı olarak, 1 W çıkışlı, 0-120 dB aralığında ses gücü düzeyi ayarlanabilir iç hoparlör kullanılmıştır.



Şekil 4.11 : Ses iletimi değerleri ölçüm düzeneği.

Çalışmada, deney düzeneğinde numunenin her iki tarafında ses düzeyi (basıncı) P1, P2 ölçümleri yapılmıştır. Bölmelerdeki mikrofonlar ile 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz frekans aralıklarında ölçülen ses basınç değerleri ile numunenin ses yutum katsayısı hesaplanmıştır. Ölçümlerde elde edilen değerlerle;

$$T = (P1 - P2) / P1 \quad (4.12)$$

Bağıntısı ile, ‘Ses Yutum Katsayısı’ hesaplanmıştır.

$$TL = 10 \log(1/T) \text{ (dB)} \quad (4.13)$$

bağıntısı ile de, ses iletim kaybı (Transmission Loss) hesaplanmıştır.

Bu tip prototip cihazlarda yapılan ölçümlerde akustik yansıtıcılığın mükemmel olmadığı ayrıca ses yutuculuğu 0.15 ve altında olan malzemelerde ölçüm hata paylarının arttığı gözlenmiştir [319]. Amadasi ve ark., yaptıkları çalışmada ve farklı araştırmacıların çalışmalarında [320-322] ses yalıtımı ve akustik düzenlemede kullanılan malzemelerin karakteristik değerlerinin ölçümleri için standart dışı, modifiye ölçüm cihazlarının da kullanıldığı belirtilmiştir [323].

Yapılan deneysel çalışmada;

1. Bağlayıcı katkı malzemelerinin ses iletim özelliklerine etkisinin olup olmadığı belirlenmiştir.
2. Farklı yoğunluk, kalınlık ve mineral içerikli numunelerin frekans özellikleri belirlenmiş, birbirleri ile karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır.

Farklı içeriklerde, yoğunluklarda ve kalınlıklarda üretilen selülozik yalıtım malzemesi numunelerinin ses iletim özelliklerinin birbirleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan testlerde, numunelere her frekans aralığı için 3 dakikalık zaman dilimi sonundaki anlık ses basınç düzeyinin ölçümü yapılarak 125 Hz ile 4 kHz aralığındaki frekans dağılımları belirlenmiştir. Laboratuvar şartlarında, preslenerek üretilen selüloz elyaf bazlı mineral katkılı/katkısız levha şeklindeki numunelerin ses yutumu ve ses iletimi yetenekleri incelenmiştir.

Çalışmada, yaptırdığımız ses yutum ölçümü deney düzeneğinde, numunenin 125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz frekans bantlarında ses düzeyi (basıncı) ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bu ölçüm sonuçları, İTÜ Makine Fakültesi Akustik Laboratuvarındaki Empedans tüpü (ISO10532-2 ve ASTM 1050) ölçüm sonuçları ile

karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile, yaptırdığımız cihazın ölçüm değerlerinin güvenilirliği hakkında fikir vermesi hedeflenmektedir.

4.3.4 Mineral katkıların ses iletim değerlerine etkisi

Mineral ilavesi ile, selüloz elyafının oluşturduğu açık poroz yapının içine, kapalı poroz yapıya sahip mineral tanecikleri eklenerek, yapının gözeneklilik formunda değişiklik yapılmıştır. Elde edilen yeni yalıtım ortamının özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Minerallerin, selülozik yalıtım malzemesinin ısı iletim ve ses yutum özelliklerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Taneli bir yapıda düzgün bir sıralanış görülmez. Taneler arası köprüleşme oluşarak yüksek poroziteli yapılar oluşur. Teorik olarak tane boyutu küçüldükçe porozite değeri artmaktadır. Tane büyüklüğünün çeşitli oluşu, büyük tanelerin meydana getirdiği gözeneklerin küçük tanelerle dolmasına ve porozitenin azalmasına sebep olmaktadır.

Sıkışma, dışarıdan uygulanan bir basınçla malzemenin hacminde oluşacak azalmadır. Katılma ise ortama ilave edilen bağlayıcı madde etkisi ile yapıdaki elemanların birleşerek form oluşturmalarıdır. Doğal gözenekli veya gözenekli yapıyı oluşturan taneli ve lifli malzemelerin sıkışma ve katılma sonucu porozitelerinde önemli değişimler olur. Basınç altında gözenekli malzemeler, porozite değişikliği gösterir. Bunun nedeni, tanelerin veya matris elemanlarının ezilip şekil değiştirmeleridir. Gözenek boşluklarının bağlayıcı maddelerle dolması da malzemenin porozitesinde azalmaya neden olur.

Genleştirilmiş perlitin selülozik yapıda yapacağı etkiyi görebilmek için iki farklı boyutta genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. İlk etapta 0.2-0.5 mm boyuttaki perlit kullanılarak, farklı miktarlarda perlit katılmış bir seri numune üretildi. Deneyler, farklı miktarlardaki içerikleri ile diğer mineral katkıları kullanılarak tekrar edildi.

4.4 Yanma Geciktiricilik ve LOI Deneyi

Çalışmanın bu bölümünde Yalız A.Ş.'den alınan katkısız selüloz elyafı kullanılmıştır. Yanma geciktirici olarak, borik asit ve Na_2SiO_3 (1/1 ağırlık: ağırlık) karışımının sulu çözeltisi kullanılmıştır. Borik asit ve Na_2SiO_3 karışımı ile hazırlanan sulu çözeltinin

çeşitli literatürlerde selülozik malzemenin yanmaya karşı korunmasında etkili olduğu bildirilmektedir [278] [286-288].

Mikserde açılan selüloz liflerine (% 5 - % 30) arasında değişen miktarlarda borik asit eklenip, bağlayıcı olarak su ve Na_2SiO_3 kullanılarak, malzeme preslenmiş ve 2 cm kalınlığında ve 10 cm çapında, biri kontrol olmak üzere 7'şer adet, iki farklı seri numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler 5 gün oda sıcaklığı ve ortamında kurumaya bırakılmışlardır. Ortalama % $11,5 \pm 0,25$ rutubete ulaşınca kadar bekletilmişlerdir. Sabit nem ve ağırlığa ulaşan numuneler ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.4.1 Borik asitin yanma geciktirmedeki etkisinin tespiti

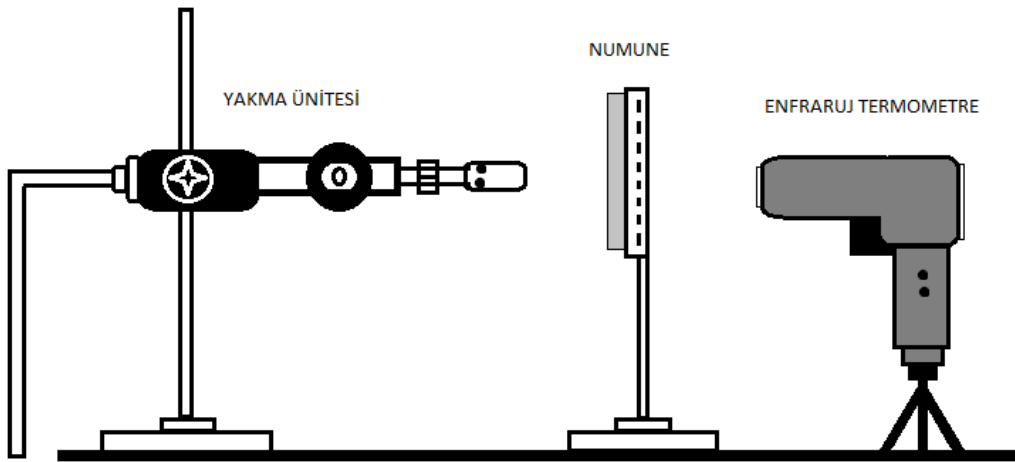
Çalışmada, her iki grupta da Borik asit uygulama değerleri: %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30 olarak alınmıştır. Bağlayıcı olarak (ağırlıkça 1/1 oranında), deney örneklerinin bir grubuna sadece su, diğer gruba ise Na_2SiO_3 (1/1 oranında sulandırılmış) uygulanmıştır. Borik asit ilavesi, mikserde karıştırma aşamasında kuru olarak gerçekleştirilmiştir. İkinci grup test örneklerinde üç farklı mineral kullanılmıştır. Perlit No:2 ve No:12 ile vermikülit, farklı ağırlıklarda, selüloz elyafına eklenmiştir.

Yanma deneylerinde amaç; malzemenin yanmazlık sınıfını tespit etmek değil, selülozik yalıtım malzemesinin esasını oluşturan, atık kağıttan elde edilen selüloz elyafının yanma karşısında davranışını ve yanma için gerekli oksijen miktarını belirlemektir. Bununla birlikte, bağlayıcı olarak Na_2SiO_3 'in, farklı mineral ve borik asit oranının optimizasyonu ve borik asit ve Na_2SiO_3 'in yapıdaki yanma özelliklerine etkisinin belirlenmesi ve malzemenin yanıcılığının azaltılması amaçlarına yöneliktir.

Hazırlanan test düzeneğimizde yakma kaynağı, tek kaynaklı yakma deneylerinde kullanılan tipte (Şekil 4.12), bütan gazlı ve mavi alevlidir. Yanma sırasında, yanan yüzeyde merkezden dış çepere doğru 660°C , 740°C , 830°C 'lik ısı çemberleri ölçülmüştür. Yanma deneyleri Şekil 4.13'de görülen düzeneikle yapılmıştır. Test düzeneği, yakıcı bek, yakma plakası ve enfraruj ısı ölçerden ibarettir. Test örneklerinin yanma deneyi öncesi tartımları ve boyut ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.12 : "Single Burning Item Test" tek yakma kaynaklı, yanma test düzeneklerinde alev çeşitleri.



Şekil 4.13 : Yakma testi düzeneği.

Sıkıştırılmış bir selüloz malzemede, yanma sonrasında geriye kömür kalır. Selüloz ve kömürün termik izolasyon özelliği iyi olduğundan, selüloz peletinin iç kısımlarına ısı geçiş hızı, kömürleşme kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Sonunda iç kısma geçen ısı, yanıcı gazların çıkması için yeterli olmaz. Bu şartlar altında alev yavaşlar, söner ve dışarıdan herhangi bir ısı kaynağı takviyesi olmadıkça, yanan kısım yavaşça soğur. Yanan malzemenin bu kendi kendini söndürme özelliği malzemeye, yangına karşı koruyucu bir özellik katmaktadır. Ancak, sıcaklık 550°C 'ye ulaşırsa, kömürleşen kısım da yanarak geriye kül kalmaktadır.

Deneylerde, kontrol ve test örnekleri 7'şer örnekten oluşan gruplar halinde yakılmıştır (Şekil 4.14). Yanma parametreleri (yanma derinliği, yanma çapı, kütle kaybı), yan üst ve arka yüzeyde ısı değişimi ile yanma aşamaları 30'ar saniye arayla ölçülmüştür. Alev kaynaklı yanma (AKY), kendi kendine yanma (KKY) ve kor halinde yanma (KHY) olmak üzere üç yanma aşaması gözlenmiştir. Alev kaynaklı yanma (AKY) aşamasında, 5 dakika süre ile örnekler yakılmıştır. Daha sonra alev kaynağı kapatılarak örneklerin kendi kendine yanma ve kor halinde yanma süreleri (sn) ve yıkılma başlangıcı aşamaları süre (sn) olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.14 : Borik asit+ su ve Borik asit+ Na_2SiO_3 bağlayıcılı olarak hazırlanmış sıkıştırılmış selüloz numunelerinin, 5 dakikalık yanma testi sonrası görüntüleri.

Holmes, selülozik bir malzemenin kendi kendine yanabilmesi için sıcaklığın 275° C' ye çıkarılması gerektiğini belirtmiş [279], Özgünler ve ark., yaptıkları çalışmada, 2 cm'lik bir selüloz peletin yanması sırasında, dış yüzeyin ısısı 800 °C iken arka kısımdaki ısı 40° C de kaldığını bildirmişlerdir [273]. Ohlemiller ve Rogers, yayılma kontrolü, oksijen taşınımı, tüketilen oksijen oranı için; 18 cm kalınlığındaki %25 borik asit katkılı gevşek dolgu selülozik malzeme için yaptıkları deneysel çalışmada; borik asitin alevsiz yanma yayılma hızını % 50 engellediğini ancak, 0.3 - 0.15 cm/dk'lık yanma ilerleme hızının, yangını durdurmaya yetmediğine işaret etmişlerdir [281].

Yalınkılıç ve ark., duglas odunun yanma özelliklerini iyileştirme amacı ile çeşitli borlu bileşiklerle muamele ettikleri çalışmasında; kontrol örneğinde kısmi yıkılmayı kendi kendine yanma aşamasında 220 sn'de ölçerken; borik asit ve boraks karışımı ile muamele ettikleri deney örneklerinde; kendi kendine yanma aşamasında kısmi bir yıkılmayı bildirirlerken, yanmanın tüm aşamalarında tümüyle yıkılma gözlemlenmediğini bildirmişlerdir [288]. Yalınkılıç ve ark., borik asit ile muamele ettikleri kızılçam odununda deney örneklerinde kor hali yanma aşamasının 450.sn'sinde yıkılmanın gerçekleştiğini bildirmişlerdir [294].

4.4.2 Mineral katkısının yanma geciktirmedeki etkisinin tespiti

Testlerin bir sonraki bölümünde, sıkıştırılmış selülozik yapı içine eklenecek mineralin yanma ve yanma geciktiricilik açısından malzemeye kazandıracağı olumlu sonuçların varlığını görebilmek için, %25 BA içeren selülozik elyaf içine farklı gramajlarda farklı mineraller eklenerek testler yinelenmiştir. Literatür değerlerine uygunluğu ve aralarındaki ölçülen değerlerde büyük fark olmaması, bundan sonraki testlerde borik asit içeriğini % 25 olarak almamıza neden olmuştur. Katkı minerali olarak iki farklı boyutta geliştirilmiş perlit ve vermikülit seçilmiştir.

4.4.3 LOI (Limiting Oxygen Index) Testi

LOI testi, minimum O₂ ve N konsantrasyonunda bir malzemenin denge koşullarında yanmasını gösterir. Bu metod malzemenin alev ile temas halindeyken gerçek davranışını göstermemesine rağmen, alev geciktiricilerin geliştirilmesinde ve karşılaştırılmasında kullanılan bir metottur. Malzemenin alev geciktirici olabilmesi bir diğer deyişle kendi kendini söndürebilmesinin geçerliliği için, deneysel limit LOI değeri 26 dan büyük olmalıdır [291].

Teste göre oksijen indisi; deney şartlarında yanmakta olan numune üzerine, yanmanın devamını sağlamak için 23oC sıcaklıkta gönderilen oksijen azot gazları karışımındaki oksijenin hacimce yüzdesinin mümkün olan en küçük yüzdesidir. Numune ,içinden yukarı doğru oksijen ve azot karışımı geçen şeffaf bir bacaya yerleştirilir. Numunenin farklı konsantrasyonlardaki yanma davranışı izlenerek en küçük oksijen konsantrasyonu belirlenerek önceden belirlenmiş sınır değerlerle mukayese edilir.

LOI testi, malzemelerin yanmasını devam ettireceği atmosferde minimum oksijen miktarı;

$$\% \text{ LOI} = \text{O}_2 \text{ Hacmi} * 100 / (\text{O}_2 \text{ Hacmi} + \text{N}_2 \text{ Hacmi}) \quad (4.14)$$

formülü ile belirlenir. Deneyde, Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Laboratuvarındaki Şekil 4.14'de görülen, BS 2782:141 ve ISO 4589-2 standartlarına uygun ölçüm yapabilen cihaz kullanılmıştır. Farklı oranlarda borikasit ve mineral içerikli olarak, 5x5x1 cm ebadında hazırlanan numuneler, sabit N₂ konsantrasyonundaki (%75) akış hızında farklı O₂ akış hızlarına tabi tutularak yakılmıştır. Malzeme cam baca içinde yakılıp alev aldıktan sonra 30 sn. sürekli olarak alevi sürdürmesi gerekmektedir. Numune tamamen yanana kadar O₂ miktarı artırılarak yanma için gerekli optimum O₂ miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 4.15 : LOI test cihazı

Elde edilen tüm sonuçlar irdelenerek değerlendirildiğinde, borik asit ve Na_2SiO_3 'ın bağlayıcı olarak kullanıldığı deney örneklerinin alev kaynaklı, kendi kendine yanma, kor hali yanma aşamalarında ölçülen sıcaklık değerleri ve yanma sonucu oluşan ağırlık kayıplarına ilişkin aralarındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Literatürde, selüloz için LOI değeri % 17-20 arasında belirtilmiş [277,301,304] Nelson (1995), ise selüloz elyafını 'yanıcı malzemeler grubuna dahil etmiştir [303].

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Selülozik Elyafın Bağlayıcı Olarak Su İle Davranışı

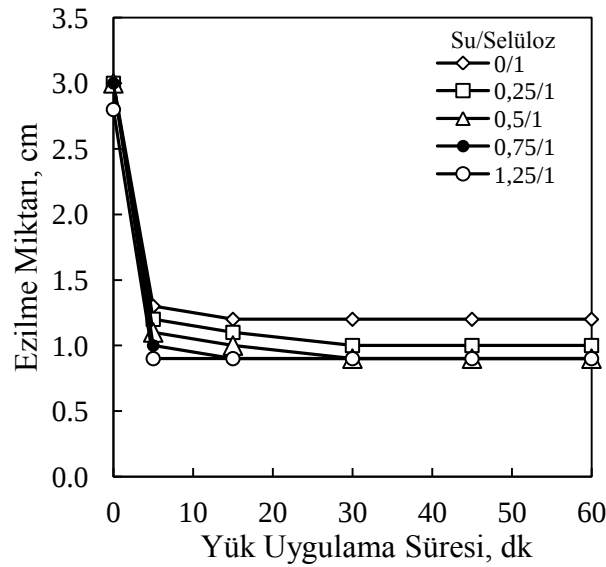
Hazırlanan 5 gr'lık numunelerin 1 ve 2 kg'lık yük uygulanarak, zamana ve kurutma ısısına (100, 150 ve 200° C) bağlı elde edilen deneysel değişim değerleri, farklı su/selüloz oranlarında elde edilmiştir. Yapılan ilk testlerde, farklı su/selüloz oranlarında, kurutma ısısının 100° C, uygulanan yük miktarının 1kg olduğu 5gr'lık numuneler için elde edilen ölçüm değerleri ve hesaplanan yoğunluk değişimleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Testlerdeki hesaplanan hata payı % ± 0.1 dir.

Çizelge 5.1 : 1 kg sabit yükte, Su/Selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı, ezilme, ağırlık ve yoğunluk miktarlarındaki değişim değerleri ($T_{kurutma}: 100^{\circ}C$, m:5gr, Ø: 9 cm).

Yük Uygulama ve Kurutma Süresi, dk								
Su/Selüloz	0	5	15	30	45	60	Yüksüz	24 saat
Oranı	Yük uygulama süresine bağlı ezilme değişimi, cm							Sonra
0/1	3.00	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20	1.70	1.70
0.25/1	3.00	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.10	1.50
0.50/1	3.00	1.10	1.00	0.90	0.90	0.90	1.00	1.20
0.75/1	3.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.10
1/1	2.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00
1.25/1	2.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00
Kurutma süresine bağlı ağırlık değişimi, gr								
0/1	5.10	5.00	5.00	4.90	4.90	4.80	4.80	5.10
0.25/1	6.30	5.50	5.40	5.30	5.20	5.10	5.10	5.20
0.50/1	7.40	6.30	5.60	5.20	5.20	5.10	5.10	5.30
0.75/1	8.20	7.30	6.70	5.70	5.50	5.20	5.20	5.30
1/1	9.40	8.40	7.50	6.30	5.70	5.40	5.40	5.30
1.25/1	11.00	10.10	8.90	7.20	6.20	5.30	5.30	5.30
Yoğunluk değişimi, kg/m ³								
0/1	26.74	60.49	65.53	64.22	64.22	62.91	44.41	47.18
0.25/1	33.03	72.08	77.21	83.35	81.78	80.21	72.92	54.52
0.50/1	38.79	90.07	88.07	90.87	90.87	89.12	80.21	69.46
075/1	42.99	114.81	117.08	99.60	96.11	90.87	81.78	75.78
1/1	52.80	146.79	131.06	110.09	99.60	92.61	92.61	83.35
1.25/1	61.78	176.49	155.52	125.82	108.34	92.61	92.61	83.35

Hata: % ± 0.1

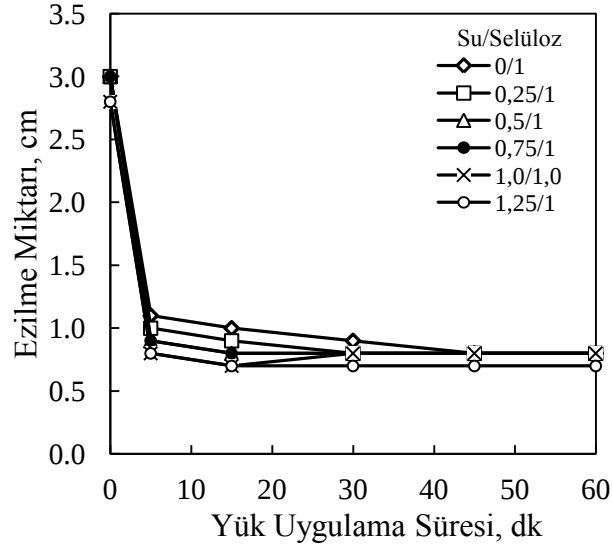
Suyun, nemlendirici ve bağlayıcı olarak kullanıldığı sıkıştırılmış selüloz elyafı performans testlerinde elde edilen veriler (Çizelge 5.1), değerlendirildiğinde, baskı yüküne ve zamana bağlı olarak ezilme ve form alma süresinin ilk beş dakikada % 98 oranında tamamlandığı görülmektedir (Şekil 5.1 ve 5.2). Farklı baskı yükü ve kurutma ısısına bağlı değişim değerleri EK A.1'de verilmiştir. Grafikler, selülozik elyaf malzemenin genel olarak, her durumda ilk beş dakikada temel şeklini aldığını, 10'ncu dakikaya kadar ezilme sürecinin az da olsa devam ettiğini, ancak 15'nci dakikadan sonra zamana bağlı olarak formun değişmediğini ve ezilme miktarının sabitlendiğini göstermektedir (Çizelge A.1-A.5) (Şekil A.1-A.4). Ayrıca selülozik yapıda, kurutma ısısının ve süresinin sıkışma ve form alma açısından çok etkili olmadığı görülmektedir. 24 saat sonraki boyut ölçümleri her üç ısı grubu için de farklılık göstermemektedir. Bunda selülozik elyafın fiziksel yapısının, mekanik sıkışmayı belli bir düzeyde tutacak dayanımda olmasının etkisi vardır. Elyaf içinde hapsolan hava, liflerin sıkışma dayanımına destek vermekte ve sıkışmayı belli bir düzeyde tutmaktadır. Bu özellik, sıkıştırılmış selülozik elyaf yapıda bizim istediğimiz ve yapının özellikle ısı yalıtım değerlerini olumlu etkileyecek bir haldir.



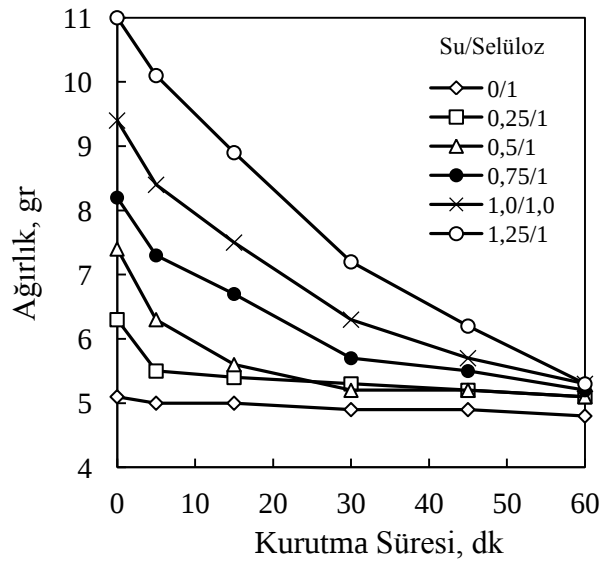
Şekil 5.1 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında süreye bağlı, ezilme miktarındaki değişim ($T_{kurutma}$:100 °C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg).

Çizelge 5.1 ve Çizelge A.1-A.5 değerleri bize, her iki yük grubu için uygulanan kurutma testinde benzer sonuçlar alındığını göstermiştir. Kurutma ısısına bağlı ağırlıkça değişim, 1 ve 2 kg baskı yüklerinde, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de görüldüğü

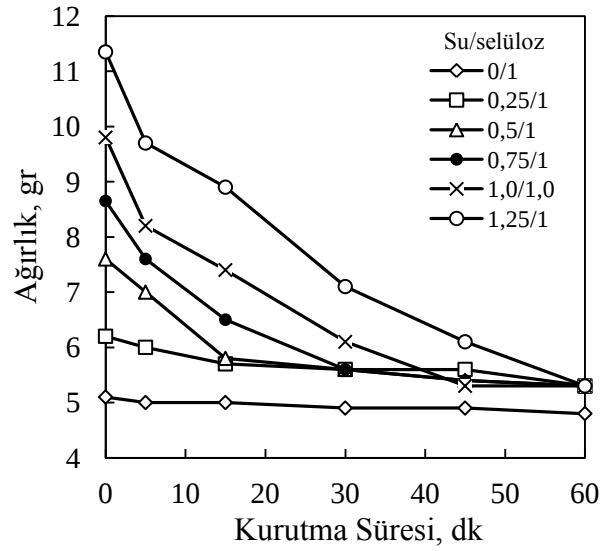
gibi 100° C kurutma ısısında, 60 dakikada stabilize olurken, 150 ve 200° C'lerde (Şekil A.5-A.8) bu süre 45 dakikaya düşmektedir.



Şekil 5.2 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında süreye bağlı, ezilme miktarındaki değişim ($T_{kurutma}$:100° C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg).



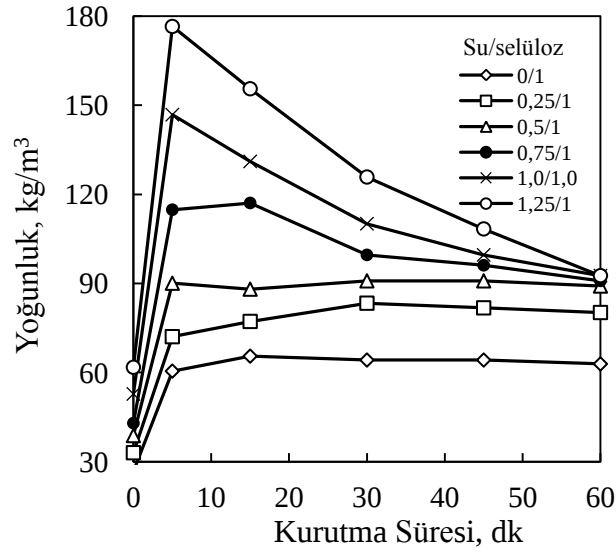
Şekil 5.3 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim ($T_{kurutma}$:100° C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg).



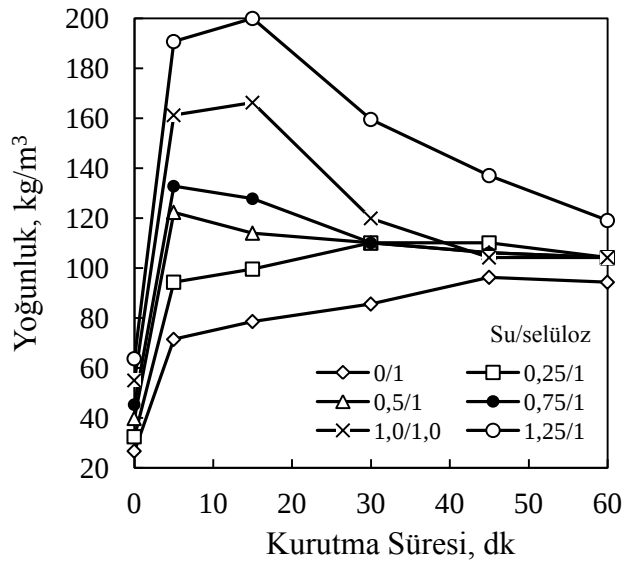
Şekil 5.4 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim ($T_{kurutma}:100^{\circ}C$, $m: 5gr$, $\varnothing: 9cm$, $p:2kg$).

Çizelge A.1-A.5'deki değerler incelendiğinde en kısa kurutma süresinin $200^{\circ}C$ de gerçekleştiği görülecektir. Ancak, bu ısıda süre uzadıkça malzeme gevşemekte ve sararmaktadır. Numunelerin, bağıl nem miktarlarını korudukları normal ağırlık değerine $100^{\circ}C$ de ulaştığı süre, 15 dakikanın çok üzerindedir. Oysa $150^{\circ}C$ de bunun için gerekli süre, 15 dakikadır. Numuneler $200^{\circ}C$ de 15 dakikadan sonra sararmaya başlamış ancak, yüke bağlı ezilmeden dolayı yüksek ısıda gevşeme görülmemiştir.

Selülozik yalıtım grubu ürünler için gerekli ve yeterli görülen $60-90 \text{ kg/m}^3$ 'lük yoğunluk değeri için kurutma ve yük süresinin birinci derecede belirleyici olmadığı görülmüştür. Sıkıştırılmış selülozik elyaf numuneler, $100, 150$ ve $200^{\circ}C$ 'lik kurutma ısılarında sırasıyla $60-90$, $80-120$ ve $70-90 \text{ kg/m}^3$ 'lük yoğunluk değerleri almıştır (Çizelge 5.1 ve Çizelge A.1-A.5). Şekil 5.5'de 1 kg yük uygulanan selülozik elyafın kurutma süresine bağlı yoğunluk değişimi görülmektedir. 2 kg yük uygulandığında ise (Şekil 5.6) değerler, her üç ısı grubunda $90-120 \text{ kg/m}^3$ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge A9-A.12). Bu da malzemenin yüke bağlı sıkışması ile yoğunluk arasında az da olsa bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ancak, malzemenin 24 saat sonraki değeri daha önemlidir. Zira selülozik yapı kurutularak neminin azaltılmasına rağmen oda şartlarında 24 saat sonra bağıl nem değerine ulaşmaktadır.



Şekil 5.5 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim ($T_{kurutma}$:100 °C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg).



Şekil 5.6 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim ($T_{kurutma}$:100 °C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg).

Uygulanan yük miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunluk değerinde %58'lik bir büyüme görülmektedir. Selülozik yapının sıkışmasına paralel bu artış normaldir. Sıkıştırılmış selülozik elyaf yapı kurutma ısısı ve süresine bağlı, beslenen su ve bünye nemini kaybetmesi sonucu ağırlıkça dolayısıyla yoğunluk olarak değişim göstermektedir. Ancak, numunenin fiziksel dayanımı ve görünümü de önemlidir.

Bunda da su/selüloz oranı belirleyici olmaktadır. İkinci aşama testlerde bu değer daha netleşecektir.

Numune miktarının, yapı üzerindeki etkisini daha net görebilmek için numune miktarını 10 ve 15 gr yaparak, daha dar bir su/selüloz oranı aralığında (0.5/1 ve 1/1) test edilmiştir. Ağırlığı 10 gr'a arttırılan, 1 ve 2 kg'lık yük miktarları ile 15 dakika sıkıştırılarak, 15 dakika 150 ve 200 °C'de kurutulmuş selüloz elyafı numunelerinin test sonuçları Çizelge A.6' da verilmiştir.

10 gr'lık numune ile yaptığımız deneylerde, uygulanan her iki yük miktarında da ezilmenin gerçekleşebilmesi için 5 dakikalık sürenin yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki yük miktarında kuruma süresi için 15 dakikalık sürenin yeterli olacağı da tespit edilmiştir. Yük miktarının genel olarak malzemenin form alması üzerinde etkili olduğu söylenebilir. İlk beş dakika bütün serilerde belirleyici olmuştur. 1 kg'lık yük uygulamasında 15 dakikada elde edilen değerlere 2 kg'lık yük ile, ilk beş dakika sonunda ulaşılmıştır. Bunun, malzemenin yoğunluğunu olumlu etkilediği dikkate alınırsa, 2 kg'lık yük değerinin deney hızı açısından bundan sonraki deneylerde daha uygun olacağı anlaşılmıştır.

15 gr numune miktarı, 15 dakika yük ve ısı süresi, 150° C kurutma ısısı uygulanan ikinci grup test sonuçları Çizelge A.7' de verilmiştir. 15 gr'lık numune miktarları ile yaptığımız deneylerde 1 kg'lık yük miktarında ezilme süresinin ilk beş dakikada tamamlanamadığı, fakat 2 kg'lık yükte 5 dakikalık sürenin yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki yük miktarında kuruma süresi için 15 dakikalık sürenin yeterli olacağı tespit edilmiştir. Kurutma süresinin yüke bağlı olarak etkisinin belirgin olmadığı görülmüştür. Her iki grupta aynı sürede bir önceki gruba göre aynı oranda nem kaybı farkı göstermiştir. Uygulanan test değerlerinde, ezilme süresinin 30 dakikaya kadar uzadığı ve ezilmenin bu dakikadan sonra sabitlendiği görülmüştür. Benzer şekilde kurutma süresinin de malzemenin miktarına ve içerdiği neme bağlı olarak arttığı da gözlenmiştir.

Sıkıştırılmış selülozik elyafın form almasında ve aldığı formu korumasında, sıkıştırma yük miktarı ve süresinin, özellikle ilk beş dakikanın en büyük etken olduğu ilk testlerde görülmüştür. Bu nedenle ilk beş dakikalık süre içinde yapının nasıl şekillendiğini daha net anlayabilmek için, 'ilk beş dakikalık performans testi' yapmanın uygun olacağı kararlaştırılmıştır.

Literatürde, ağaç malzemenin türüne, boyutlarına, ilk baştaki nem yüzdesine, ağaç malzemedeki beklenen özelliklere, mekanik özelliklere, biyolojik saldırılara karşı direnç kazanmasına ve boyutsal kararlılık gibi nedenlere bağlı olarak ısıtma işlem uygulamasında sıcaklık genellikle 180 ile 280 °C arasında tutulurken ısıtma işlem süresi de, 15 dakika ile 24 saat arasında değişmektedir [315]. Ağaç malzemenin ısıtma işlemiyle muamele edilmesi sonucunda içinde barındırdığı yapı taşlarından selüloz, hemiselüloz ve lignin yapısında değişik kompleks yapılar meydana gelmektedir. Böylelikle ağaç malzemenin bazı özellikleri geliştirilirken özellikle mekanik değerlerde düşüşlerin yaşandığı belirlenmiştir. Ağaç malzemenin özellikle ısıtma işlem sıcaklığından süreye göre daha fazla etkilendiği, 150° C ve üzeri sıcaklık uygulamalarında mekanik özelliklerin zayıfladığı belirtilirken biyolojik dayanıklılığın arttığı vurgulanmıştır [313-315]. Farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ısıtma işlemi maruz bırakılan selülozik yapının, yapılan deneysel incelemelerde 150° C ve üzerindeki sıcaklıklarda sıcaklığın ve sürenin artmasıyla, eğilme direncinde, eğilmede elastikiyet modülünde, liflere paralel basınç ve makaslama dirençlerinde ciddi oranlarda düşüşlerin yaşandığı belirtilmiştir [316-318].

Selülozik elyafın su kullanılarak, teste tabi tutulduğu bu bölümde kurutma ısısı ve yük miktarlarına göre, en uygun bağlayıcı oranının % 50-100 arasında olduğu görülmüştür. Literatürde [319] ıslak püskürtme uygulamalarında, selüloz elyafı ağırlıkça %50-100 oranında nemlendirildiği belirtilmekte, bu da bizim bulgumuzu desteklemektedir. Tespit edilen değerlerin numune miktarına bağlı olarak nasıl değiştiğinin belirlenebilmesi için yük, ısı, su/selüloz oranı ve süre sabit tutularak, ikinci grup testler yapılmıştır.

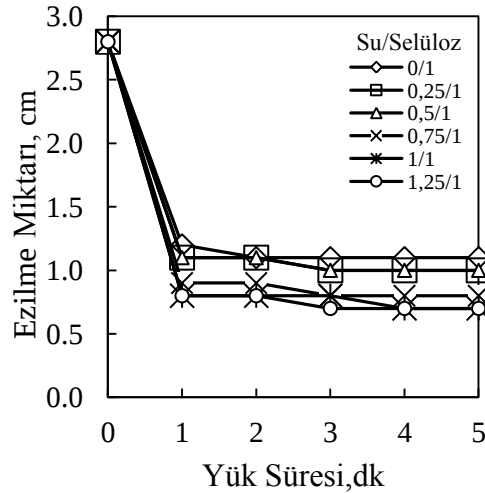
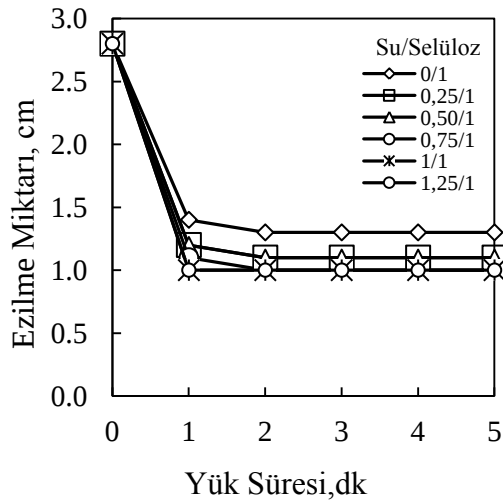
5.1.1 İlk beş dakikalık performans ölçümü

Her iki yük, farklı süre ve kurutma ısısına bağlı gruplardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; bağlayıcı oranı olarak 1/1 ve üzerinin, yük miktarı olarak 2 kg ve üzerinin, 150° C ısının ve 15 dakika kurutma süresinin testler için yeterli olacağı anlaşılmıştır. Ölçülen değerler ve gözlemlerimiz, yük miktarının artışı ile ezilmenin daha kısa sürede sabitlendiğini göstermiştir. Ezilmenin, ilk 5 dakikada tamamlanması, malzemenin üretim aşamasında form süresinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu nedenle malzemenin ilk beş dakikalık performansının değerlendirilmesine karar verilmiş ve benzer şartlarda deney tekrarı yapılmıştır.

Çizelge 5.2'deki veriler ile Şekil 5.5a'daki 1 kg baskı yükü ve Şekil 5.5b'deki 2 kg'lık baskı yüküne ait grafikler, bütün su/selüloz oranlarında form vermek için, baskı süresi olarak iki dakikanın yeterli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.2 : Su bağlayıcılı, selülozik elyaf numunenin baskı yükü ve uygulama süresine bağlı, ezilme miktarlarındaki değişimi, ($T_{kurutma}$: 150° C, $t_{kurutma}$: 15 dk, m:5 gr, Ø:9cm).

Su/selüloz Oranı	Ezilme miktarı, cm Yük: 1kg						Ezilme Miktarı, cm Yük: 2kg					
	Yük süresi, dk						Yük süresi, dk					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
0/1	2.8	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	2.8	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
0.25/1	2.8	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	2.8	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
0.50/1	2.8	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	2.8	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
0.75/1	2.8	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	2.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
1/1	2.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
1.25/1	2.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7



Şekil 5.7 : (a) 1 kg baskı yükünde (T :150 °C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:1kg), (b) 2 kg baskı yükünde (T :150 °C, m: 5gr, Ø: 9cm, p:2kg), yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarlarındaki değişim.

Numunelerin 5. dakikada ölçülen yüksekliğinde, 24 saat sonraki değişim, 0/1 ve 0.75/1 oranında bağlayıcı (su) içeren numuneler için % 8.33 dür. 1/1 ve 1/1.25 oranında bağlayıcı (su) içeren numunelerde ise değişim görülmemiştir. Bu bize malzemede yük altında form tutma açısından belli bir bağlayıcı oranında boyutsal kararlılığın sağlandığını da göstermektedir.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve yapılan ilk beş dakikalık performans testi bize ezilmenin % 98' lik kısmının ilk 2 dakikada gerçekleştiğini göstermiştir. Bu nedenle, bundan sonra farklı bağlayıcılarla yapılacak deneylerde optimum yük süresini 5 dakika olarak belirlenmiştir. 2'nci dakikadan sonraki 3 dakikalık bekleme süresi formun sıkılaşması ve yük kalktıktan sonra da formunu koruması açısından olumlu olacaktır.

5.1.2 Bağlayıcı tesbiti

Bağlayıcı türünün sıkıştırılmış selülozik elyaf yapının ısı iletkenlik katsayısı ölçümlerinde etkisinin olup olmadığını belirlemek ve malzemenin ısısal değişim karakteristiğini gözlemleyebilmek için beş farklı bağlayıcı kullanarak denemeler yapılmıştır. Yapılan testler sonucu bağlayıcı türünün yapının ısı iletkenlik karakteristiğinde belirgin bir fark oluşturduğu gözlenmemiştir. Çizelge 5.4 bağlayıcı olarak sadece suyun kullanıldığı numunenin ısı iletkenlik değerlerini vermektedir. Diğer numunelerin ölçülen ısı iletkenlik değerleri ve (Ek A.8 - A.11)'de, toplu sonuçları ise karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3'de verilmiştir.

En iyi değer, saf su bağlayıcılı numunede elde edilmiştir. Suyun miktarı arttıkça yapıdaki dayanım artmaktadır bunun da nedeni kağıdın kendi yapısı içinde var olan bağlayıcıların su ile aktivasyonudur. Ancak yapının fiziksel ve mekanik dayanım açısından zayıf olması suyu tercih dışı bırakmamıza neden olmuştur. Arap zambı, Na_2SiO_3 'den sonra, ikinci iyi değeri vermesine rağmen yapı içinde mantar ve böcek oluşumuna neden olacağı ve içerdikleri yüksek oranda karbonhidrat nedeni ile malzemeye daha fazla mantar ve küf önleyici kimyasal madde şarjı gerektireceği düşüncesi ile kullanımının mahzurlu olacağı düşünülmüştür. Mekanik dayanımı iyi olmasına rağmen benzer nedenden dolayı dekstrinde seçim dışı bırakılmıştır. Orgal PST50 sentetik bağlayıcının yapı içinde ısı köprüleri oluşturarak ısı iletim katsayısının yüksek çıkmasına neden olduğu ayrıca, yanma geciktirme özelliğine de olumsuz etki yapacağı düşünülmüş ve bu nedenle bir sonraki testlerde kullanılmamıştır. Na_2SiO_3 hem suya en yakın değeri verdiği için hem de yapıyı diğer bağlayıcılara oranla daha güçlü kıldığı için tercih edilmiştir. Uygulama kolaylığı ve rahat temin edilebilen bir malzeme olduğu için, diğer yalıtım sektörlerinde olduğu gibi bizim de tercihimiz olmuştur. Bundan sonraki testlerde Na_2SiO_3 ana bağlayıcı olarak kullanılacaktır.

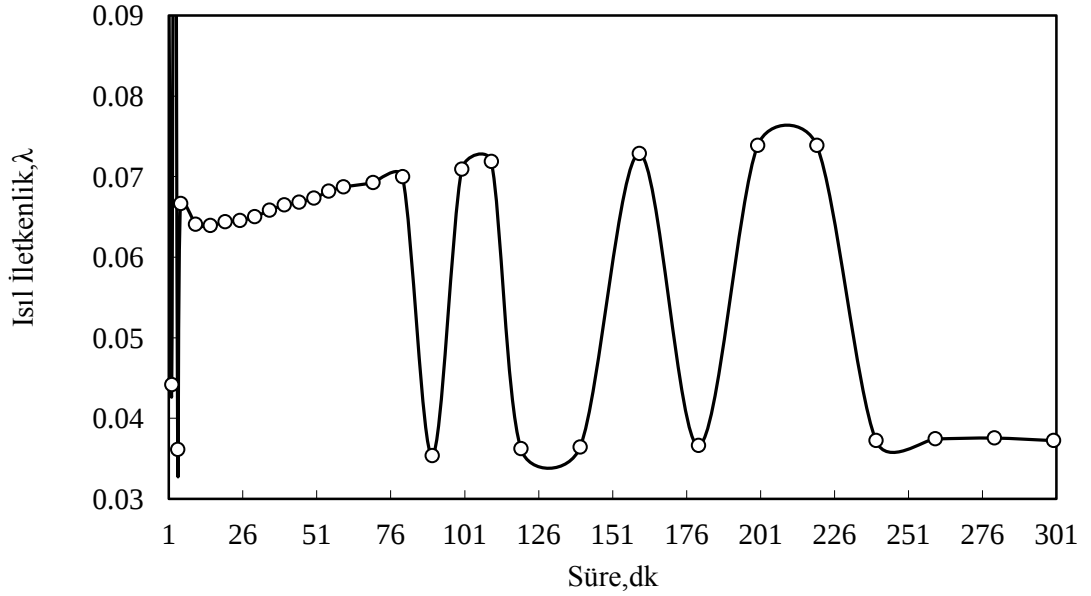
Çizelge 5.3 : Bağlayıcı türüne bağlı, selüloz elyafının ölçülen ısı iletkenlik değerleri.
Detaylar (Çizelge A.8 - A.11)'de verilmiştir.

Bağlayıcı Türü	λ , W/mK	R-Değeri
Su	0.0517	2.37
Na ₂ SiO ₃	0.0523	2.34
Dextrin	0.0571	2.14
Arapzamkı	0.0546	2.24
OrgalPST	0.0724	1.76

Çizelge 5.4 : Bağlayıcı olarak sadece su kullanılan selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri, (Selüloz+Su 1/1mix, d: 20mm, m: 20gr, Ø:10cm, T_{oda}:17.4°C, T_{test}:60 °C, hata: ±0,00018).

Süre,dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ , W/mK	R, m ² K/W	R-Değer
1	29.2	15.6	15.5	0.09779	0.19429	1.12
2	45.7	15.6	15.5	0.04419	0.43000	2.48
3	49.5	16.5	16.1	0.16121	0.11786	0.68
4	53.4	16.6	16.5	0.03614	0.52571	3.03
5	56.6	16.7	16.5	0.06667	0.28500	1.64
10	59.2	17.7	17.5	0.06410	0.29643	1.71
15	60.0	18.4	18.2	0.06394	0.29714	1.71
20	60.3	19.0	18.8	0.06441	0.29500	1.70
25	60.7	19.5	19.3	0.06456	0.29429	1.70
30	60.8	19.9	19.7	0.06504	0.29214	1.68
35	60.7	20.3	20.1	0.06584	0.28857	1.66
40	60.7	20.7	20.5	0.06650	0.28571	1.65
45	60.8	21.0	20.8	0.06683	0.28429	1.64
50	60.7	21.2	21.0	0.06734	0.28214	1.63
55	60.6	21.6	21.4	0.06821	0.27857	1.60
60	60.5	21.8	21.6	0.06873	0.27643	1.59
70	60.7	22.3	22.1	0.06927	0.27429	1.58
80	60.6	22.6	22.4	0.07000	0.27143	1.56
90	60.6	23.0	22.9	0.03537	0.53714	3.09
100	60.7	23.2	23.0	0.07093	0.26786	1.54
110	60.4	23.4	23.2	0.07189	0.26429	1.52
120	60.5	23.8	23.7	0.03624	0.52429	3.02
140	60.6	24.1	24.0	0.03644	0.52143	3.00
160	60.8	24.3	24.1	0.07288	0.26071	1.50
180	60.7	24.4	24.3	0.03664	0.51857	2.99
200	60.5	24.5	24.3	0.07389	0.25714	1.48
220	60.7	24.7	24.5	0.07389	0.25714	1.48
240	60.4	24.7	24.6	0.03725	0.51000	2.94
260	60.3	24.8	24.6	0.07493	0.25357	1.46
280	60.2	24.8	24.7	0.03757	0.50571	2.91
300	60.5	24.8	24.7	0.03725	0.51000	2.94
λ ort:				0.05170	0.41186	2.37
Stdsapma:				0.01813	0.12644	0.72831
λ ortrej:				0.04675	0.44482	2.56
Stdsapmarej:				0.01627	0.11043	0.063609

Çizelge 5.4 ve Şekil 5.8 incelendiğinde, zamana bağlı olarak ısı değişimin, ilk 90 dakikalık kısmında doğrusal yükselme trendinde olduğu, 90 ve 240 ncı dakikalar arasında ise dalgalanmaların varlığı görülmektedir. Selülozun bünyesindeki nem, ısınarak cidarlar arasındaki bu ısısal dalgalanmayı ve hareketliliği oluşturmaktadır. Yapı, 240. dakikadan sonra ısısal olarak rejime oturduğunda ise bu dalgalanma yerini daha kararlı bir ısısal taşınmaya bırakmaktadır.



Şekil 5.8 : Bağlayıcı olarak sadece suyun kullanıldığı sıkıştırılmış selüloz elyafının zamana bağlı, ısı iletkenlik değerlerindeki değişim karakteristiği (p:2kg, $T_{kurutma}$:150°C, m: 20gr, Ø:10cm, T_{test} : 60 °C, T_{oda} :17.4 °C, su/selüloz:1/1 mix).

Literatürde, malzemenin nem içeriğinin ısı iletkenliğini olumsuz yönde etkilediği, nemin ısı köprüsü oluşturarak iletkenliği artırdığı belirtilmiştir [313]. Bir çalışmada [226], ısı akış oranında – heat flow rate- ilk beş saatin en önemli eşik olduğu tesbit edilmiş ve bu süre ‘Thermal Ramp Period’ olarak tanımlanmıştır. Toplam ısı akışının % 42' sinin bu sürede gerçekleştiği, sonraki 15 saat süresinde bu değerin azalarak % 20' lerde kaldığı belirtilmiştir[278].

Temel olarak, tek yönlü ısı geçişinde, ısı iletkenlik katsayısı (λ), ısı ve nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak tanımlanır [324]. Malzemenin içerdiği bağıl nem miktarı (%11.25) ve test ısısı dikkate alındığında ölçülen değerlerdeki dalgalanmanın ön yüzeydeki ısınmaya bağlı olarak bünye nemi tarafından ısı taşınımı şeklinde geliştiği söylenebilir. Isı iletkenliğinin, süreç içindeki bu değişkenliği göz önüne alınarak, ilk

değerlendirmelerimizde 120. dakikadan sonrasının aritmetik ortalamasını, (λ) ısı iletkenlik katsayısı olarak belirlemiştik. Bu değerler İYTE (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü) tarafından yapılan test sonuçları ile (Çizelge 5.9) yakınlık göstermektedir. Ancak, malzemenin ısı iletkenlik değerlerini tespit ederken, kararlı halin ortalama başlangıç anı olan 240ncı dakikadan sonraki ölçüm değerlerinin ortalaması da tablolarda ikinci bir ısı iletkenlik katsayısı (λ_{ortrej}) değeri olarak belirtilmiştir (Çizelge 5.4). Bu ikinci değer, literatüre daha yakın görünmektedir. Bir miktar yüksek çıkmasının nedeni ise ölçümlerin sıkıştırılmış malzeme ile yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bundan sonraki aşamalarda da aynı yöntem kullanılarak numunelerin ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir.

Bu bölüm için genel değerlendirme yapılacak olursa, 5 gr'lık hazırlanan numunelerin deney sırasında ve deney kabından çıkartıldıktan sonra kurutma sırasında ve 24 saat sonraki durumu gözlenip, genel olarak şu sonuçlara varılmıştır.

1- Malzemenin her iki test grubunda da ezilme miktarı, ilk 15 dakikadan sonra sabitlenmektedir. Ayrıca, yük kalktıktan sonra ezilme yüksekliğinde % 7.83- 8.66 'lık bir artış olmaktadır.

2- Kurutma işleminde ilk 15 dakika, belirleyici kritik süre olarak gözlemlenmiştir. Bağlayıcı (su) miktarına bağlı olarak numunelerin sıklık ve sağlamlık özelliklerinin olumlu olarak geliştiği gözlenmiştir. 200 °C'de numuneler 30ncu dakikadan sonra sararmaya başlamıştır.

3- 0.5/1.0 su/selüloz oranındaki numunelerin kurutma işleminden sonra çok gevşek hale geldiği gözlemlenmiştir. Bağlayıcı (su) oranı % 60-80 arasındaki numunelerin uygun yoğunluklu malzeme oluşturduğu gözlenmiştir. Fakat fiziksel görünüm ve mekanik dayanım açısından form stabilitesi uygun görülmemiştir.

4- 24 saat sonra yapılan ölçümlere göre malzemenin nem yüzdesi genel olarak ilk halini aldığı gözlenmiştir. Form verilmiş numune daha sıkı ve dirençli hale gelmiştir. Selülozik levha boyutsal kararlıdır denilebilir.

5- Numunelerin %100 bağlayıcı oranında ve 2 kg'lık yük uygulanarak deneylere devam edilmesi, numunelerin dayanım testi sonuçlarına bakılarak, uygun görülmüştür.

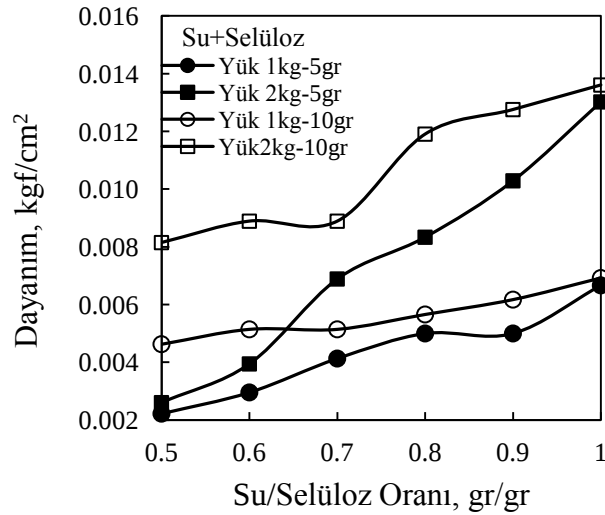
Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve yapılan 'ilk beş dakikalık performans' testi bize ezilmenin % 98 lik kısmının ilk 2 dakikada gerçekleştiğini göstermektedir.

Bu nedenle, bundan sonra farklı bağlayıcılarla yapacağımız deneylerde optimum yük süresini 5 dakika olarak belirlemek yeterli olacaktır. 2nci dakikadan sonraki 3 dakikalık bekleme süresi formun sıkılaşması ve yük kalktıktan sonra da formunu koruması açısından olumlu olacaktır.

5.1.3 Dayanım testi

1 ve 2 kg baskı yükü uygulanarak elde edilen, 5 ve 10 gramlık sıkıştırılmış selülozik elyaf numunelerinin, GABRIELLİ- CNOMETRO-CRC mukavemet ölçüm cihazı ile yapılan testlerde elde edilen aletsel ölçülebilen mukavemet değerleri Çizelge 5.5'de verilmiştir. Fiziksel olarak numunede bağlayıcı (su) oranı arttıkça sertlik ve sıkılık artmaktadır. Buna ek olarak, uygulanan yükün ve numune miktarının iki katı (10 gr) olduğu numunelerden elde edilen dayanım değerleri anlamlı bir grafik (Şekil 5.9) vermiştir .

Bu testte, yük miktarının ve bağlayıcının dayanımdaki etkisi daha net görülebilmektedir. Bundan sonraki aşamada farklı bağlayıcılarla yapılacak testlerde temel kriterlerimizden olan dayanım açısından, en az 10 gr ve üzeri ağırlıktaki numuneler, 2 kg ve üzeri yük ve 1/1 bağlayıcı oranının uygulanmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.9 : İki farklı selüloz miktarı ve baskı yükünde elde edilmiş numunelerin, su/selüloz oranına bağlı, aletsel ölçüm değeri ile hesaplanan dayanım değişimleri.

Çizelge 5.5 değerleri incelendiğinde 5 ve 10 gramlık numunelerdeki ağırlık, dolayısıyla yoğunluk artışının % 4.5'luk bir iyileştirme sağladığı, 1 ve 2 kg'lık yük değişiminin ise yapı üzerinde mekanik dayanım açısından % 48.5 oranında daha belirgin bir iyileştirme etkisi yaptığı görülmektedir.

Sıkıştırılmış selülozik yapının, zamana bağlı, fiziksel ve mekanik açıdan göstereceği değişimin incelenebilmesi için, 10 adet ve 4 set olarak hazırlanan numuneler 4 haftalık periyodik ölçüme tabi tutulmuştur. Ölçümlerde, ilk haftanın ölçüm değerleri günlük olarak alınarak, bir haftalık günlük değişim de gözlenmiştir.

Dayanım özelliklerindeki günlük değişim, aletsel ölçüm değerleri ve hesaplanan dayanım değerleri belirlenmiş, toplu olarak Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Bağlayıcı olarak sadece su kullanılarak, farklı yük miktarlarında sıkıştırılan, 5 ve 10 gr'lık numunelerin kırılma değerleri (Ø: 9cm, T_{oda} : 19.3° C, hata:± 0.05).

Numune, m:5 gr, d:0.5cm								
su/selüloz	Uygulanan Yük 1 Kg				Uygulanan Yük 2 Kg			
Oranı	h, cm	Ölçüm	kgf/cm ²	kN/m ²	h, cm	Ölçüm	kgf/cm ²	kN/m ²
0.5/1	1.50	0.03	0.0022	0.22	1.60	0.04	0.0026	0.26
0.6/1	1.30	0.03	0.0030	0.30	1.30	0.04	0.0039	0.39
0.7/1	1.10	0.03	0.0041	0.41	1.10	0.05	0.0069	0.69
0.8/1	1.00	0.03	0.0050	0.50	1.00	0.05	0.0083	0.83
0.9/1	1.00	0.03	0.0050	0.50	0.90	0.05	0.0103	1.03
1	1.00	0.04	0.0067	0.67	0.80	0.05	0.0130	1.30
Numune, m:10 gr, d:1cm								
su/selüloz	Uygulanan Yük 1 Kg				Uygulanan Yük 2 Kg			
Oranı	h, cm	Ölçüm	kgf/cm ²	kN/m ²	h, cm	Ölçüm	kgf/cm ²	kN/m ²
0.5/1	1.80	0.09	0.0046	0.46	1.50	0.11	0.0081	0.81
0.6/1	1.80	0.10	0.0051	0.51	1.50	0.12	0.0089	0.89
0.7/1	1.80	0.10	0.0051	0.51	1.50	0.12	0.0089	0.89
0.8/1	1.80	0.11	0.0057	0.57	1.40	0.14	0.0119	1.19
0.9/1	1.80	0.12	0.0062	0.62	1.40	0.15	0.0128	1.28
1	1.70	0.12	0.0069	0.69	1.40	0.16	0.0136	1.36

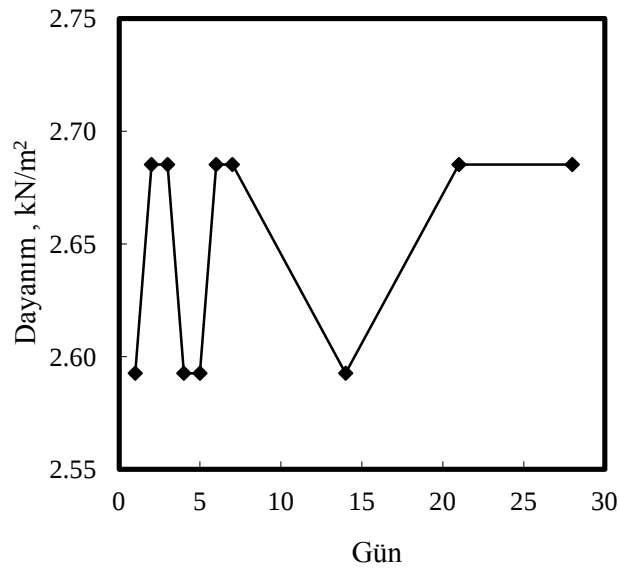
Numunelerde yapılan dayanım testlerinde, üçüncü günden sonra malzemenin ölçülen ve hesaplanan değerleri salınım gösterse de (Şekil 5.10), genel olarak fiziksel özelliklerinin ağırlık, yoğunluk ve kırılma dayanımı değerlerinin bu küçük salınım içinde sabitlendiği söylenebilir. Bu da bize malzemenin üretildikten sonraki günlerde, fiziksel özelliklerinin büyük oranlarda değişmeyeceği ve stabil olacağı yönünde fikir vermektedir.

Çalışmanın temel konusu olan mineral katkısının, yapıdaki mekanik dayanım açısından etkisini görebilmek için dört mineral seçilerek numuneler üretilmiş (Şekil

5.11) ve dayanım testi uygulanarak kırılma değerleri ölçülmüştür (Çizelge 5.7). Verilerin grafik gösterimi, Şekil 5.12' de ve karşılaştırmalı olarak Şekil 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Su bağlayıcılı ,15 gr lık numunelerle elde edilen dört haftalık dayanım değerleri (Su+Selüloz 1/1 mix., m: 15 gr, d: 1.5 cm, Ø: 9 cm, p:2 kg, $T_{kurutma}$: 150 °C, T_{oda} : 21.2° C, hata: ± 0.05)

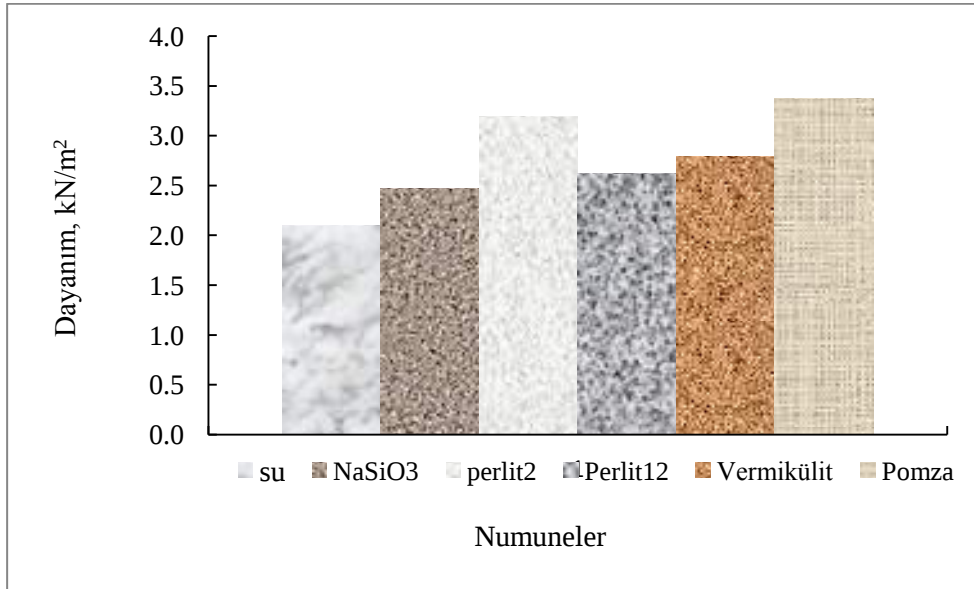
Süre	Ağırlık gr	Yoğunluk kg/m ³	Aletsel ölçüm değeri	kgf/cm ²	kN/m ²
1.Gün	16.1	140.67	0.28	0.025926	2.59
2.Gün	15.8	138.05	0.29	0.026852	2.69
3.Gün	15.4	134.55	0.29	0.026852	2.69
4.Gün	15.4	134.55	0.28	0.025926	2.59
5.Gün	15.4	134.55	0.28	0.025926	2.59
6.Gün	15.4	134.55	0.29	0.026852	2.69
7.Gün	15.3	133.68	0.29	0.026852	2.69
14.Gün	15.3	133.68	0.28	0.025926	2.59
21.Gün	15.2	132.81	0.29	0.026852	2.69
28.Gün	15.2	132.81	0.29	0.026852	2.69



Şekil 5.10 : Dört haftalık mekanik dayanım değerlerindeki değişim, (Su+Selüloz 1/1 mix., m: 15gr, d: 1.5cm, Ø:9cm, p: 2kg, $T_{kurutma}$: 150 °C, T_{oda} : 21.2 °C)



Şekil 5.11 : Farklı mineral içerikli, test için üretilen selülozik elyaf diskler; (A) Selüloz elyaf, (B) Selüloz + Perlit No:2, (C) Selüloz + Perlit No:12, (D) Selüloz +Vermikülit.



Şekil 5.12 : Sıkıştırılmış selüloz elyafının, mineral içeriğine bağlı, mekanik dayanım değerleri.

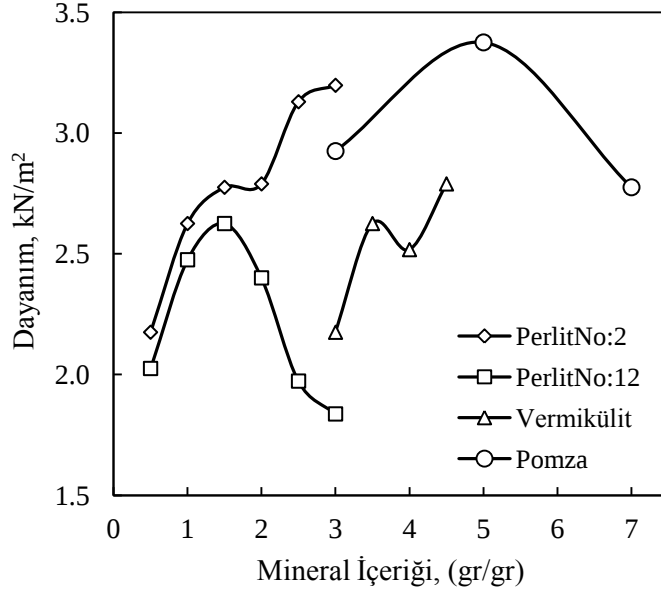
Çizelge 5.7 : Farklı mineral içerikli selüloz yapının, mekanik dayanım değerleri, (Ø: 9cm, T_{oda}:19,6° C).

Perlit No:2				
Min.içeriği, gr	h, cm	Ölç.Muk.	kgf/cm ²	kN/m ²
0.5	2.00	0.29	0.0218	2.18
1.0	2.00	0.35	0.0263	2.63
1.5	2.00	0.37	0.0278	2.78
2.0	2.10	0.41	0.0279	2.79
2.5	2.10	0.46	0.0313	3.13
3.0	2.10	0.47	0.0320	3.20
Perlit No:12				
	h, cm	Ölç.Muk.	kgf/cm ²	kN/m ²
0.5	2.00	0.27	0.0203	2.03
1.0	2.00	0.33	0.0248	2.48
1.5	2.00	0.35	0.0263	2.63
2.0	2.00	0.32	0.0240	2.40
2.5	2.10	0.29	0.0197	1.97
3.0	2.10	0.27	0.0184	1.84
Vermikülit				
	h, cm	Ölç.Muk.	kgf/cm ²	kN/m ²
3.0	2.00	0.29	0.0218	2.18
3.5	2.00	0.35	0.0263	2.63
4.0	2.10	0.37	0.0252	2.52
4.5	2.10	0.41	0.0279	2.79
Pomza				
	h, cm	Ölç.Muk.	kgf/cm ²	kN/m ²
3.0	2.00	0.39	0.0293	2.93
5.0	2.00	0.45	0.0338	3.38
7.0	2.00	0.37	0.0278	2.78

Ölçülen ve hesaplanan değerlerle grafik incelendiğinde, Perlit No:12'nin 1.5 gr'dan sonra yapıyı gevşeterek dayanımını azaltıp, kırılğan hale getirdiği görülmektedir. İri boyuttaki perlit tanecikleri lifler arası bağı zayıflatmaktadır. Artan mineral içeriklerinde bu hal daha belirginleşmektedir. Buna karşılık aynı boyut grubunda olmasına rağmen vermikülitte tam zıttı bir durum gözlenmektedir. Bunda en büyük etken vermikülitin tabakalı ve kolay ezilebilen yapısıdır.

Sıkıştırma sırasında selüloz elyafı ile birlikte davranarak form almakta ve yapıyı güçlendirmektedir. Mineraller içinde en belirgin iyileştirme etkisi Perlit No:2 ile pomzada görülmüştür. Bu iki mineralin boyutlarının 0.5 mm altında olması, yapının ana malzemesi selüloz elyafı ile birlikte, form oluşturmada kolaylık sağlamaktadır.

Dayanım testleri sonunda selülozik elyaf yapıyı; Na_2SiO_3 'ün %15.3, Perlit No:12'nin % 5.7, Perlit No:2'nin % 22.5, Vermikülit'in %11.1, Pomza'nın ise % 26.6 lık oranlarla iyileştirdikleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.13 : Mineral içeriğine bağlı, mekanik dayanım değerlerindeki değişim, ($\varnothing$: 9cm, T_{oda} :19,6°C).

Yapılan testler sonucu bulunan, numunelerin 2.5-3.3 kN/m²'lik dayanım büyüklükleri, literatürde selüloz levha için verilen 1.5-6.5 kN/m², EPS'nin 1.65 kN/m² ve XPS'in 6.23 kN/m² olan değerleri ile karşılaştırılacak olursa, değerlerin literatüre uygun olduğu ve üretmiş olduğumuz selülozik levhanın, dayanım olarak iki ürünün arasında olduğu ve uygulama zorluğu çıkarmayacağı ve uygulandığı yapıda normal şartlarda karşılaşılabilecek mekanik etkilere başarı ile dayanabileceği söylenebilir.

5.1.4 Boyutsal değişim miktarı ölçümü

Yapılan ölçümler sonucunda, numunelerin boyutsal kararlılığının varlığından söz edilebilir. Fiziksel olarak numunede bağlayıcı (su) oranı arttıkça sertlik ve sıkılık artmaktadır. Bağlayıcı oranı arttıkça değişim daha az olmakta, bazı numunelerde ise hiç görülmemektedir. Bağlayıcı olarak sadece su kullanılan numunelerde boyutsal değişim, yük uygulama yönünde, bağlayıcı oranına ve uygulanan yük miktarına bağlı olarak %7.83- 8.66 arasında gerçekleşmektedir (Çizelge A.1-A.5). Bu değişim oranı yük kalktıktan sonraki ölçüm değeri ile 24 saat sonraki ölçüm değeri arasında

görülmektedir. Bağlayıcı oranı azaldıkça kurutmaya bağlı olarak malzemede baskı yönünde gevşeme görülmüştür. Bağlayıcı oranı ve yük miktarındaki artış bu yöndeki gevşeme ve boyut değişimine de engel olmaktadır. Numunelerde, dört haftalık test sırasında yapılan ölçümlerde 24 saat sonra formun sabitlendiği ve boyutsal değişimin 3.günde tamamen durduğu, yapının stabil halini koruduğu gözlenmiş ve tespit edilmiştir. Sonuç olarak levha üretimden bir gün sonra uygulamaya hazır halde olacaktır. Rötire (çekme) miktarı, uygulanan yük miktarı ve bağlayıcı oranına göre %0.5 ile %1 arasında değişebilir. Bu orandaki boyutsal değişimin de, kabul edilebilir sınırlarda olduğu söylenebilir.

5.1.5 Gaz geçirgenliği ölçümü

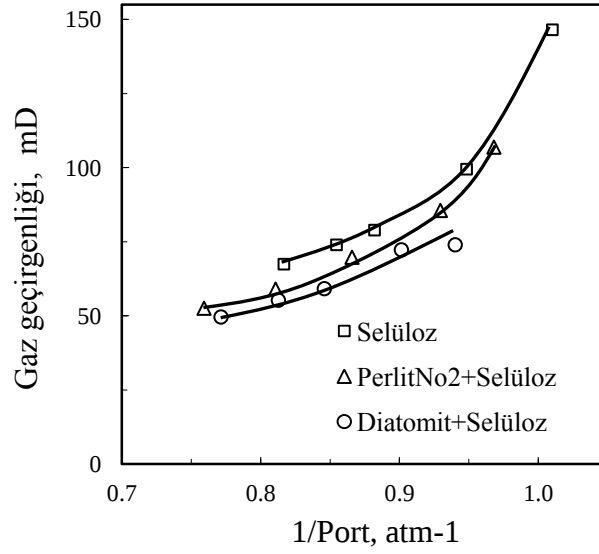
Hazırlanan sadece selüloz ve mineral katkılı selüloz elyafı levhaların yapılan gaz geçirgenlik testi sonuçları toplu olarak EK A.16.'da verilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar, Çizelge 5.8'de grafik olarak Şekil 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Mineral katkılı ve katkısız hazırlanmış sıkıştırılmış selüloz elyafının gaz geçirgenliği testi karşılaştırmalı sonuçları ($T_{\text{gaz}}: 22^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{oda}}: 22^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{oda}}: 1\text{atm}$).

Perlit No:2+selüloz		selüloz + Na_2SiO_3		Diatomit+selüloz	
k, mD	1/Port	k, mD	1/Port	k, mD	1/Port
106.9	0.918	146.5	0.960	73.9	0.890
85.5	0.879	99.4	0.898	72.2	0.851
69.7	0.816	78.9	0.832	59.2	0.796
59.0	0.761	73.9	0.805	55.3	0.763
52.6	0.709	67.4	0.767	49.6	0.721
1/ p_o : 51.0		1/ p_o : 74.0		1/ p_o : 47.0	

Normalde gaz geçirgenlik eğrisi doğrusal bir eğilim izler. Ölçülen değerler, $1/P_0$ ile 0 noktasına yaklaştırılarak, gaz geçirgenlik değerleri selüloz için; 74 mD, Perlit katkılı numune için; 51 mD ve Diatomit katkılı numune için de; 47 mD olarak bulunmuştur.

Grafikte eğrilerin parabolik eğilim göstermesi selülozik malzemenin, test sırasında basınç altında yapısal bozunmasına ve gevşeyerek geçirgenliğinin artmasına bağlı, 'Klikenberg kayma faktörü' olarak değerlendirilebilir. Bu eğilim mineral katkı türüne göre değişim göstermekte, fiziksel yapıya destek verici nitelikteki diatomit katkılı numunede, bu sapma çok az görülmektedir.



Şekil 5.14 : Gaz geçirgenliği ölçüm değerleri, karşılaştırmalı grafiği ($T_{oda} = 22^{\circ}\text{C}$, $T_{gas} = 22^{\circ}\text{C}$, $P_{oda} = 763 \text{ mmHg}$, $= 1.003947 \text{ atm}$, $= 14.757 \text{ psi}$).

5.1.6 Su buharı Geçirgenliği

Selülozik malzemenin yapısal özelliği, su buharı geçirgenliği değerinin önemini göz ardı etmemize imkan sağlamaktadır. Selülozik malzemenin su emme kapasitesi yüksektir. Selüloz elyafı yapısı gereği nemi bünyesinde sürekli tutma özelliğine sahiptir. Ancak, haftalık dayanım ve performans testleri selüloz elyafının bünyesinde tuttuğu nemi, fiziksel şartlar değiştiğinde ortama geri vererek normal formuna döndüğünü göstermektedir. Ancak, sıkıştırılmış selüloz levha yapıda, su buharı geçirgenliği değerinde azalma tesbit edilmiştir. Malzemenin gaz geçirgenlik değerleri, selülozik elyaf levhanın iç hava dinamiği ve nem alma/verme özelliği açısından yapısal uygunluğunu göstermektedir. Yapı içine katkı olarak katılan mineralin cinsine göre farklı değerler elde edilmesi ürünün ses ve ısı yalıtım malzemesi olarak kullanım alanı açısından, ürüne olumlu katkı yapacaktır.

5.2 Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçümleri

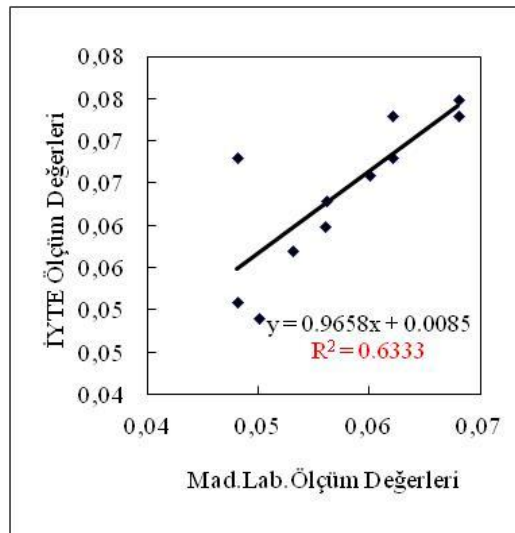
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünden gelen sonuçlar (Çizelge A.16) ve İTÜ Maden laboratuvarındaki yaptırdığımız test cihazı ile ölçülen ısıl iletim katsayısı sonuçları, karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.9' da verilmiştir. çizelge verileri ve verilerden elde

edilen grafikler incelendiğinde 0.63' lük korelasyon değeri ile, laboratuvarımızda elde ettiğimiz sonuçların yanılğı payının çok büyük olmadığı görülmektedir.

Çizelge 5.9 : Isı İletim Katsayıları Ölçüm Değerleri Karşılaştırması (Çizelge A.16).

Numune	Özellik	İYTE	İTÜ Maden
		$\lambda, W/mK$	$\lambda, W/mK$
Selüloz	Selüloz 15gr, 5bar	0.0545	0.0455
Selüloz	Selüloz 20gr, 5bar	0.0570	0.0514
Perlit No:2	Selüloz19gr+Perlit1gr, 5bar	0.0604	0.0506
Perlit No:2	Selüloz18gr+Perlit2gr, 5bar	0.0497	0.0451
Perlit No:2	Selüloz 17gr+Perlit3gr, 5bar	0.0513	0.0449
Perlit No:12	Selüloz 16gr+Perlit4gr, 5bar	0.0688	0.0512
Perlit No:12	Selüloz 15gr+Perlit5gr, 5bar	0.0638	0.0509
Vermikülit	Selüloz17gr+Verm.7gr, 5bar	0.0667	0.0480
Sepiolit	Selüloz16gr+Sepio.6gr, 5bar	0.0587	0.0461
Selüloz	Selüloz 10gr, 2bar	0.0473	0.0403
Selüloz	Selüloz 15gr, 2bar	0.0530	0.0450
Selüloz	Selüloz 20gr, 2bar	0.0689	0.0554
Diatomit	Selüloz17gr+Diato.5gr, 5bar	0.0559	0.0562
Pomza	Selüloz17gr+Pom.5gr, 5bar	0.0594	0.0435
Korelasyon		0.6292	

Cihazımızda elde ettiğimiz sonuçlar, esas olarak, numuneleri birbirleri ile karşılaştırmak için kullanılacağından bu fark bizi çok yanıltmayacaktır. Hazırladığımız numunelerin ölçümünün sonuçları ile İYTE verilerinin birlikte gösterildiği grafik, Şekil 5.15'de verilmiştir.



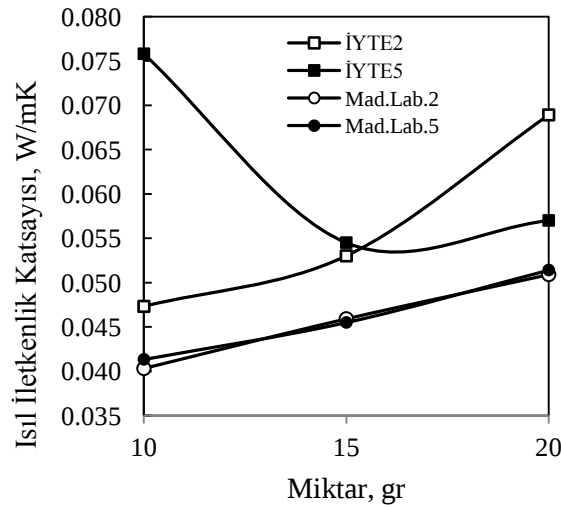
Şekil 5.15 : İYTE ve İTÜ Maden Fakültesi ısı iletkenlik değerleri ölçüm sonuçlarının karşılaştırması.

Çizelge 5.10'daki veriler incelendiğinde, cihazımızda elde ettiğimiz verilerin fazla saçılım göstermemesi de (Şekil 5.16) bizim sonuçlarımızı olumlu değerlendirmemiz yönünde desteklemektedir. Miktarla bağlı olarak yoğunluk artışına göre ısı iletim katsayısındaki değişim, bizim bulgularımızla literatür verilerine daha yakın ve uygun görünmektedir [192] (Şekil 5.17). Elde edilen istikrarlı sonuçlar cihazımızın ölçümlerinde rastgelelik olmadığını ve yapılacak karşılaştırmalarda isabet oranının yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.10 : İki farklı basınçta ısı iletim katsayıları ölçüm değerleri karşılaştırması.

İYTE ve İTÜ Maden Verilerine göre yüke bağlı, λ değerlerinin karşılaştırması				
Miktar	İYTE		İTÜ Maden	
	Uygulanan Yük		Uygulanan Yük	
	2 bar	5 bar	2 bar	5 bar
gr	λ W/mK	λ W/mK	λ W/mK	λ W/mK
10	0.0473	0.0758	0.0403	0.0413
15	0.0530	0.0545	0.0459	0.0455
20	0.0689	0.0570	0.0509	0.0514

1 bar:101.325 kN/m²

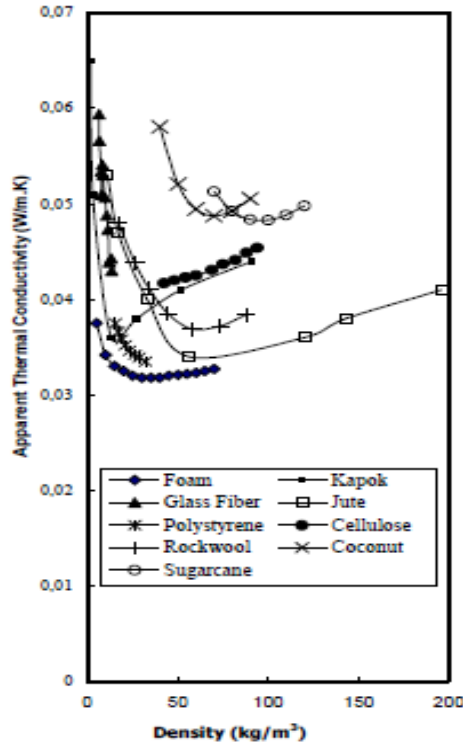


Şekil 5.16 : 2 ve 5 bar baskı yükünde, farklı selüloz miktarlarında hazırlanmış numunelerin, İYTE ve Maden Fakültesi ısı iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçlarının karşılaştırması.

Malzeme miktarı ve sıkıştırma için uygulanan yük, numunenin kalınlığına dolayısı ile numunenin yoğunluğuna da etki etmektedir. Bulunan değerler ve grafik,

literatürde [189][191,192][318-322] yoğunluğa bağlı ısıl değerlerin değişimine ait grafiklere uygunluk göstermektedir.

Manohar, özellikle yoğunluğa bağlı ısıl değerlerin değişimi ile ilgili, yaptığı karşılaştırmalı çalışmada (Şekil 5.17), genelde yalıtım malzemelerinde düşük yoğunluklarda daha iyi ısıl iletkenlik gösterdiğini, yoğunluk artışı ile ısıl iletkenlik değerinde az da olsa kötüleşme olduğunu belirtmekte bunu yalıtım malzemesinin 'Kanca davranışı' olarak tanımlamaktadır [192].



Şekil 5.17 : Farklı yalıtım malzemelerinin yoğunluğa bağlı ısıl iletkenlik değeri değişimleri [192].

Cihazda yapılan ölçümlerdeki hata oranının belirlenmesi için aynı özellikte, farklı zamanlarda üretilen dört adet numune üzerinde ölçümler yapılmış ve hata oranımız hesaplanmıştır. Hata oranımızın tespiti için yaptığımız test için, aynı özellikte hazırlanan dört ayrı numune, birer hafta ara ile yapılan ısıl iletkenlik testine tabi tutulmuştur. Ölçüm değerleri (Çizelge A.17-20)'de verilmiştir. Yapılan ölçüm değerleri sonucu elde edilen λ ve R-Değerleri toplu olarak Çizelge 5.11' de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Hata oranı tespiti için yapılan dört ayrı testin ısı iletkenlik ölçüm değerleri (Çizelge A.17 - A.20).

Numune	λ W/mK	R-Değeri
Selüloz 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix, yük:2 bar, num:1	0.0545	2.36
Selüloz 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix, yük:2 bar, num:2	0.0547	2.35
Selüloz 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix, yük:2 bar, num:3	0.0554	2.33
Selüloz 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix, yük:2 bar, num:4	0.0553	2.33
stndsapma:	0.00038	0,01299
± 0.0004		

(Çizelge A.17 - A.20)'de iki farklı λ_{ort} değeri verilmiştir. Tablolardaki bu iki farklı λ_{ort} ve λ_{ortrej} , değerleri karşılaştırıldığında son dört değerin ortalaması olan ikinci λ değerinin, selülozik yalıtım malzemesini için, daha iyi ve literatüre daha yakın bir ısı iletim katsayısı değeri olduğu görülmektedir. Ölçüm sırasında devam eden rejim kararlılığının daha belirgin olduğu bu ölçüm aralığı ile bizim genel olarak kabul ettiğimiz ilk değer arasında yaklaşık %11'lik bir pozitif fark vardır.

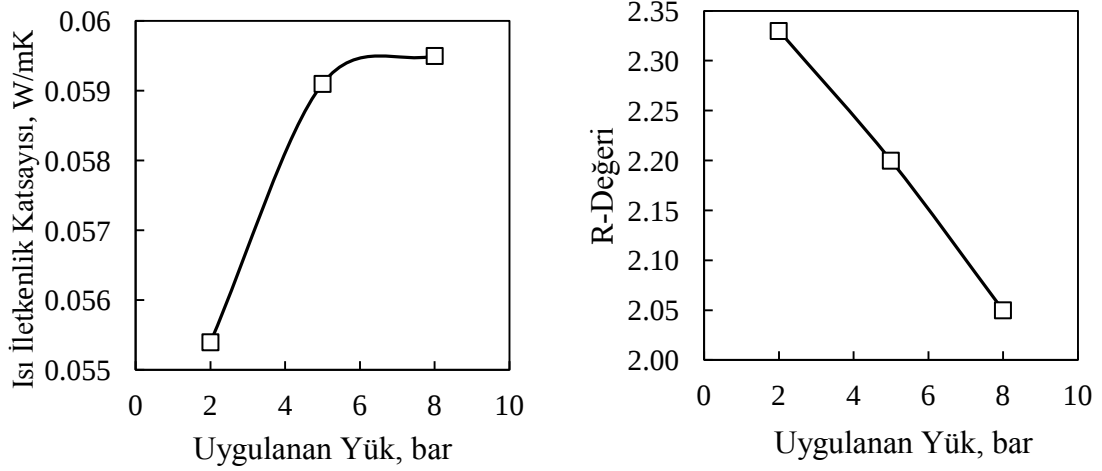
Numune disklerinde kullanılan selülozik elyaf malzeme miktarına bağlı, numunelerin kalınlık ve yoğunlukları da değişmektedir. Numunelerdeki bu değişimler dikkate alınarak, farklı miktar, farklı yük ve test ısısında ısı iletim ölçümleri yapılmıştır (Çizelge A.21-A.23). Ölçümlerde, numunelerin nem oranı % 11.2 – 13.5 arası tutulmuştur.

Yaptığımız dört haftalık performans testi (Çizelge 5.10) göstermiştir ki, malzeme kurutulduktan 24 saat sonra ortam nemini bünyesinde toplayarak % 11.26 olan bağıl nemini kazanmaktadır. Selüloz elyafının bünyesinde tuttuğu bağıl nemin normal iklim şartlarında, süreye bağlı olarak değişmediği daha önceki çalışmalarda da [195,196] görülmüştür. Değişken numune miktarı, yük farkı ve test ısısı miktarındaki artışa bağlı olarak; numunelerin ısı iletkenlik katsayısı ve ısı direnç değerlerinde artış tespit edilmiştir (Çizelge 5.12). Bu değerler malzemenin yapısına bağlı beklenen sonuçlardır.

Yapılan testlerde, uygulanan yük miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik değerinde artış olmakta, dolayısı ile ısı direnç (R) değerinde düşüş görülmektedir (Şekil 5.18). Bunun nedeni lifli yapıdaki malzemenin sıkışma sonucu içerdiği hava katmanlarını kaybetmesi ve malzeme sıkıştıkça kendi içinde ısı köprüleri oluşturmasıdır.

Çizelge 5.12 : Selüloz elyafının yüke, kalınlığa ve test sıcaklığına bağlı (λ) ve R-Değeri değişim değerleri.

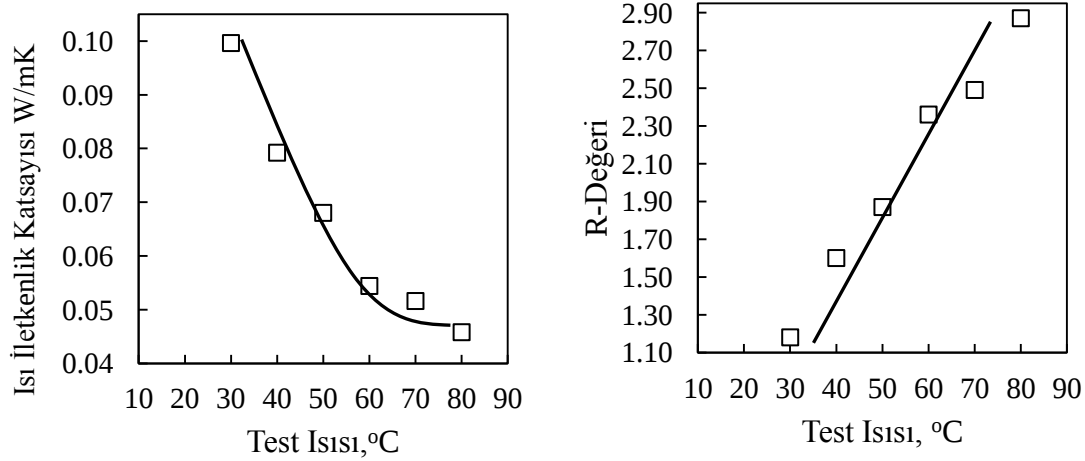
İşlem Özelliği	λ , W/mK	R- Değeri	ρ : kg/m ³
Uygulanan yük miktarına bağlı (Çizelge A.21-A.23)			
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, d: 21mm	0.0554	2.33	146.84
Selüloz 20 gr, yük: 5 bar, d: 19mm	0.0591	2.20	167.12
Selüloz 20 gr, yük: 8 bar, d: 17mm	0.0595	2.05	186.74
Kalınlığa ve yoğunluğa bağlı (Çizelge A.24-A.28)			
Selüloz 10 gr, yük: 5 bar, d: 9 mm	0.0403	1.43	158.02
Selüloz 15 gr, yük: 5 bar, d: 14 mm	0.0459	1.96	161.95
Selüloz 20 gr, yük: 5 bar, d: 19 mm	0.0509	2.51	163.09
Selüloz 30 gr, yük: 5 bar, d: 28 mm	0.0529	3.04	167.12
Selüloz 40 gr, yük: 5 bar, d: 35 mm	0.0567	3.39	176.28
Test ısısına bağlı (Çizelge A.29-A.34)			
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, ısı: 30 °C	0.0996	1.18	160.5
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, ısı: 40 °C	0.0792	1.60	153.5
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, ısı: 50 °C	0.0680	1.87	158.5
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, ısı: 60 °C	0.0544	2.36	152.2
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, ısı: 70 °C	0.0516	2.49	156.6
Selüloz 20 gr, yük: 2 bar, ısı: 80 °C	0.0458	2.87	159.7



Şekil 5.18 : Uygulanan yük miktarına bağlı, ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.12).

Test ısısına bağlı ısı iletkenlik değişimi ise; test ısısının artışı ile malzemenin ısı direnç değerlerinin artışı olarak gözlenmiştir (Şekil 5.19).

Yapılan çalışmalarda, püskürtme (wet-spray) şeklinde uygulanmış selülozik elyafın, hot-plate yöntemi ile ölçülen ısı iletkenlik değerlerinde ise, ısı iletkenliğinde test ısısına bağlı azalma tesbit edilmiştir [312][324].



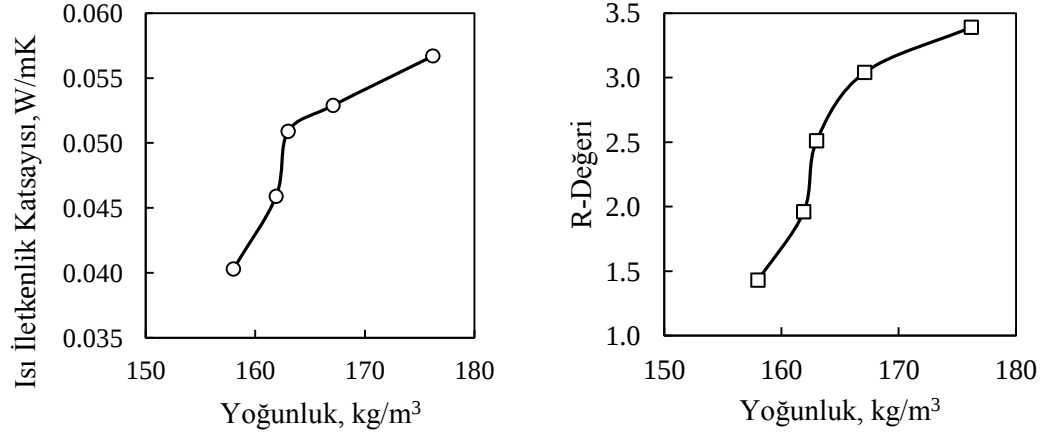
Şekil 5.19 : Sıkıştırılmış selüloz elyafının test sıcaklığına bağlı, ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.12).

Selülozik yalıtım malzemesinin serbest döküm (loose-fill) şeklindeki uygulamasında, R-değeri (per.inch) 3.7 dir. Bizim hesaplamalarımız sonucu sıkıştırılmış selüloz plakaları için elde edilen R- değeri 1.4 - 3.4 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13 : Selüloz miktarına ve yoğunluğa bağlı, ısı iletkenlik ölçüm değerleri (Çizelge A.24-A.28).

İşlem Özelliği	λ , W/mK	R-Değeri	ρ : kg/m ³
Miktar, Yoğunluk ve Kalınlığa bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri			
Selüloz 10 gr, yük: 5 bar, d: 9 mm	0.0403	1.43	158.02
Selüloz 15 gr, yük: 5 bar, d: 14 mm	0.0459	1.96	161.95
Selüloz 20 gr, yük: 5 bar, d: 19 mm	0.0509	2.51	163.09
Selüloz 30 gr, yük: 5 bar, d: 28 mm	0.0529	3.04	167.12
Selüloz 40 gr, yük: 5 bar, d: 35 mm	0.0567	3.39	176.28

Şekil 5.20'de, yoğunluğa bağlı R-Değerindeki iyileşme görülürken, ısı iletkenlik katsayısındaki kötüleşme, Manohar'ın (Şekil 5.17) 'kanca davranışı' tespitini desteklemektedir.



Şekil 5.20 : Sıkıştırılmış selüloz elyafının yoğunluğa bağlı olarak ısı iletkenlik ve R- Değeri değişimi (Çizelge 5.13).

Isıl değerlerin deklare edilen değerden düşük çıkması test yöntemine, uygulama yöntemine ve malzemenin nem miktarına bağlı olmalıdır. Ayrıca, deklare edilen değerler malzemenin tam kuru olduğu haldeki sıkıştırılmamış laboratuvar ölçümü ısıl direnç değerleridir. Ölçümlerimizdeki farklılığı;

1. Test ısısına bağlı olarak selülozik malzeme içinde, herhangi bir kimyasal değişim olmadığı için yapıyı oluşturan malzemelerde genleşme oluşmamasına ve dolayısıyla fiziksel ısıl etkileşimin azalmasına,
2. Malzemenin bağıl nemine, yapı içindeki yüzeyler arasındaki hareketine ve sıkıştırılmış elyafın yapısındaki, bağlayıcıya bağlı olarak ısı köprülerinin oluşmasına bağlayabiliriz.

Bunun, yapı üzerindeki zamana bağlı etkisini Bölüm 5.1'deki testlerde elde edilen sonuçlar ve grafiklerde daha net görebilmekteyiz.

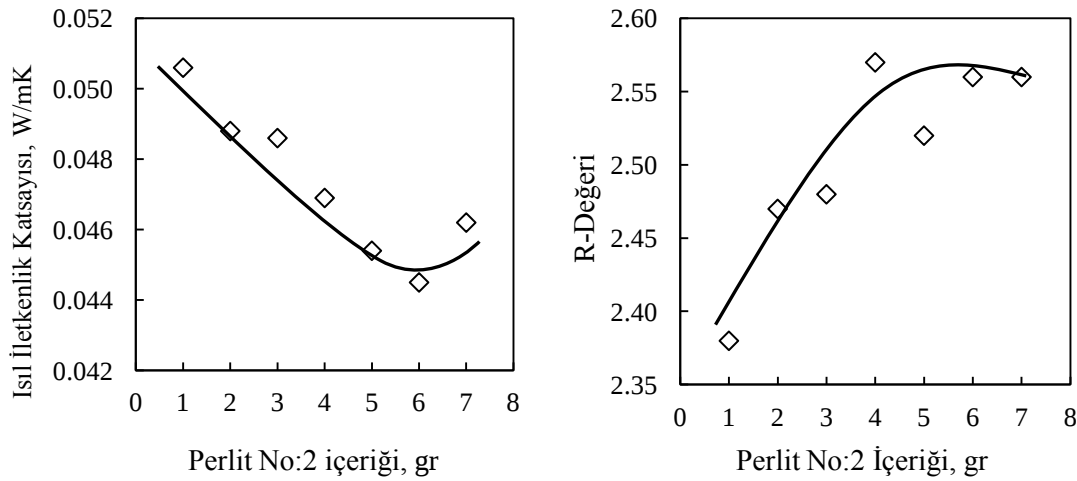
5.2.1 Perlitin ısı iletkenlik değerine etkisi

Selülozik yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerinde perlitin bir katkı yapıp yapmayacağını görmek için iki farklı boyutta geliştirilmiş perlit, selüloz elyafının içine ağırlıkça farklı oranlarda katılarak teste tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar (Çizelge A.35 - A.41)'de verilmiştir. Ölçüm sonuçları verilen Perlit No:2'nin ısı iletim katsayısı ve ısıl direnç değerleri, karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.14'de, grafiksel gösterimleri ise Şekil 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.14 : Perlit No:2 içerikli numunelerin, karşılaştırmalı ısı iletkenlik değeri (Çizelge A.35-A.41).

Perlit No: 2		$\lambda, \text{W/mK}$	R-Değer
Perlit+ Selüloz	Perlit: 1 gr Selüloz: 19 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0506	2.38
Perlit+ Selüloz	Perlit: 2 gr Selüloz: 18 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0488	2.47
Perlit+ Selüloz	Perlit: 3 gr Selüloz: 17 gr Na_2SiO_3 1/1mix	0.0486	2.48
Perlit+ Selüloz	Perlit: 4 gr Selüloz: 16 gr Na_2SiO_3 1/1mix	0.0469	2.57
Perlit+ Selüloz	Perlit: 5 gr Selüloz: 15 gr Na_2SiO_3 1/1mix	0.0454	2.52
Perlit+ Selüloz	Perlit: 6 gr Selüloz: 14 gr Na_2SiO_3 1/1mix	0.0445	2.56
Perlit+ Selüloz	Perlit: 7 gr Selüloz: 13 gr Na_2SiO_3 1/1mix	0.0478	2.53

Tablo ve grafikler incelendiğinde, Perlit No:2 katkısının, selülozun ısı iletim katsayısında % 10-20 arasında R-değerinde ise %10 oranında iyileştirme yaptığı görülmektedir. Perlitin % 30'dan fazla katkı olarak konulması malzemenin mekanik yapısını bozmakta ve ısı direnç değeri düşüşe neden olmaktadır. Buna neden olarak, selüloz elyafı içinde kapalı gözenekli yapıdaki perlit tanelerinin artmasıyla yapının perlit özelliği kazanması ve nemli taneciklerin kendi aralarında ısı köprüsü kurlmaları söylenebilir.



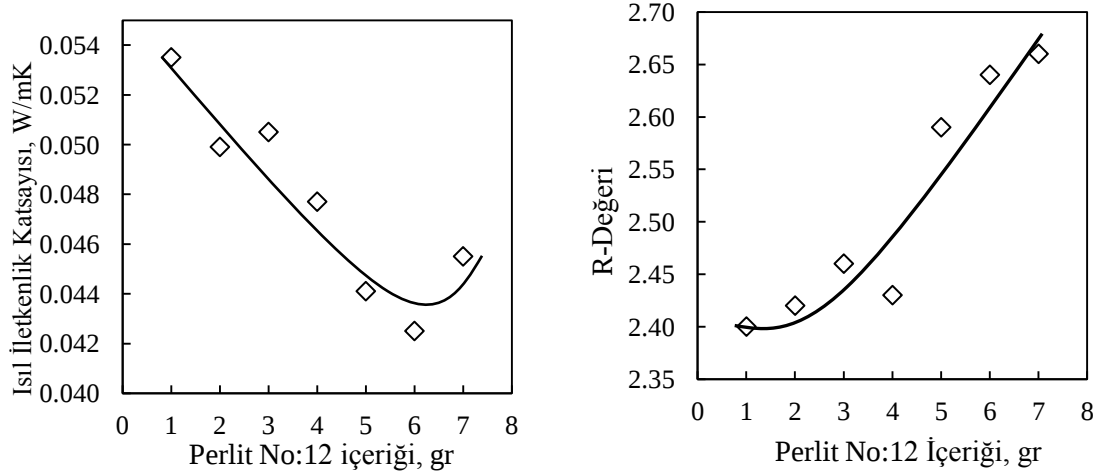
Şekil 5.21 : PerlitNo2'nin ısı iletkenlik değeri eğrileri (Çizelge 5.14).

Selüloz elyafı içine genişletilmiş Perlit No:12, ilave edilerek testler yinelenmiştir. Mekanik dayanım için benzer şeyler bu boyut grubu için de geçerlidir. Elde edilen ölçüm sonuçları toplu olarak (Çizelge A.42-A.48)'de verilmiştir. Veriler karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.15'de verilmiştir. Verilerin grafik değerlendirmesi ise Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : Perlit No:12 içerikli numunelerin karşılaştırmalı ısı iletkenlik değerleri (Çizelge A.42-A.48).

Perlit No:12	λ , W/mK	R-Değer
Perlit+ Selüloz Perlit: 1 gr Selüloz: 19 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0535	2.40
Perlit+ Selüloz Perlit: 2 gr Selüloz: 18 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0499	2.42
Perlit+ Selüloz Perlit:3 gr Selüloz: 17 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0505	2.46
Perlit+ Selüloz Perlit:4 gr Selüloz: 16 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0477	2.43
Perlit+ Selüloz Perlit:5 gr Selüloz: 15 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0441	2.59
Perlit+ Selüloz Perlit:6 gr Selüloz: 14 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0425	2.64
Perlit+ Selüloz Perlit:7 gr Selüloz: 13 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0455	2.66

Her iki boyuttaki perlitin test değerleri ve grafikler incelendiğinde Perlit No:2'in daha verimli olduğu gözlenmektedir. Perlit No:2'in, 1 gr ile sağladığı iyileştirme taneler irileştiğinde 3 gr'da sağlanmaktadır.



Şekil 5.22 : Perlit No:12 içerikli numunelerin, ısı iletkenlik değer eğrileri (Çizelge 5.15).

Benzer ısı iletim katsayısı değeri düşüşü, Perlit No:12 boyut gurubunda da görülmektedir. Mineral katkı oranı arttıkça ısı iletim katsayısındaki iyileşme devam etmekle birlikte, fiziksel ve mekanik bozulma, bu boyut gurubunda daha belirgin gözlemlenmiştir. Özellikle iri boyutlu perlitte, katkı miktarı 5 gramı geçtikten sonra, fiziksel yapı ve mekanik dayanım kötüleşmektedir. Gözenekli malzemelerde, genel olarak, küçük ve düzenli gözenekli yalıtım malzemelerinin, iri ve düzensiz gözenekli yapılara göre daha iyi ısı performans göstermeleri [160][161], yaptığımız iki farklı boyuttaki perlit testlerinde de gerçekleşmiştir.

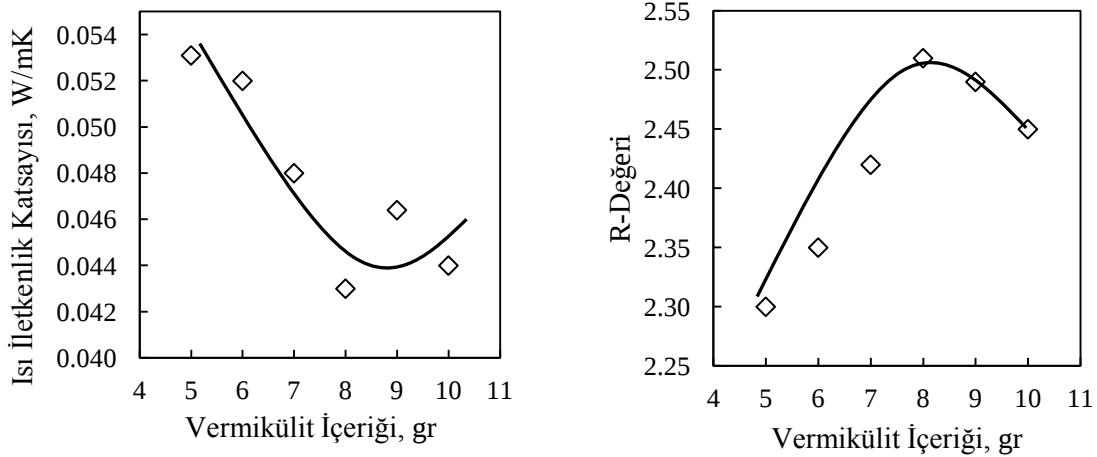
5.2.2 Vermikülitin ısı iletkenlik değerine etkisi

Vermikülit katkılı numunelerden elde edilen ısı iletkenlik ölçüm sonuçları toplu olarak (Çizelge A.49-A.54)'de verilmiştir. Verilerin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 5.16' da, grafiği Şekil 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5.16 : Vermikülit katkılı numunelerin karşılaştırmalı ısı iletkenlik değerleri (Çizelge A.49-A.54).

Vermikülit	λ , W/mK	R-Değer
Vermi+ Selüloz verm:5 gr Selüloz: 17 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0531	2.30
Vermi+ Selüloz verm:6 gr Selüloz: 16.5 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0520	2.35
Vermi+ Selüloz verm:7 gr Selüloz: 16 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0480	2.42
Vermi+ Selüloz verm:8 gr Selüloz: 15.5 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0430	2.51
Vermi+ Selüloz verm:9 gr Selüloz: 15 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0464	2.49
Vermi+ Selüloz verm:10 gr Selüloz: 14.5 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0440	2.45

Veriler ve grafikler incelendiğinde vermikülitin, ısı yalıtımı açısından selüloz elyafına, Perlit No:12'ye benzer bir etkisi gözlenmektedir. Ölçülen değerler hemen hemen aynı sınırlar içinde değişkenlik göstermekte, selülozun ısı iletkenlik değerlerinde % 25'lik bir iyileşme görülmektedir.



Şekil 5.23 : Vermikülit içeriğine bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.16).

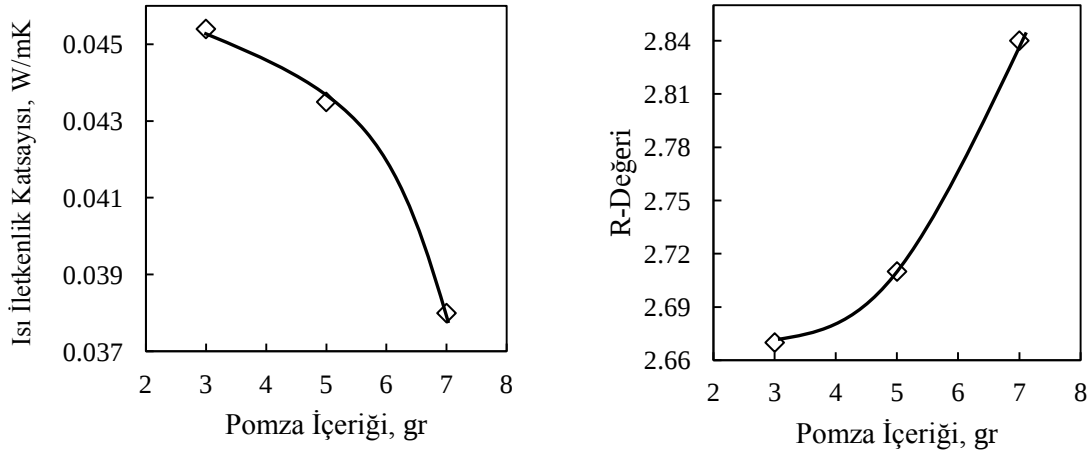
5.2.3 Pomza katkısının ısı iletkenlik değerine etkisi

Pomza katkılı numunelere ait testlerden, elde ettiğimiz ölçüm sonuçları toplu olarak (Çizelge A.55-A.57)'de verilmiştir. Verilerin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 5.17'de, değişim grafiği de Şekil 5.24'de verilmiştir.

Çizelge 5.17 : Pomza katkılı selüloz elyafının ısı iletkenlik değeri (Çizelge A.55-A.57).

Pomza	λ W/mK	R-Değer
Pomza 3 gr Selüloz:20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0454	2.67
Pomza 5 gr Selüloz: 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0435	2.71
Pomza 7gr Selüloz: 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix	0.0380	2.84

Pomza, yalıtım malzemesi bünyesinde ağırlıkça % 30- 35 ‘i kadar bulunabilir. Bu miktar malzeme yapısının ısı direnç açısından stabil olduğu değerdir. Pomzanın malzemenin mekanik ve fiziksel yapısında da iyileştirme yapması söz konusudur. Mekanik dayanım testleri bunu göstermektedir (Çizelge 5.13).



Şekil 5.24 : Pomza içeriğine bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Çizelge 5.17).

5.2.4 Sepiyolit ve diatomit katkısının ısı iletkenlik değerine etkisi

150 mikron altına öğütülmüş olarak selüloz elyafına katılan sepiyolit ve diatomit minerallerine ait elde edilen ölçüm verileri (Çizelge A.58-A.60) ve (Çizelge A.61-A.62)'de, ısı iletkenlik değeri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.18'de verilmiştir. Bu iki mineral, diğer katkı mineralleri gibi kuru olarak beslendikleri sıkıştırılmış selülozik elyaf yapının, mekanik ve fiziksel özelliklerini bozduğu için, testlerde uygulama dışı tutulmuştur. Özellikle sepiyolit, malzemeye beslenen bağlayıcı malzemeyi ve nemi bünyesine çekerek yapının gevşek ve dağınık olmasına neden olmuştur. Diatomitte de benzer yapı bozukluğu ve aşırı nemlilik görülmüştür. Bağlayıcı, dolayısı ile nem miktarını artırmak yapıda istenen yalıtım özelliklerini

olumsuz etkileyeceğinden, bu iki mineral, çalışmanın bir parçası olacak iken testlerde dikkate alınmamıştır.

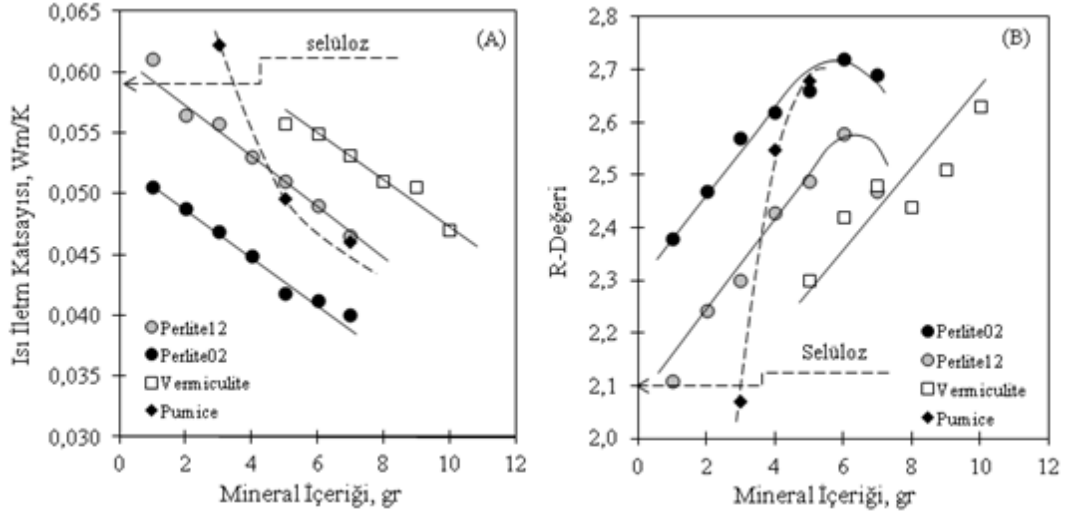
Çizelge 5.18 : Sepiyolit ve diatomit katkılı selüloz elyafının ısı iletkenlik değeri.

Sepiyolit (Çizelge A.58-A.60)	λ , W/mK	R-Değer
Sepiyolit 4 gr + Selüloz 18 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0543	2.31
Sepiyolit 5 gr + Selüloz 17 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0496	2.55
Sepiyolit 6 gr + Selüloz 16 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0461	2.69
Diatomit (Çizelge A.61-A.62)		
Diatomit 4gr + Selüloz 18 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0581	2.15
Diatomit 4gr + Selüloz 18 gr Na_2SiO_3 1/1 mix	0.0562	2.26

Genel olarak değerlendirilirse, bu dört ayrı mineralin, selüloz ile birlikte nasıl bir ısı iletim karakteristiği gösterdiği grafik olarak Şekil 5.25'de verilmiştir. Sıkıştırılmış selüloz elyafının 20 mm kalınlığındaki plakalardan elde edilen ısı iletim katsayısı değerinin 0.058 W/mK ve R-Değer değerinin de 2.15 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, grafikten de anlaşılacağı üzere selülözün içine katılacak her mineralin yapı içindeki etkisi, bu değeri iyileştirme yönündedir. Her iki boyuttaki perlitin aldığı değerlerin eğrisi paralellik göstermekte, özellikle Perlit No:2'nin daha verimli olduğu görülmektedir. Perlitin bünyede ağırlıkça % 30 dan (6 gr) daha fazla olması sistemi olumsuz etkilemektedir. Isıl iyileştirme geri dönüş göstermektedir. Vermikülit de yapıda artan içeriğe bağlı olarak yükselen ısı direnç değeri vermektedir. Aynı boyut gurubunda olmalarına rağmen, vermikülit sıkışma sırasında selüloz elyafı ile uyumlu davranmakta ve malzeme bünyesine, Perlit No:12'den daha fazla girebilmekte, iyileşmesini sürdürmektedir. Ancak, burada malzemenin mekanik ve fiziksel dayanım özelliği sınır koymaktadır. Benzer şekilde pomzanın da yapı üzerinde olumlu iyileştirme yaptığı görülmektedir.

Ölçülen ısı iletkenlik değeri 0.040-0.062 W/mK arasında değişmektedir (Şekil 4.28). Sadece selüloz içerikli numunelerde elde edilen ısı iletkenlik katsayısı değeri 0.056 W/mK' dır. Bu değerlerin selüloz elyafı için literatürde belirtilen değerden (0.038 - 0.040 W/mK), yüksek çıkmasının nedeni olarak, testlerin başlangıç ısı değerlerinin yüksek seçilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Seçilecek daha düşük başlangıç ısı değeri ile bu değer deklare edilen değere yaklaşacağı söylenebilir. Ayrıca sistemin test süresinde ısısal rejimi tam tamamlamadan, ölçümlerin kesilmesi de bir etken olarak düşünülebilir. Bir başka etken de,

karşılaştırılan büyüklüklerin elde ediliş formlarının farklı olmasıdır. Sıkıştırılmış yapıda ısı iletimi gevşek yapıya oranla daha fazladır.

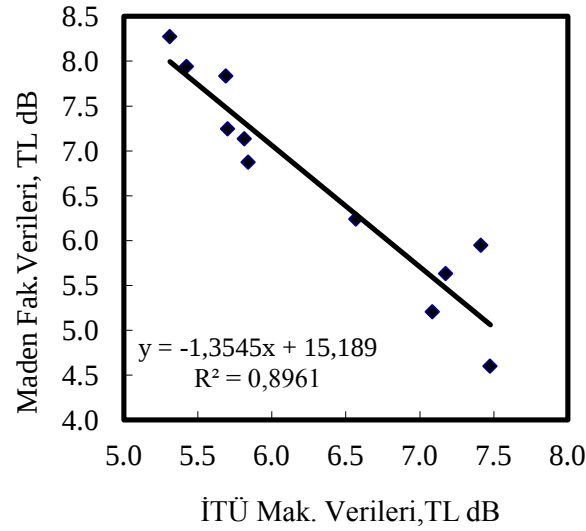


Şekil 5.25 : Dört mineralin selülozun (a) ısı iletkenlik ve (b) direnç değerine etkisi.

5.3 Ses yutum test sonuçlarının karşılaştırması

Yaptırdığımız, ses iletim değeri ölçüm cihazında ölçülen ve teorik olarak hesaplanan ses basınç düzeyi ölçüm sonuçları, İTÜ Makine Fakültesi Akustik Laboratuvarı ölçüm sonuçları değerlendirildiği zaman, çalışmanın başarısı hakkında bilgi vermektedir. Çizelge 5.19'da karşılaştırmalı ses basınç düzeyi ölçüm sonuçları birlikte verilmiştir.

Bu değerler incelendiğinde teorik ve pratik sonuçlar arasında uyum gözlenmektedir. Aradaki farklar, uygulamadan, malzemenin yapısından, cihaz özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 5.26'daki sonuçların karşılıklı mukayesesi ve çizilen regresyon eğrisi ve $R^2=0.89$ 'luk değer bize iki cihaz arasındaki ölçüm değerleri açısından, yaptırdığımız cihaz ölçümleri için güven sağlamaktadır. Bütün numunelerin, İTÜ Makina Fakültesi Akustik laboratuvarı cihazı tarafından ölçülerek çizilen ses iletim katsayısı grafikleri eklerde (Şekil A.13-A.41) verilmiştir.

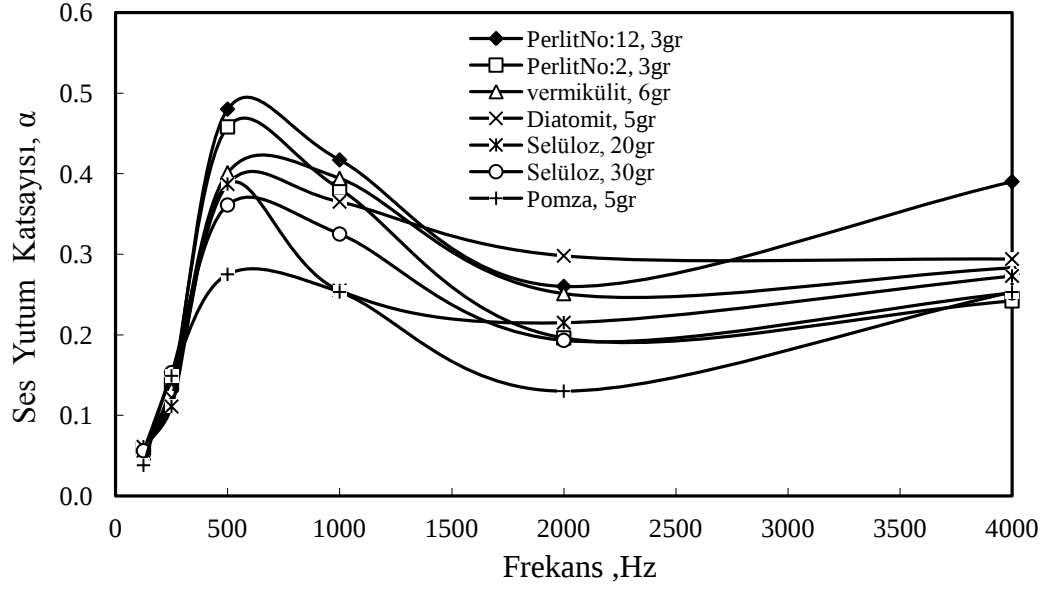


Şekil 5.26 : İTÜ Makine Fakültesi Akustik Lab. ölçüm değerleri ile Maden Fakültesi ses yutumu ölçüm değerlerinin regresyon eğrisi (Çizelge 5.19).

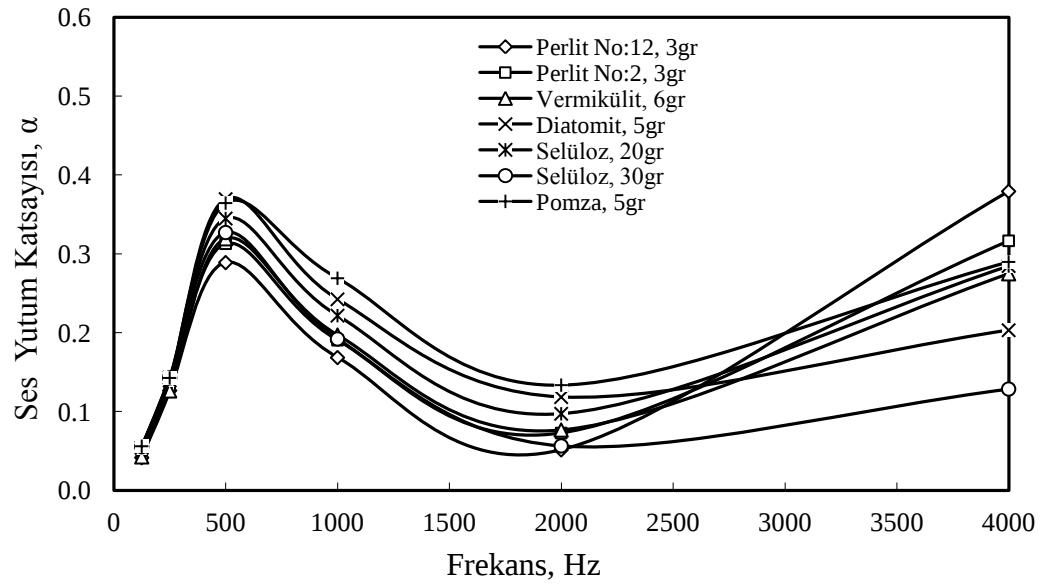
Şekil 5.27'de İTÜ Makina Fakültesi Akustik Lab. verileri grafiği ile Şekil 5.28'de Maden Fakültesinin yaptırdığı cihazın ölçüm verilerinin grafiği verilmiştir. Bu grafiklerdeki 125 Hz ile 4000 Hz arasındaki salınım benzerliği de cihazın ölçüm isabetini göstermektedir.

Çizelge 5.19 : İTÜ Makina Fakültesi akustik laboratuvarı ile Maden Fakültesi NRC ve ses yutum kaybı değerleri karşılaştırması.

Numune Özellikleri	İTÜ Mak. Akus.Lab.		İTÜ Mad. Lab.	
	NRC	TL dB	NRC	TL dB
Perlit No:12, 3gr	0.322	5.42	0.193	7.94
Perlit No:12, 6gr	0.315	5.31	0.198	8.27
Perlit No:2, 3gr	0.293	5.81	0.224	7.13
Perlit No:2, 6gr	0.292	5.84	0.246	6.87
Vermikülit, 6gr	0.295	5.70	0.213	7.24
Vermikülit, 8gr	0.299	5.69	0.199	7.83
Selüloz, 20gr	0.242	6.56	0.273	6.24
Selüloz, 30gr	0.198	7.08	0.325	5.20
Selüloz, 40gr	0.182	7.47	0.361	4.66
Diatomit, 4gr	0.258	6.15	0.250	6.56
Diatomit, 5gr	0.278	5.78	0.292	5.65
Pomza, 5gr	0.202	7.17	0.293	5.63
Pomza, 7gr	0.199	7.41	0.296	5.76



Şekil 5.27 : İTÜ Makine Fakültesi Akustik Laboratuvarı ölçüm değerlerinin ses yutum katsayısı karşılaştırmalı grafiği.



Şekil 5.28 : İTÜ Maden Fakültesi Laboratuvarı ölçüm değerlerinin ses yutum katsayısı karşılaştırmalı grafiği.

Selülozun miktarı, dolayısı ile yoğunluğuna bağlı ölçüm değerleri Makina Fakültesi verilerinde artışa bağlı olarak kötüleşirken, bizim cihazımızın verilerinde beklenen ses iletim değerlerindeki iyileşme görülmektedir (Şekil 5.27). Bir diğer büyük farklılık da Perlit No:12 katkılı numunelerde görülmektedir. Bunun dışındaki

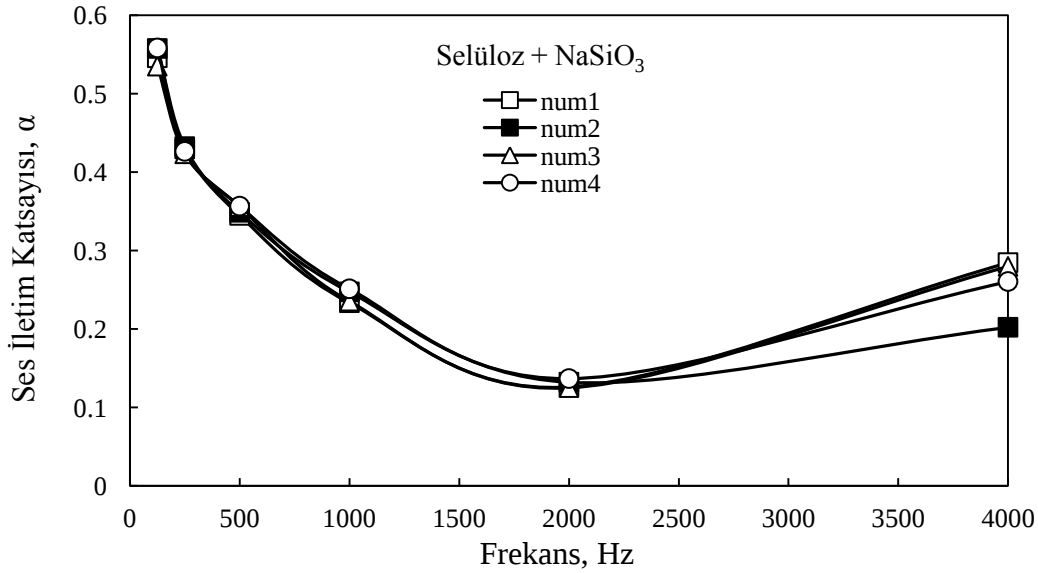
numunelerden elde edilen ölçüm verileri arasında belirgin bir sapma görülmemektedir.

5.3.1 Hata miktarının tespiti

Yapılan teslerdeki hata payının tespiti için, aynı özellikte hazırladığımız dört ayrı numune ile farklı zamanlarda yapılan ölçümlerde hata payının NRC değerleri için, ± 0.004 olduğu belirlenmiştir. Deney ölçüm sonuçlar, Çizelge 5.20'de toplu olarak, Şekil 5.29'da ise grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.20 : Ses yutum katsayısı ölçümleri hata oranı testi ses iletim ölçüm sonuçları (Çizelge A.63-A.66).

Numune	NRC	TL dB
Selüloz 20 gr, 1	0.283	5.89
Selüloz 20 gr, 2	0.290	5.76
Selüloz 20 gr, 3	0.285	5.88
Selüloz 20 gr, 4	0.292	5.70
standsap	0.0036	0.080
± 0.004		



Şekil 5.29 : Maden Fakültesi ses yutum katsayısı ölçümü, hata oranı tesbiti ölçümleri.

Ölçüm cihazımızdan elde edilen değerler öncelikle üretilen numunelerin birbirleri ile mukayesesi açısından önemlidir. Aynı özellikteki numunelerde, ölçülen ses yutum katsayısı değerlerinde saçılım göstermemesi, yapacağımız çalışmadaki

karşılaştırmaların doğruluğu ve isabeti hakkında şüphelerimizi ortadan kaldırmaktadır.

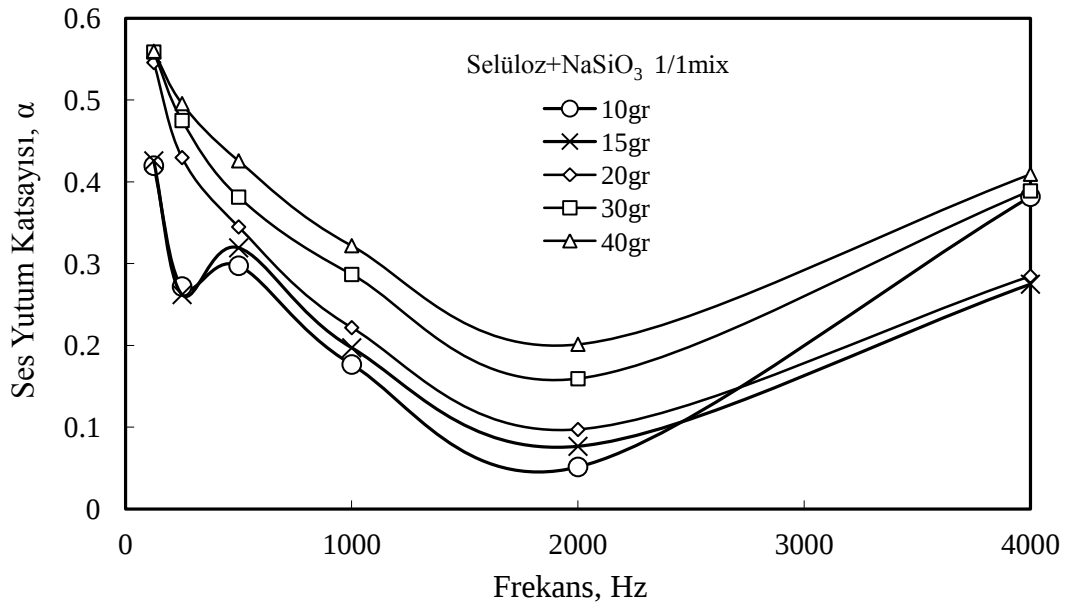
5.3.2 Ağırlık ve yoğunluğun ses iletim değerlerine etkisi

Yalıtım malzemesinin ağırlığı, dolayısı ile yoğunluğunun ses iletim değerlerine etkisini görebilmek için beş farklı gramajda numune hazırlanarak ses iletim değerleri ölçülmüştür. Hesaplanan ses azaltma katsayısı (NRC) ve ses iletim kaybı (TL) değerleri, toplu halde Çizelge 5.21'de verilmiştir. Ölçülen ses yutum katsayısı değerleri Şekil 5.30'da grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.21 : Yoğunluk ve selüloz miktarına bağlı ses iletim değerlerindeki değişim (Çizelge A.67-A.71)

Numune	ρ :kg/ m ³	NRC*	TL dB
Selüloz 10 gr	158.5	0.199	7.83
Selüloz 15 gr	161.9	0.213	7.24
Selüloz 20 gr	163.0	0.273	6.24
Selüloz 30 gr	167.1	0.325	5.20
Selüloz 40 gr	176.2	0.361	4.66

* ± 0.004

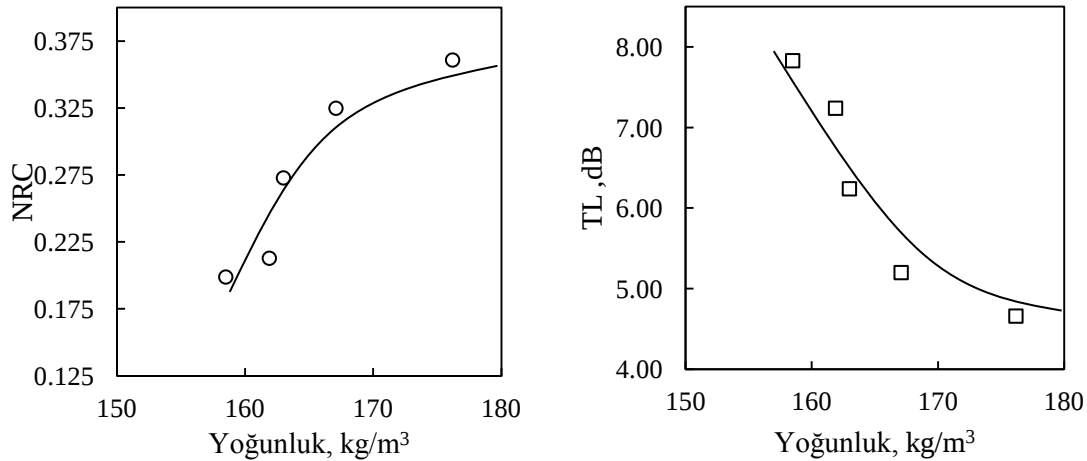


Şekil 5.30 : Selüloz miktarına, yoğunluğa bağlı olarak ölçülen ses yutum katsayısı değerlerindeki değişim (Çizelge A.67-A.71).

Ses yutum katsayısı grafiği (Şekil 5.30) incelendiğinde, yoğunluğun malzemenin efektifliği üzerinde etkisi açıkça görülmektedir. Gözenekli yapılardan sesin iletiminde en önemli etken olan hava kanalları, malzeme miktarı ve baskının sonucu daralmış ve kapanmıştır. Selülozik elyafın baskı altında kolay form alabilen yapısı, mineral katkılı numunelerde de baskın ve belirleyici rol oynamaktadır.

Çizelge 5.21 ve Şekil 5.31 incelendiğinde ağırlık dolayısıyla yoğunluk arttıkça gürültü azaltma katsayısında (NRC) yaklaşık % 80 oranında iyileşme görülmüştür. Benzer şekilde ses iletim kaybında (TL) da düşüş gözlenmektedir. Grafikten ayrıca, selülozun kalınlığına, yoğunluğuna bağlı olarak ses yutum katsayısının iyileşme gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 5.31' de selülozun ağırlığı dolayısı ile yoğunluk ve plaka kalınlığına bağlı NRC ve TL dB değişimini daha net görebilmekteyiz.

Yoğunluk değişimi, gözenekli malzemelerin ses emme performansı üzerinde fazla etkin değildir. Ancak, iri gözenekli emiciler, özellikle 500 Hz frekans altındaki düşük frekanslarda daha yüksek ses emilimi sağlarlar. Malzeme kalınlığı, $\lambda/4$ ise sözü edilen frekans aralığında daha iyi bir performans sağlamak mümkündür [232]. Gözenekli fiber yapılarda %20'den fazla bir boşluk oranı ses emilimini etkilemez. Ancak, daha küçük bir boşluk oranı ise yüksek frekanslı ses emme performansını azaltacaktır [233].



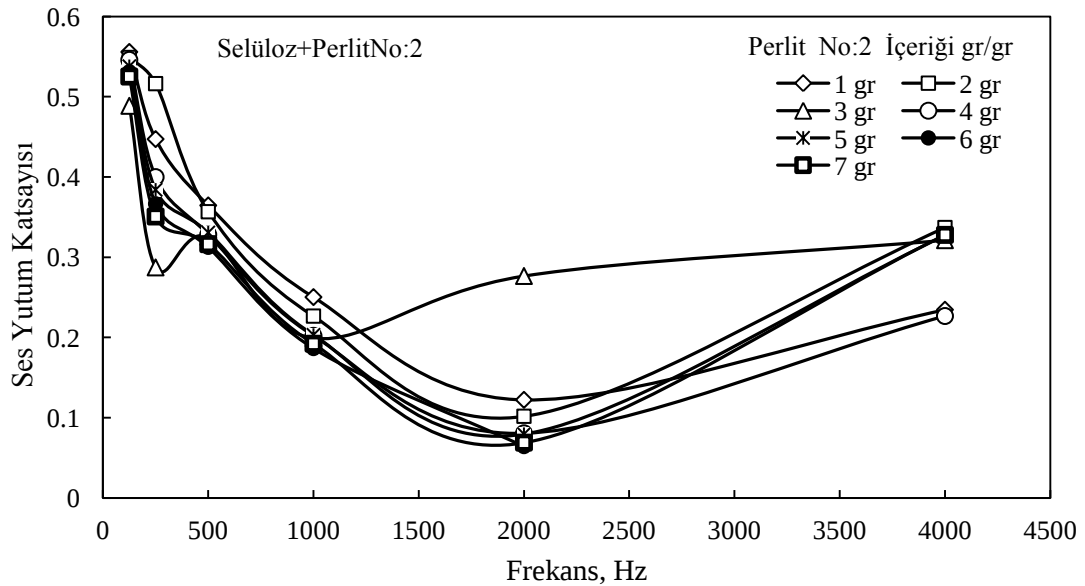
Şekil 5.31 : Yoğunluğa bağlı gürültü azaltma katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerindeki değişim (Çizelge 5.21).

5.3.3 Mineral katkıların ses iletim değerlerine etkisi

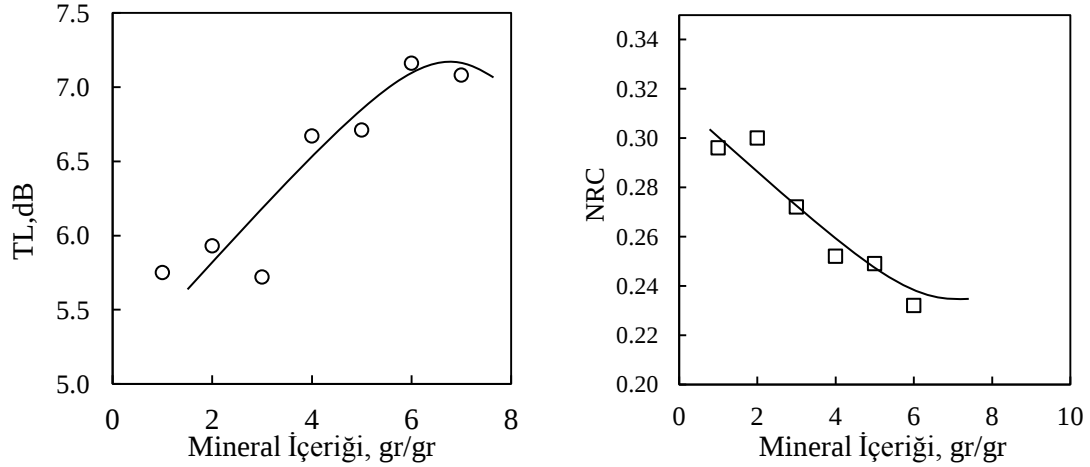
Mineral katkıların selülozik yapıda yapacağı etkiyi görebilmek için farklı boyutlarda seçilmiş farklı mineraller kullanılmıştır. İlk etapta 0.2-0.5 mm boyuttaki ince perlit kullanılmış, farklı miktarlarda perlit katılarak bir seri numune üretilmiştir. Üretilen numunelerden elde edilen ses iletim ölçüm verileri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.22' de, grafik olarak Şekil 5.32'de ses yutum katsayısı değişim eğrileri verilmiştir. Ölçüm tabloları ve elde edilen ses iletim ölçüm değerleri (Çizelge A.71-A.778)' de verilmiştir.

Çizelge 5.22 : Perlit No:2 katkılı selüloz elyafının ses iletim değerleri (Selüloz+ Na₂SiO₃ 1/1 mix) (Çizelge A.71-A.78).

Mineral İçeriği, gr/gr	NRC	TL dB
1	0.29	5.75
2	0.30	5.93
3	0.27	5.72
4	0.25	6.67
5	0.24	6.71
6	0.23	7.16
7	0.23	7.08



Şekil 5.32 : Perlit No:2 mineral içerikli selüloz elyafının ses yutum katsayısı eğrileri (Çizelge A.71-A.78).



Şekil 5.33 : Perlit No:2 katkısının miktar olarak değişiminin ses iletim değerlerine etkisi (Çizelge 5.22).

İnce boyutlu perlit katkısının 6 gr olarak uygulandığı numunenin, sıkıştırılmış selülozik yapıya ses iletim kaybı açısından yaptığı iyileştirme, Çizelge 5.21'deki 20 gr'lık sıkıştırılmış selülozun ses iletim kaybı (TL) değeri ile karşılaştırıldığında yaklaşık %15 oranında olduğu görülmektedir. Buna karşılık, kendi içinde miktara bağlı iyileşme oranı ise, %25 olarak gerçekleşmiştir.

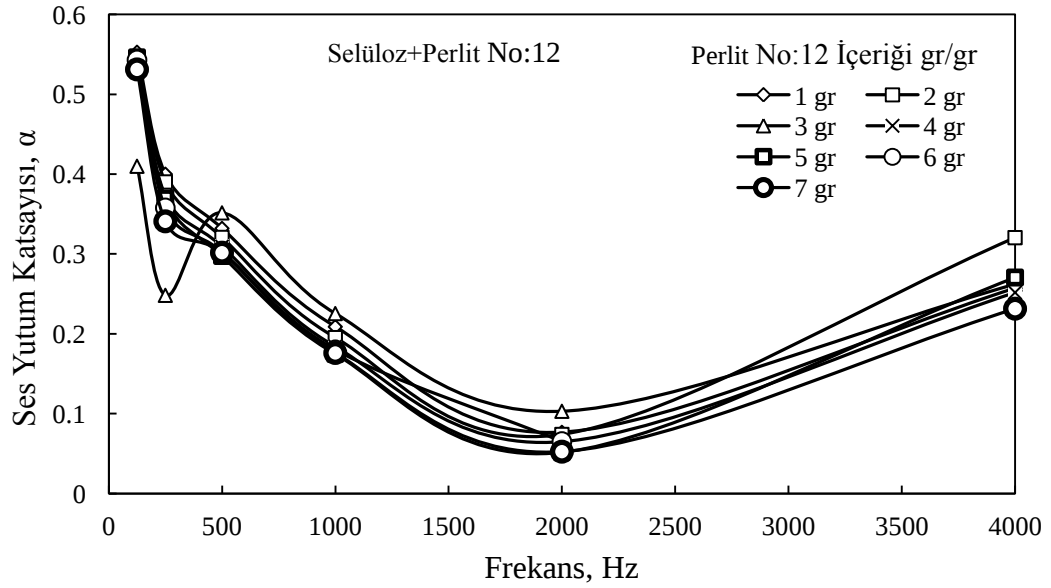
Genleştirilmiş mikronize perlitin bünyesindeki kapalı gözenekler selülozik elyaf yapının ses iletim değerlerinde iyileşmeye neden olan en önemli faktördür. Ancak, mineral katkı miktarı, selüloz yapıda ağırlıkça oran olarak, % 30'u aştığında yapı gevşemekte, fiziksel ve mekanik özellikleri zayıflamaktadır. Bu da, selülozik elyaf yapıda açık hava kanalları oluşumuna neden olmaktadır. Şekil 5.30 incelendiğinde, katkı miktarındaki artışa bağlı iyileşmenin sürekli olmayışı bu nedenledir.

Benzer şekilde Perlit No:12 kodlu ve 0.5-2 mm boyut aralığındaki genleştirilmiş iri perlit katkısı ile de testler yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları (Çizelge A.79-A.85)'de, ses iletim kaybı (TL) ve gürültü azaltma katsayısı (NRC) sonuçları da karşılaştırmalı olarak, Çizelge 5.23'de, ses yutum katsayılarındaki değişim eğrileride Şekil 5.34'de verilmiştir.

Çizelge değerleri incelendiğinde selülozik elyaf yapıda, mikronize perlit de olduğu gibi, kendi içinde, katkı mineralinin miktarına bağlı olarak yaklaşık %15'lik bir iyileşme görülmektedir (Şekil 5.35).

Çizelge 5.23 : Perlit No:12 katkılı selüloz elyafının ses iletim değerleri (Selüloz+ Na₂SiO₃ 1/1 mix)(Çizelge A.79-A.85).

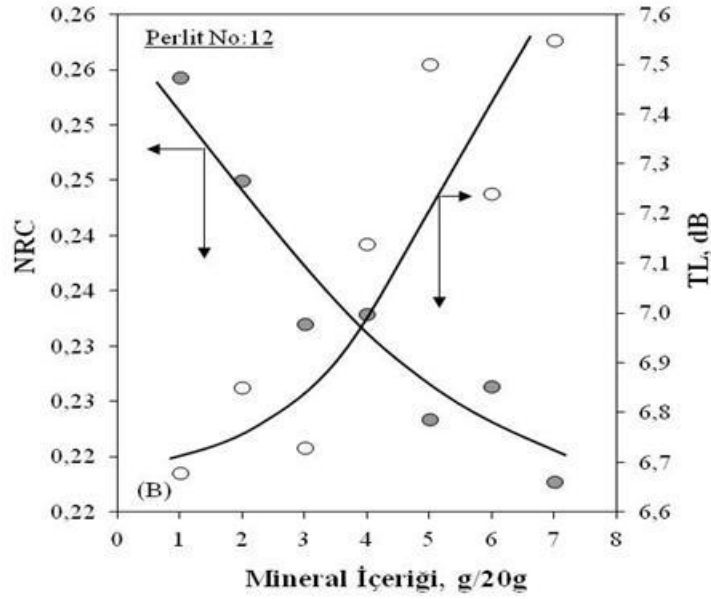
Mineral İçeriği, gr/gr	NRC	TL dB
1	0.254	6.68
2	0.245	6.85
3	0.232	6.73
4	0.232	7.14
5	0.223	7.51
6	0.226	7.24
7	0.217	7.55



Şekil 5.34 : Perlit No:12 mineral içerikli selüloz elyafının, ses yutum katsayısı eğrileri (Çizelge 5.23).

Mineral katkısız sıkıştırılmış selüloz elyaf yapının, ses iletim kaybı değeri ile Perlit No:12 katkılı numunelerin ses iletim kaybı değerleri karşılaştırılacak olursa yaklaşık %25'lik bir iyileşme söz konusudur.

Mikronize perlit değerleri ile bu yer değişmişlik, katkı mineralinin tane boyutuna bağlıdır. Dağılmış mikronize gözenekli yapıların, iri taneli ve seyrek gözenekli yapılara oranla ses iletimi açısından daha zayıf oldukları bilinmektedir. Bu yapıdaki ölçüm değerleri bunu teyid etmektedir. Ancak katkı miktarındaki artışa bağlı olarak fiziksel yapının bozulması ile, ses yutum değerlerinin de kötüleşmesi burada da geçerlidir.

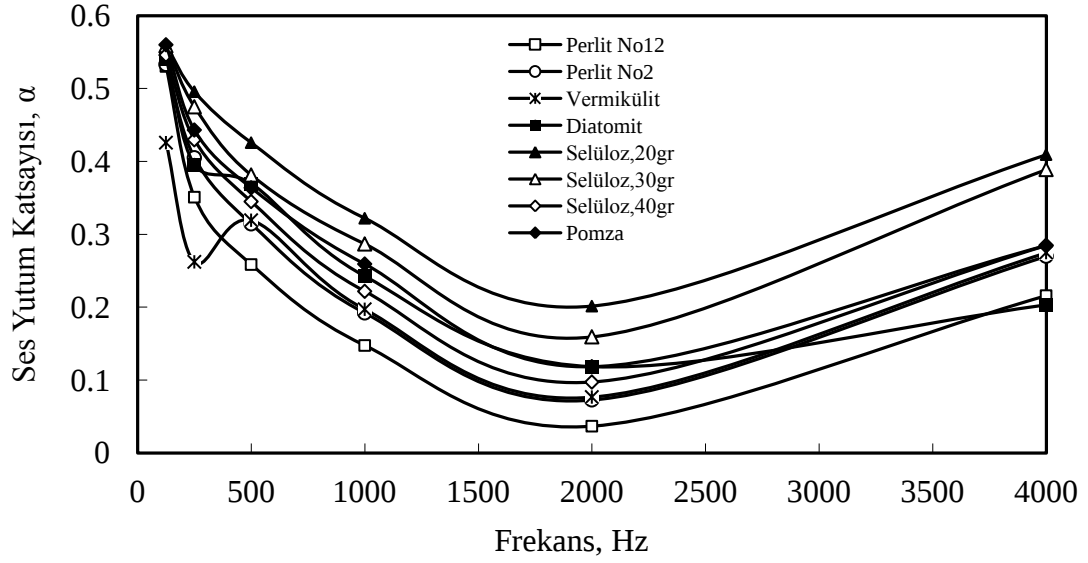


Şekil 5.35 : Perlit No:12 katkısının miktar olarak değişiminin ses iletim değerlerine etkisi.

Selüloz elyafına katkı olarak vermikülit kullanılan numunelerden elde edilen ses iletim ölçüm sonuçları (Çizelge A.86-A.91)'de, mikronize pomza tozunun kullanıldığı numunelerin ses iletimi ölçüm sonuçları (Çizelge A.92-A.95)'de ve mikronize diatomitin kullanıldığı numunelerden elde edilen ses iletim ölçümü sonuçları da (Çizelge A.96- A.102)'de verilmiştir. Tüm katkı minerallerinin en iyi sonuç veren miktarlardaki ölçüm sonuçlarını karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.24'de, eğrileri grafik olarak Şekil 5.36'de verilmiştir.

Çizelge 5.24 : Farklı mineral katkılı ve farklı miktarlardaki selüloz elyafının hesaplanan ses yutum katsayıları (Çizelge A.71-A.102).

Frekans Hz	Hesaplanan Ses Yutum Katsayısı							
	Perlit 12	Perlit 2	Vermikülit	Diatomit	Selüloz20	Selüloz30	Selüloz40	Pomza
125	0.5302	0.5330	0.4256	0.5409	0.5458	0.5586	0.5596	0.5600
250	0.3508	0.4049	0.2621	0.3955	0.4296	0.4749	0.4956	0.4430
500	0.2584	0.3143	0.3192	0.3695	0.3448	0.3813	0.4256	0.3637
1000	0.1474	0.1921	0.1970	0.2424	0.2217	0.2867	0.3219	0.2591
2000	0.0367	0.0727	0.0766	0.1183	0.0972	0.1593	0.2013	0.1183
4000	0.2158	0.2699	0.2748	0.2031	0.2846	0.3888	0.4092	0.2847
NRC	0.1983	0.2460	0.2137	0.2814	0.2733	0.3255	0.3611	0.2961
TL dB	8.27	6.87	7.24	5.94	6.24	5.20	4.66	5.76



Şekil 5.36 : Selüloz elyafı ve mineral katkılı selüloz elyafının frekansa bağlı ses yutum katsayılarındaki değişim eğrileri (Çizelge 5.24).

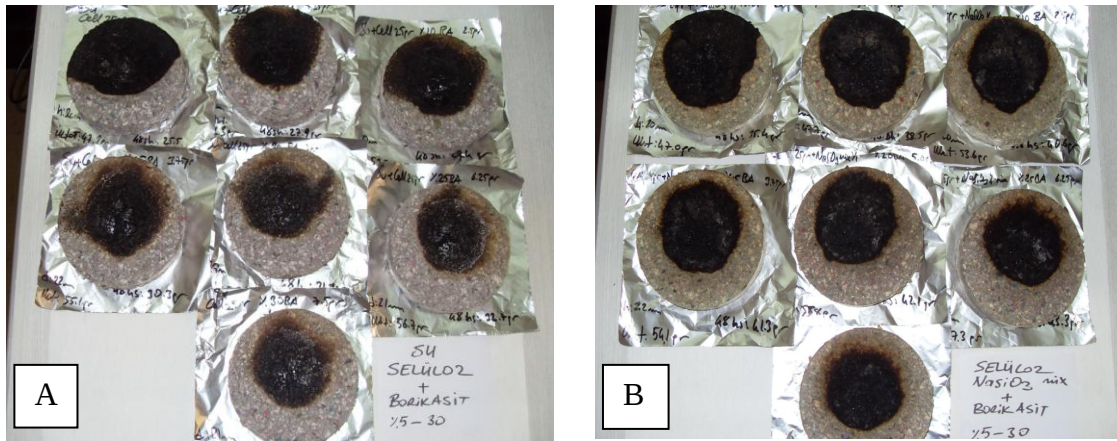
Mineraller selüloz elyafının ses yutum katsayıları üzerinde olumlu etki yapmıştır. Frekansa bağlı ölçüm ölçüm grafiği bütün minerallerde bu iyileştirmenin sağlandığını göstermektedir. En belirgin iyileştirme, Perlit No:12 tarafından sağlanmıştır. Daha ince taneli olan Perlit No:2'nin etkisi daha azdır. İri taneli perlit ve özellikle vermikülit sıkıştırma sonucu yapıyla daha uyumlu davranış sergileyerek, yapıda daha etkin kapalı gözenekler oluşturmuştur. Etkin gözeneklilik artmıştır.

Kapalı gözenekli hücreye sahip malzemeler, genelde iyi bir ses yalıtımı yapamazlar ama, akustik verim olarak iyidirler. Orta ve yüksek frekans aralığında, mükemmel ses yutum özelliği gösterirler. Bu minerallerin katkısı ürüne bu özelliği kazandırmaktadır. Doğal gözenekli veya gözenekli yapıyı oluşturan taneli ve lifli malzemelerin sıkışma ve katılaşma sonucu gözenekliliğinde önemli değişimler olur. Basınç altında, gözenekli malzemeler gözeneklilik değişikliği gösterir. Bunun nedeni, tanelerin veya matris elemanlarının ezilip şekil değiştirmeleridir. Gözenek boşluklarının bağlayıcı maddelerle dolması da malzemenin gözenekliliğinde azalmaya neden olmaktadır. Mineral katkılı, sıkıştırılmış selülozik elyaf yapı da, benzer davranış sergilemektedir. Bu nedenle, elde edilen ölçüm sonuçları arasında büyük fark görülmemektedir. Yapıya, genel olarak selülozik elyafın fiziksel özellikleri hakimdir.

5.4 Yanma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirmesi

5.4.1 Borik asitin yanma değerlerine etkisi

Deneylerde, 7'şer örnekten (Şekil 5.37) oluşan kontrol ve test örnekleri, gruplar halinde yakılmış, yanma parametreleri (yanma derinliği, yanma çapı, kütle kaybı). Yan, üst ve arka yüzeyde, ısı değişimi ile yanma aşamaları 30'ar saniye arayla ölçülmüştür. Alev kaynaklı yanma (AKY), kendi kendine yanma (KKY) ve kor halinde yanma (KHY) olmak üzere üç yanma aşaması gözlenmiştir.

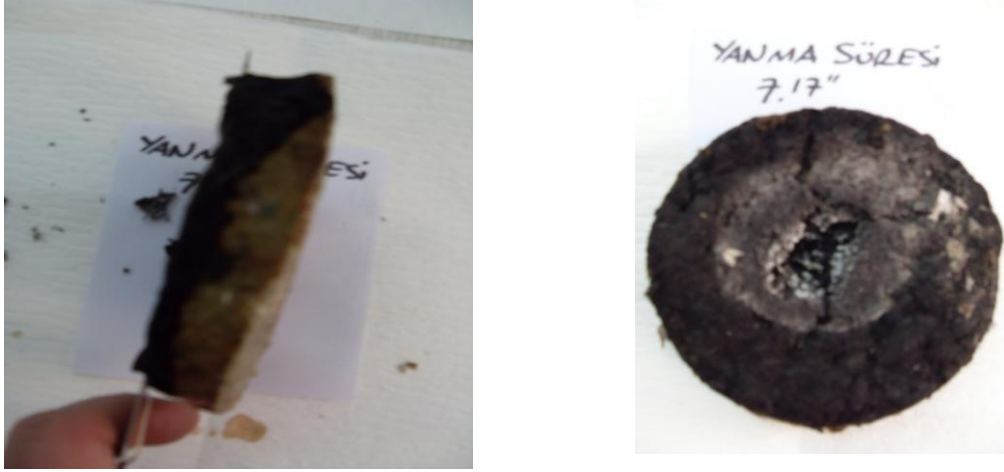


Şekil 5.37 : Bağlayıcı olarak sadece su kullanılan (A) ve bağlayıcı olarak Na_2SiO_3 kullanılan (B) %5 - 30 oranında borik asit katkılı selülozik elyaf numunelerinin, 5'er dakikalık yanma testi sonrası görünümleri.

Yanma sırasında, enfraruj ısı ölçerle ölçülen alev kaynaklı, kendi kendine yanma ve kor hali yanma aşaması sıcaklık değerleri, sade su ile muamele edilen selüloz elyafı deney örneklerinde, alev kaynaklı yanma aşamasında $624\text{ }^{\circ}\text{C}$, kor hali yanma aşamasında $788\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve kendi kendine yanma aşamasında $279\text{ }^{\circ}\text{C}$; Na_2SiO_3 ile muamele edilen örneklerde ise; alev kaynaklı yanma aşamasında $581\text{ }^{\circ}\text{C}$, kor hali yanma aşamasında $725\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve kendi kendine yanma aşamasında $248\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile en yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler literatür [257][262] değerleri ile uygunluk göstermektedir.

Borik asit, yanmazlık etkisini yanmayı, CO , CO_2 oluşumundan ziyade karbon yönünde çevirerek gösterir. Borik asit bozunurken, ortama su verir buda yanma alanını soğutur ve kömürleşme miktarını artırır. Bu kömürleşme sayesinde yanma yüzeyi kaplanarak alev ile yanma yüzeyi arasında iyi bir yalıtım tabakası oluşur.

Borik asit, yanma sırasında açığa çıkan duman miktarını da azaltır. Borik asit katkılı sıkıştırılmış bir selüloz malzemesinde de, yanma sonrasında geriye kömür kalmaktadır (Şekil 5.38). Selüloz kömürünün termik izolasyon özelliği iyi olduğundan, selüloz peletinin iç kısımlarına ısı geçiş hızı, kömürleşme kalınlığı arttıkça azalmaktadır.



Şekil 5.38 : Selüloz + Na_2SiO_3 + % 5 BA içerikli sıkıştırılmış elyaf numunenin yakma ve KKY süresi sonrasındaki görünümü (m: 24.3gr, Ø: 10cm, d: 2cm, KK: %29, YD: 2.0cm, YÇ: 2.2/5.0 cm).

Böylece, iç kısma geçen ısı, yanıcı gazların çıkması için yeterli olmamakta ve bu şartlar altında alev yavaşlayıp sönmektedir. Dışarıdan herhangi bir ısı kaynağı takviyesi olmadıkça, yanan kısım yavaşça soğumaktadır. Yanan malzemenin bu kendi kendini söndürme özelliği malzemeye, yanma geciktirme ve yangına karşı koruyucu bir özellik katmaktadır. Ancak, sıcaklık $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşır ve aşarsa, kömürleşen kısım da yanarak geriye kül kalmaktadır.

Yanma sırasında belirlenen bir diğer özellik de deney örneklerinin kütle kaybının tespitidir. Çalışmada, borik asit bilinen yanmayı engelleyici özelliğini burada da göstermiş olup, borik asit ile muamele edilen deney örneklerinde borik asit içeriğine bağlı olarak, yanma aşamalarında tam yanma gözlemlenmezken, kendi kendine yanma aşamasında kısmi yanma gözlemlenmiştir. Şekil 5.38'de % 5 BA içerikli numunenin tam yanma sonrası görünümü verilmektedir. Deneyde selülozik plakanın tam yanma süresi 7 dakika 17 saniye olarak ölçülmüştür.

Önce Na_2SiO_3 karışımı ile muamele edilip, arkasından borik asit eklenen deney örnekleri, kendi kendine yanma aşamasında, kısmi bir yanma göstermekle birlikte tümüyle yanma süreleri önemli derecede uzatılmıştır. Ölçülen değer literatür [18-22]

değeri ile uygundur ve borik asitin, sıkıştırılmış selülozik elyaf yapıda yanma geciktiricilik etkisinin varlığını göstermektedir.

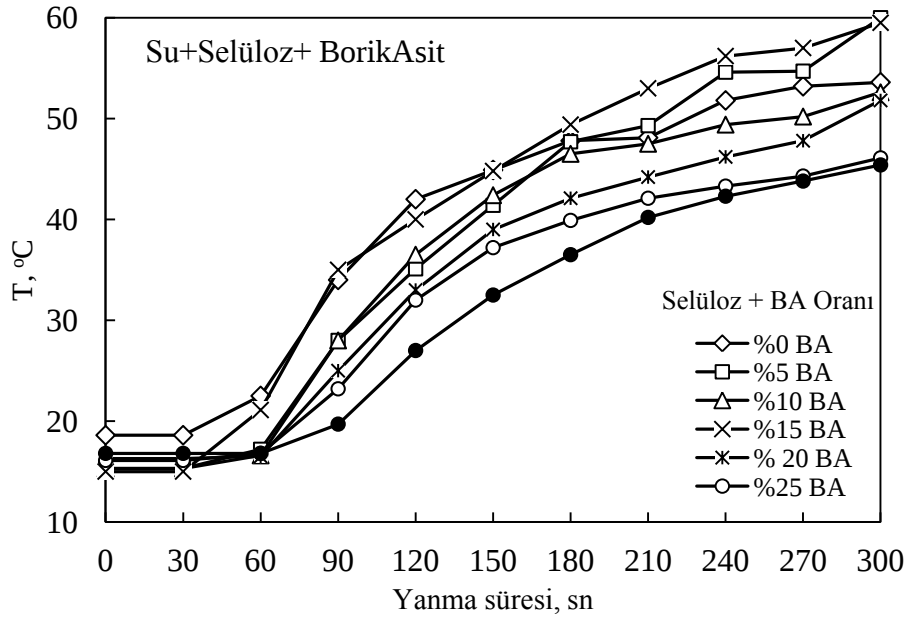
Çizelge 5.25'de, bağlayıcı olarak, ağırlıkça 1/1 oranında suyun kullanıldığı, farklı oranlarda borik asit içerikli, sıkıştırılmış selülozik elyaf numunelerini yanma deneyi sonuçları toplu halde verilmiştir. Testlerde, ağırlık kaybı bakımından, % 33.86'lık ağırlık kaybı oluşan borik asit içermeyen numuneye oranla, % 30 borik asit içerikli numunede, 4.5 kat bir iyileşme sağlanarak % 7.39 oranında kütle kaybı elde edilmiştir.

Çizelge 5.25 : Selüloz (20 gr) + Su 1/1 mix. bağlayıcılı numunenin borik asit içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm, hata: ± 0.5).

	Borik Asit İçeriği, %						
	%0 BA	%5 BA	%10 BA	%15 BA	%20 BA	%25 BA	%30 BA
Yanma Süresi, sn	Arka yüzey ısısı T °C						
0	18.6	15.3	15.3	15.0	16.3	16.1	16.8
30	18.6	15.3	15.3	15.0	16.3	16.1	16.8
60	22.5	17.2	16.6	21.1	16.5	16.8	16.8
90	34.0	28.0	28.0	35.0	25.0	23.2	19.7
120	42.0	35.1	36.5	40.0	33.0	32.0	27.0
150	44.9	41.4	42.4	44.8	39.0	37.2	32.5
180	47.8	47.7	46.5	49.4	42.1	39.9	36.5
210	48.1	49.3	47.5	53.0	44.2	42.1	40.2
240	51.8	54.6	49.4	56.2	46.2	43.3	42.3
270	53.2	54.7	50.2	57.0	47.8	44.3	43.8
300	53.6	60.0	52.6	59.5	51.8	46.1	45.4
İlk Ağırlık , gr	25.3	27.0	27.9	29.2	30.3	31.4	33.4
Kalınlık, cm	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1
Yanma Derinliği, cm	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8
Yanma Çapı, cm	7.2	7.0	6.0	5.3	4.5	4.0	3.3
Son Ağırlık, gr	18.8	22.2	24.2	26.0	28.2	29.1	31.2
Kütle Kaybı, %	33.86	22.17	15.28	11.45	8.21	7.90	7.39

Şekil 5.39 incelendiğinde, 5 nci dakikada ölçülen ısı değerlerinin 45 - 60 °C arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Isı değişimi dar bir koridorda da olsa, sıkıştırılmış selülozik elyafın arka yüzeyinde yanma süresince, borik asit içeriğindeki artışa bağlı olarak, yapılan ısı ölçüm değerlerinde düşüş görülmektedir.

En iyi verim %25 ve %30 borik içerikli numunelerden alınmıştır. Borik asidin yapıdaki olumlu etkisini, yanma derinliği ve yanma çapındaki değişim daha net göstermektedir.



Şekil 5.39 : Bağlayıcı olarak su kullanılan sıkıştırılmış selülozik elyafın, borik asit içeriğine bağlı, yanma süresince arka yüzeyindeki ısı değişimi (Ø: 10cm, d: 2cm, T_{yakma} : 800 °C)

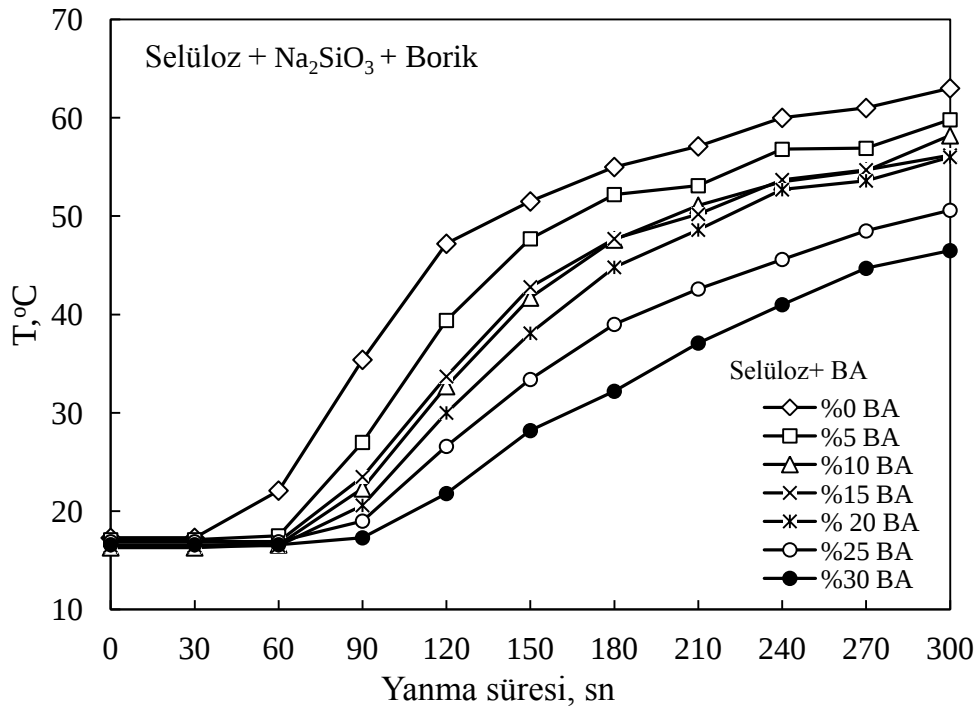
Yanma derinliğinde borik asit içermeyen numuneye oranla % 30 borik asit içeren numune arasında %56'lık bir iyileşme vardır. Benzer şekilde yanma çapı büyüklüğündeki iyileşme de % 120 oranında gerçekleşmiştir. Yanma çapı ve derinliğindeki bu azalma, yanma sırasında yanma yüzeyinde kömür tabakasının oluşumu ile ilgilidir. Oluşan kömür tabakasının, yüzeydeki ısıyı iç kısma taşımayarak yanmaya engel olması kütle kaybının azalmasında da en büyük etkindir.

Çizelge 5.26'da verilen değerler, sıkıştırılmış selüloz elyafında bağlayıcı olarak ağırlıkça 1/1 oranında seyreltilmiş Na_2SiO_3 kullanılan numunelerden elde edilmiştir. Bu deney setinde de numunelere, ağırlıkça % 0-30 oranında borik asit ilavesi yapılmıştır.

Çizelge değerleri, özellikle kütle kaybı oranları olarak karşılaştırılırsa, iyileşme oranının 5.4 kat olduğu görülür. Benzer şekilde iyileşme oranlarındaki artış yanma çapı ve derinlik miktarlarında da görülmektedir. Yanma çapındaki iyileşme oranı % 60 olurken, yanma derinliğindeki iyileştirme oranı da % 125 olarak gerçekleşmiştir. Bu oranların, bağlayıcı olarak suyun kullanıldığı numunelerde elde edilen değerlerden büyük çıkması, yapıya bağlayıcı olarak eklenen Na_2SiO_3 'den kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.26 : Selüloz (20 gr) + Na₂SiO₃ 1/1 mix. numunenin borik asit içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata:± 0.5).

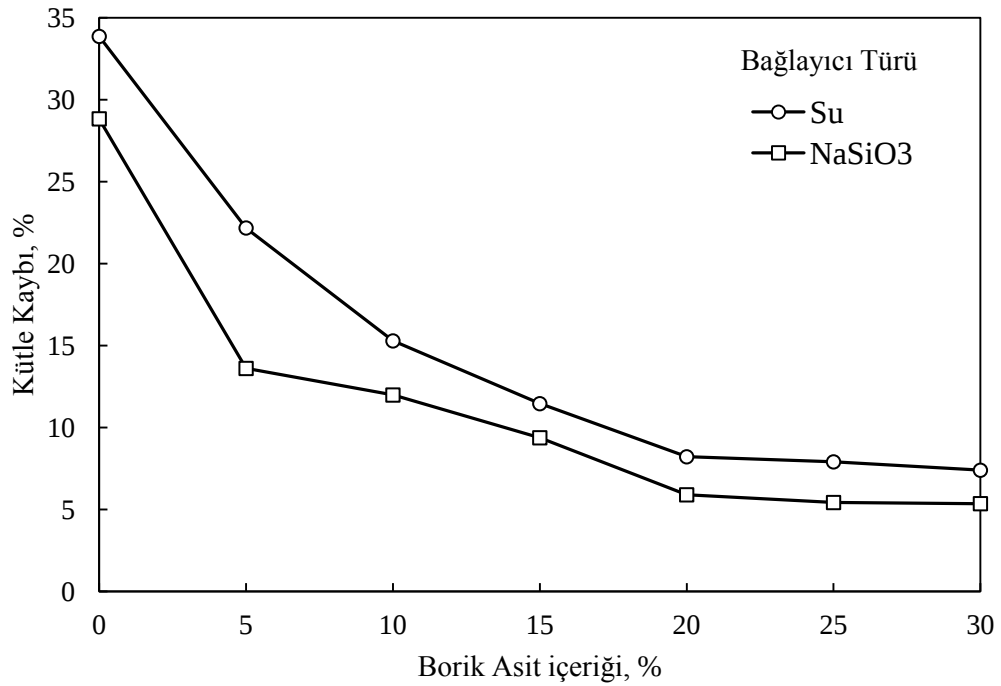
Yanma Süresi, sn	Borik Asit İçeriği, %						
	%0 BA	%5 BA	%10 BA	%15 BA	%20 BA	%25 BA	%30 BA
Arka yüzey ısısı, T °C							
0	17.30	17.10	16.30	16.40	16.50	16.90	16.60
30	17.30	17.10	16.30	16.40	16.50	16.90	16.60
60	22.10	17.50	16.60	16.90	16.50	16.90	16.60
90	35.40	27.00	22.30	23.50	20.60	19.00	17.30
120	47.20	39.40	32.70	33.70	30.00	26.60	21.80
150	51.50	47.70	41.70	42.80	38.10	33.40	28.20
180	55.00	52.20	47.60	47.70	44.80	39.00	32.20
210	57.10	53.10	51.10	50.20	48.60	42.60	37.10
240	60.00	56.80	53.50	53.70	52.70	45.60	41.00
270	61.00	56.90	54.60	54.70	53.60	48.50	44.70
300	63.00	59.80	58.20	56.20	56.00	50.60	46.50
İlk Tartım, gr	34.4	35.9	38.3	38.5	39.5	40.8	41.3
Kalınlık, cm	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0
Yanma Derinliği, cm	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
Yanma Çapı, cm	6.0	4.5	3.9	3.7	3.5	3.0	2.7
Son Ağırlık, gr	26.6	31.6	34.2	35.2	37.2	38.8	39.6
Kütle Kaybı, %	28.83	13.60	11.98	9.37	5.89	5.42	5.35



Şekil 5.40 : Bağlayıcı olarak Na₂SiO₃ kullanıldığında BA içeriğine bağlı arka yüzdeki ısı değişimi (Ø: 10cm, d: 2cm, T_{yakma} : 800 °C).

Şekil 5.40 incelendiğinde ise yanma sırasında numunenin arka yüzeyinde yapılan ısı ölçümlerinde bir önceki test ile benzer davranış sergilendiği görülmektedir. Isı değişimi yine dar bir koridorda gerçekleşmiş, 5nci dakikadaki ısı ölçüm farkı 45-60°C arasında olmuştur. Arka yüzeyde ölçülen bu ısısal davranış selüloz elyafının yapısal karakteristiğidir. Yanma özelliklerinde, belirleyici bir rol oynayan katkı maddesi olarak eklenen borik asitin, ısı iletiminde bir etkisinin olduğu söylenemez.

Her iki deney grubu örneklerinde, ölçülen sıcaklık değerleri, borik asitin yanma sırasında tutuşmayı yavaşlatarak, yüksek sıcaklık değerlerinin ölçülmesine engel olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, bağlayıcı olarak Na_2SiO_3 ' in kullanıldığı numunelerde daha düşük yanma çapı, yanma derinliği ve Şekil 5.41'de görülen kütle kaybı değerleri elde edilmesi, Na_2SiO_3 'in de yanma sırasında tutuşmayı yavaşlatarak sıcaklık yükselmesine engel olduğu ve yanma geciktirmede rol aldığı yorumunu yapmamıza neden olmaktadır.



Şekil 5.41 : Bağlayıcı türünün borik asit içeriğine bağlı, yanma süresi sonunda kütle kaybı oranına etkisi (t_{yanma} : 5dk, d: 2cm, Ø: 10cm, T_{yakma} : 800 °C).

5.4.2 Mineral katkısının yanma değerlerine etkisi

Borik asit içeriği %25 sabit alınmış mineral katkılı numuneler ile yapılan testlerde, vermikülit içerikli numunelerden, Perlit No:2 içerikli numunelerden ve perlit No.12 içerikli numunelerden elde edilen sonuçlar, mineral katkısının ısı iletim koridorunu

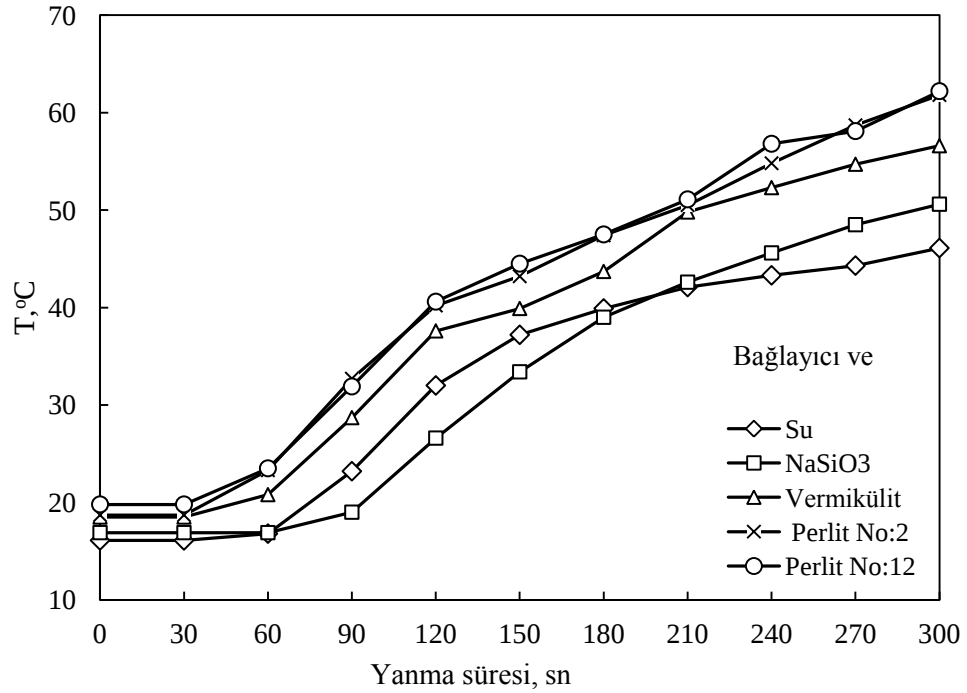
daralttığı ancak 5 nci dakikada numunenin arka yüzeyinde ölçülen ısı değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Mineral katkısız numunelerde 45-60 °C olan bu ısı koridoru, mineral katkılı numunelerde 55-70 °C olarak gerçekleşmiştir. Bu bize mineral katkının, yapıyı bozduğunu, hem kendi bünyesinde depo hava ile hem de lifler arasında hava kanalı oluşturarak yanmayı ve ısı iletimini artırdığını göstermektedir. Yanma çapı, yanma derinliği ve kütle kaybı gibi diğer yanma verilerindeki etkisiz iyileştirme ve beklemediğimiz kötüleşme değerleri de bunu desteklemektedir. En iyi sonucun alındığı mineral katkılı numuneler ile mineral katkısız numunelerin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 5.27'de. grafiği ise Şekil 5.42'de verilmiştir.

Çizelge 5.27 : Su+Selüloz (20 gr) . Selüloz+ Na₂SiO₃ 1/1 mix ve sabit %25 Borik asit katkılı selülozik elyafın. arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø:10cm , hata: ± 0.5)

Yanma Süresi, sn	Mineral İçeriği, gr				
	Su+Selüloz	Na ₂ SiO ₃ +Selüloz	Vermikülit, 7gr	Perlit2, 6gr	Perlit12, 7gr
Arka Yüzey Isısı, T°C					
0	16.1	16.90	13.50	18.70	17.10
30	16.1	16.90	13.50	18.70	17.10
60	16.8	16.90	13.50	23.30	21.00
90	23.2	19.00	17.30	32.70	30.70
120	32.0	26.60	24.40	40.20	38.00
150	37.2	33.40	29.20	43.20	44.00
180	39.9	39.00	32.00	47.40	48.50
210	42.1	42.60	35.40	50.50	51.70
240	43.3	45.60	38.00	54.80	52.90
270	44.3	48.50	40.70	58.70	59.00
300	46.1	50.60	42.10	61.80	56.00
İlk Tartım, gr	31.4	40.8	27.1	23.9	30.4
Kalınlık, cm	2.1	2.0	2.1	2.0	2.0
Yanma Derinliği, cm	0.9	0.8	0.8	1.5	0.5
Yanma Çapı, cm	4.0	3.0	3.8	3.0	2.5
Son Ağırlık, gr	29.1	38.8	23.4	19.6	24.9
Kütle Kaybı, %	7.90	5.42	16.90	22.17	22.03

Çizelge 5.27'deki veriler incelendiğinde, yanma çapı, yanma derinliği ve ısı iletim trendlerinde yakınlık ve paralellik vardır. Bu değerlerde baskın etken, selülozik elyafın kendisi ile birlikte borik asit katkısı ve Na₂SiO₃'in varlığıdır. Mineral katkısı yapıda kendisini daha çok kütle kaybı değerleri ile öne çıkarmaktadır ve selülozik yapı üzerinde olumlu etki yapmadığı da ölçümlerde elde edilen değerlerden

anlaşılmaktadır. Şekil 5.42' de mineral katkıların, yanma süresince, yapı üzerindeki ısı iletime kötü etkisi daha net görülmektedir.



Şekil 5.42 : Su+Selüloz+BA, Selüloz+Na₂SiO₃+BA, Selüloz + Na₂SiO₃+BA+Mineral karışımli numunelerde; bağlayıcı ve mineral içeriğine bağlı numunenin arka yüzündeki ısı değişimi (t_{yanma} : 5dk, d: 2cm, Ø: 10cm, T_{yakma} : 800° C).

5.4.3 LOI sonuçlarının değerlendirilmesi

LOI testleri, aynı özellikte hazırlanmış ikişer numune ile tekrarlanarak yapılmış ve ortalamaları sonuç olarak kabul edilmiştir. Test sonuçları toplu olarak Çizelge 5.28'de verilmiştir. Testlerde, numunelerin 35–60 sn'de alev aldığı, tamamen yanarak kül olma sürelerinin ise, 4.5–7.3 dakikada tamamlandığı gözlenmiştir. Bu sonuç, yanma deneylerinde, tam yanma için geçen süre olan 7.17 dakika ile uygunluk göstermektedir. Bu durum malzeme, içindeki katkı minerali ve borik asit miktarı ile ilişkilendirilebilir. Borik asit içeriği fazla olan numunelerin, geç alevlendiği ve tamamen yanmadığı (yıkılmadığı) tespit edilmiştir. Ölçülen LOI değerlerindeki değişim verimi, iki türlü değerlendirilebilir. Birincisi, malzemenin kendi yapısı içindeki değişim oranı, ikinci olarak da, selüloz elyafının normalde % 18.4 [303,304] olan LOI değerinin ölçülen değerlere göre değişim oranı. Buna göre;

Su+Selüloz içerikli yapı kendi içinde BA içeriğine bağlı olarak %50'lik bir iyileşme sağlarken, selülozun belirtilen %18.4'lük LOI değerinde %100 oranında bir iyileşme sağlamıştır. Benzer şekilde bu değerler, Na₂SiO₃ içeren numuneler için; %30 ve %120, Vermikülit mineral katkılı numuneler için; %9.5 ve %130, PerlitNo:2 mineral katkılı numuneler için; %15 ve %160, Perlit No:12 mineral katkılı numuneler için ise; %2.5 ve %100 olarak gerçekleşmiştir.

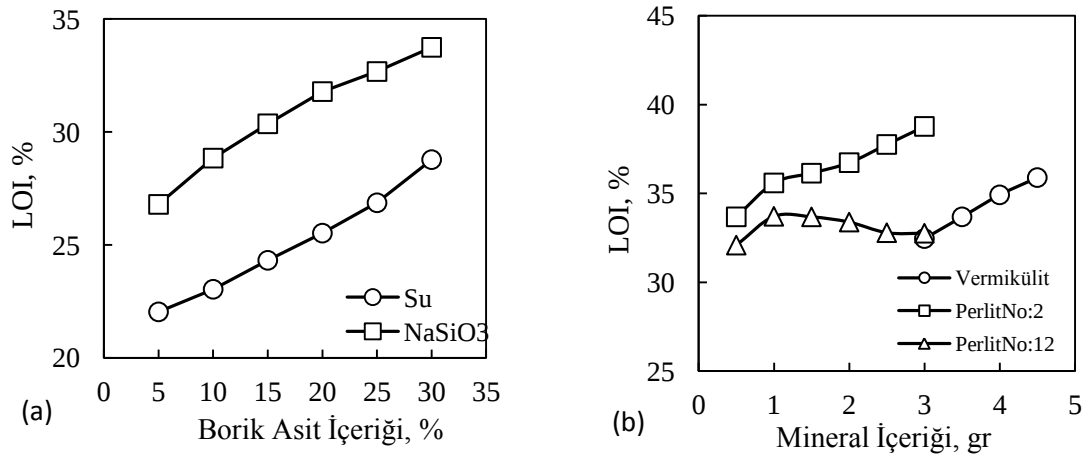
Çizelge 5.28 : LOI Deneyi sonuçları

İçerik	Özellik	gr	kg/m ³	Aletsel ölçülen değer		LOI _{ort}	O _{ort}	Değişim
				1.LOI %	2.LOI %			
Su + SELÜLOZ	Boş	13.10	163.75	20.70	21.70	21.20	22.04	
	%5 BA	13.50	168.75	22.20	22.70	22.45	23.04	
	%10 BA	14.30	178.75	23.40	24.80	24.10	24.32	
	%15 BA	15.30	180.00	25.10	26.30	25.70	25.52	
	%20 BA	15.50	182.35	26.40	28.70	27.55	26.86	
	%25 BA	16.20	190.59	29.40	31.20	30.30	28.77	
	%30 BA	16.70	196.47	36.40	38.10	37.25	33.18	50
Na ₂ SiO ₃	Boş	16.20	202.50	27.60	27.30	27.45	26.79	
	%5 BA	18.10	226.25	29.70	31.10	30.40	28.84	
	%10 BA	18.60	232.50	32.30	33.10	32.70	30.36	
	%15 BA	19.00	237.50	34.80	35.10	34.95	31.79	
	%20 BA	19.30	241.25	36.60	36.20	36.40	32.68	
	%25 BA	19.80	247.50	38.80	37.60	38.20	33.75	
	%30 BA	20.80	260.00	39.10	39.90	39.50	34.50	30
VERMİKÜLİT	3 gr	19.60	206.32	35.90	36.20	36.05	32.46	
	3.5 gr	20.30	213.68	37.60	38.60	38.10	33.69	
	4 gr	22.10	232.63	40.60	39.90	40.25	34.92	
	4.5 gr	22.90	241.05	42.20	41.80	42.00	35.90	9.5
PERLİT No2	0.5 gr	16.70	196.47	37.90	38.30	38.10	33.69	
	1 gr	18.50	217.65	41.20	41.70	41.45	35.59	
	1.5 gr	19.10	224.71	42.40	42.50	42.45	36.14	
	2 gr	19.90	234.12	43.30	43.80	43.55	36.74	
	2.5 gr	20.60	206.00	45.70	45.30	45.50	37.76	
	3 gr	21.40	214.00	47.10	47.90	47.50	38.78	15
PERLİT No12	0.5 gr	16.40	192.94	35.60	35.30	35.45	32.10	
	1 gr	17.50	205.88	37.80	38.50	38.15	33.72	
	1.5 gr	18.30	215.29	38.30	37.90	38.10	33.69	
	2 gr	19.10	191.00	37.20	38.00	37.60	33.39	
	2.5 gr	19.80	198.00	36.80	36.40	36.60	32.80	
	3 gr	20.80	208.00	36.40	36.70	36.55	32.77	2.5

Mineral katkı, kendi içinde katkı miktarına bağlı olarak düşük, fakat genel olarak selülozik yapıda daha yüksek iyileştirme gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarına göre borik asitin sıkıştırılmış selülozik elyaf yapı üzerinde olumlu manada etken olduğu tespit edilmiş, yanma geciktirme etkisi açıkça görülmüştür. Borik asit içermeyen

numunelerin LOI testinde ortalama % O₂ konsantrasyonu sadece selüloz elyafı için % 21.20, Na₂SiO₃ bağlayıcılı numunede ise % 27.45 olarak tespit edilmiştir.

Borik asit içermeyen, bu iki örnekten elde edilen sonuçlardaki fark, Na₂SiO₃ varlığından kaynaklanmaktadır. Yaptığımız yanma testlerinde de Na₂SiO₃'li numunelerin, sadece su ile hazırlanan örneklerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Hazırlanan numunelerden elde edilen toplu sonuçlar incelendiğinde, en iyi değer % 47.5 ile %25 BA ve 3 gr Perlit No:2 katkılı numuneye ait olduğunu görülecektir. Mineral katkının yapı üzerindeki iyileştirmesini, Na₂SiO₃ bağlayıcılı %25 borik asit içerikli selüloz elyafın, vermikülit ve Perlit No:2 katkılı olan numunelerinde görmekteyiz. %25 borik asit içerikli Na₂SiO₃ bağlayıcılı numunelerde elde edilen LOI değeri %38.2 dir. Bu değer, mineral katkılı selülozik elyafta, 4.5 gr vermikülit içeren numunede % 10 artış göstererek % 42.3 olmuş, 3 gr Perlit No:2 içeren numunede %25 artış göstererek % 47.5'a yükselmiştir.



Şekil 5.43 : (a) (Selüloz+ Na₂SiO₃+BA ve Selüloz+Su+BA) sistemlerinde, Borik asit içeriğine bağlı LOI değişimi, (b) (Selüloz+ Na₂SiO₃+BA+Mineral) sisteminde, Mineral içeriğine bağlı LOI değişimi (t_{yanma}: 5dk, d: 2cm, Ø: 10cm, T_{yakma}: 800 °C).

Borik asitin, malzeme üzerindeki yanma geciktiricilik özelliği, % 50'lik değişim değeri ile en fazla su bağlayıcılı selüloz elyafında elde edilmiştir (Şekil 5.43a). Na₂SiO₃ bağlayıcılı numunelerde ve mineral içerikli numunelerde (Şekil 5.43b) daha yüksek LOI değeri elde edilmesine rağmen değişim oranları yüksek değildir. Bunda, yapıya dahil edilen bağlayıcı ve minerallerin yapıyı daha kararlı hale getirmesinin etkisi olduğunu söyleyebiliriz. Grafiklerde, su ve Na₂SiO₃ içerikli numunelerde BA

içeriğinin LOI etkisi, mineral içerikli numunelerde ise BA katkı miktarı sabit olduğundan, mineral içeriğinin LOI etkisi görülmektedir. İri boyuttaki perlitin iyileştirme oranının düşük olması yapıyı gevşeterek hava sirkülasyonuna olanak sağlamasındandır. Vermikülit de iri boyutta olmasına rağmen kolay ezilebilme yeteneğinden dolayı yapı ile daha iyi uyum sağlamaktadır. Vermikülitin ve Perlit No:2' nin LOI değerindeki iyileştirmesi, doğrusaldır. Vermikülitin bünyeye 4.5 gr'dan daha fazla katılması, yapının mekanik dayanımını azalttığı için mümkün olmamaktadır. İnce boyuttaki perlit en iyi sonucu vermiştir. Perlit No:2 sıkıştırılmış selülozik yapı ile en uyumlu mineraldir ancak, yapı içindeki miktar artışı yapının diğer özelliklerini etkilediğinden belli bir sınırdan kalmak zorundadır.

6. SONUÇLAR

Amacı, atık kağıt elyafından bor ve mineral katkılı levha üretmek olan bu çalışma, genel anlamda değerlendirildiğinde yeni bir ürün ortaya çıkarma çalışmasından çok var olan bir ürünü geliştirmeye yöneliktir. Çalışmada, selülozik elyaf sıkıştırılmak suretiyle form verilirken hacmi daraltılmış, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri değiştirilmiştir. Bu yapısal değişimler, malzemenin bilinen, termal, ses yalıtımı ve yanma geciktiricilik özellikleriyle uyumlu ve olumlu sonuçlar vermiştir. Elde edilen değerlerde, mevcut uygulanan selülozik elyaf yalıtımı verilerine oranla iyileşme olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar birkaç başlık altında incelenecek olursa bu yaklaşım daha net görülecektir.

1. Kimyasal yapıda, yangın geciktirici, böcek, mantar, küf önleyici kimyasalların kullanımında ve miktarlarında optimum katkı miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu özellik, mevcut durumda her üretici firma için farklılık göstermektedir. Endüstriyel uygulama aşamasında, bu ürün için de uygun reçete netleşecek ve patent korumasına alınacaktır. Selülozik elyaf levhanın, yapısal karışımındaki iyileştirme adına en belirgin farklılık, bileşimine katılan minerallerdir. Bu mineraller, kendi yapılarının olumlu özellikleri ile yapıya ısı, ses ve yangın yalıtımında olumlu anlamda katkı sağlamaktadırlar.

2. Mekanik yapı olarak, selülozik yalıtım malzemesinin daha verimli kullanımına olanak sağlayacak bir form sağlanmıştır. Mevcut halde, binanın belli bölümlerinde belli şartlarda uygulanabilen selülozik yalıtım, yeni mineral katkılı bileşimi ve sıkıştırılmış levha formu ile uygulama alanını daha da genişletecektir.

Ses yalıtımı için gerekli homojen, gözenekli, kompakt yapı formu sıkıştırılmış atık kağıt elyafı ile yakalanmaya çalışılmış fakat lif ve tabakalanma yapısının özelliği nedeni ile istenilen düzeye ulaşılamamıştır. Yapıdaki tabakalar arası hava boşluklarının açık kanallar halinde olması bunda en büyük etkidir. Mineral eklemek sureti ile elyaf yapının ses ve akustik özellikleri iyileştirilmiştir. Bunda, minerallerin mikro düzeydeki kapalı gözenekli yapısı etkin olmuştur. Gözenekli malzemeler

genelde, gürültü kontrolü ve akustik düzenleme uygulamalarında kullanılırlar. Numunelerden elde edilen, ses iletim değer eğrileri, bize malzemenin ses yalıtımına, akustik düzenlemeye uygun olduğunu göstermiştir. İri boyutlu mineral katkılarının, sıkıştırılmış selülozik levhanın akustik özelliğini olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir. Sıkıştırılmış selülozik levha, bu hali ile tiyatro, sinema, müzikhol, konser ve opera salonları, yayın ve kayıt stüdyolarının akustik ses düzenlemesinde etkin olabilecek özelliktedir.

3. Fiziksel yapı; gevşek dolgu (Loose-fill) veya ıslak püskürtme (wet-sprey) uygulamalarından farklı olarak sıkıştırılmış levha şeklindedir. Atık kağıt elyafının, form vermede dominant olduğu görülmüştür. Yapıda hacimsel, uygulamada, zamandan kazanç sağlanmıştır. Yalıtım uygulamalarında, farklı kaplama malzemeleri ile birlikte kullanılabilecek stabil formdadır. Uygulama anında ve sonrasında sıkıştırılmış yapısından dolayı ortam havasına selüloz ve katkı kimyasalları uçucu partiküller olarak karışmayacak, servis ömrü süresince de aynı özelliğini koruyacaktır. Sıkıştırılmış yapısı, katkı kimyasallarının etkinliğini daha uzun süre korumasına imkan tanıyacaktır.

Uygulamaya yönelik bu üç temel konudaki özellikleri insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirecek olursak; geliştirilen bu sıkıştırılmış selülozik yalıtım malzemesi formu, insan sağlığı açısından en fazla araştırma ve eleştiri konusu olan selüloz elyafı ve katkı kimyasallarının tozlarının hava yolu ile canlılar üzerinde solunum ve cilt sorunlarına neden olduğu iddiasını ve bulgularını azaltacaktır. Zira çatı altı veya duvarlarda pnömatik kuru, gevşek dolgu uygulamasında selülozik malzemenin oturması / stabil (settlement) hale gelmesi 1-3 hafta sürmektedir. Yaş püskürtme uygulamasında bu süre daha kısalma ile birlikte kuruma ve düzeltme, temizlik aşamalarında benzer şekilde zaman kaybı söz konusudur. Sıkıştırılmış yeni form, uygulama sonrası kuruma veya stabilizasyon için bekleme süresi gerektirmeyecek, her iki tip uygulamadaki haklı iddiaları da üretim aşamasında ortadan kaldırarak uygulama ve kullanım süresince daha kısa ve sağlıklı bir ortam oluşturacaktır.

Özellikle 0.3 – 1 mm boyutlu mineral katkı malzemeleri ısı yalıtımında daha etkin olmuştur. 0.4-1.2 mm boyutlu mineral katkı malzemelerinin de ses yutumu değerlerinde olumlu etkisi gözlenmiştir. Mineraller, genelde selüloz ile birlikte oluşturdukları formda; belli bir miktardan sonra (ağırlıkça % 30) yapıya kendi

karakteristikleri ile hakim olmaya başlamaktadır. Bu özellik ısı iletim katsayısı ölçümlerinde daha rahat görülmüştür. Özellikle iri boyutlu Perlit ve Vermikülit katkılı numunelerin ısı iletim katsayıları ve R-Değer değerlerinde geriye dönüş bunu göstermektedir. Yapıdaki hakim unsur olarak mineraller ön plana çıkmakta, sıkıştırmanın da etkisi ile yapı içinde mineral taneleri birbirleri ile temas ederek ısı köprüleri oluşturmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 5.29'da verilmiştir.

Çizelge 5.29 : Elde edilen deneysel sonuçlar

Bileşim	Elde edilen sonuçlar								
	λ , W/mK	R- Değeri	NRC	TL, dB	kg/m ³	kN/m ²	k,mD	LOI	Kütle Kaybı,%
*Selüloz+Su	0.0459	1,96			163.75	1,36		21,20	33.86
*Selüloz+Su+BA	0.0595	2,05			176.28			30,30	7,90
*Selüloz +Na ₂ SiO ₃	0.0509	2,51			182.3			27.45	28.83
*Selüloz+BA+Na ₂ SiO ₃	0.0554	2,33	0.27	6,24	247.5	2,69	74.0	38.2	5,42
Selüloz+PerlitNo:2	0.0445	2,56	0.25	6,87	214.0	3,20	51.0	47.5	22.17
Selüloz+PerlitNo:12	0.0425	2,64	0.19	8,27	205.88	2,63		38.15	22,03
Selüloz+Vermikülit	0.0430	2,51	0.21	7,24	241.5	2,79		42.0	16,90
Selüloz+Diatomit	0.0562	2,26	0.28	5,94	245.62		47.0		
Selüloz+Pomza	0.0380	2,84	0.29	5,76	202.74	3,38			

* Katkısız selüloz elyafi kullanılmıştır

Isı yalıtımı için, yapıdaki gözeneklilik ve açık hava boşluğu miktarı önemlidir. Sıkıştırılmış yapıda, gözeneklilik ve açık hava kanalları azalmaktadır. Çalışmada, selülozik elyafa, yapı içindeki gözenek ve hava kanalları optimumda kalacak ve ısı yalıtımını gerçekleştirecek şekilde bir sıkıştırma oranı uygulanmış ve literatür değerlerine yakın sonuçlar alınmıştır. Literatürde belirtilen selülozik yalıtım ısı iletkenlik değeri 0.038 W/mK' dır ve ortalama 25 cm kalınlığında bir tabaka olarak uygulanmaktadır. Çalışma sonunda, sıkıştırılmış 2 cm kalınlığındaki selülozik levhadan elde edilen ısı iletkenlik değeri 0.038- 0.055 W/mK olarak bulunmuştur. Isı yalıtımında ince boyutlu (0.2 – 0.5 mm) mineral katkılarla daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Malzeme sıkıştırılarak, ısının yayılmasında en etkin yol olan iletim (conduction) yayılımı arttırılmaktadır. Lifler sıkıştırılarak birbirleri ile temas yüzeyleri arttırılmış ve ısının katedeceği mesafe azalmıştır. Lifler arasındaki tampon hava bölgelerinin de

azaltılması ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin farklı çıkmasının en büyük nedenidir. Ayrıca, yapıda var olan bağıl nemin ısı taşıyıcılık özelliği de bunda etkilidir. Yapıda yayılım ve ısıtım yolu ile ısı iletimi azalmıştır.

Yapı içine eklenen mineraller ile bu değer iyileştirilmiştir. Minerallerin, kapalı gözenekli yapıları nedeni ile ısı ve ses yalıtımına olumlu katkısı olmuştur. Mineral ilaveli numunelerde lifli yapı kendisi ile uyumlu form oluşturacak boyuttaki mineraller ile daha iyi ısı ve ses yalıtım değerleri vermiştir. Ses yalıtımı için; iri ve kapalı gözenekli tanelerin akustik özelliği artırıcı, ince tanelerin de ses yalıtımını iyileştirici katkıları olduğu tespit edilmiştir.

Sıkıştırılmış selülozik ve mineral katkılı selülozik yapı, içinde mikro organizmaların rahatça yerleşip üreyebilecekleri geniş hava kanalları içermediği, su buharı ve nem geçişi daha kolay olmadığı için mantar ve küf oluşumu daha az görülecektir. Bunun sonucu ürün daha efektif yalıtım işlevi görürken ortama Mikro Uçucu Organizma (MVOCs) salınımı olmayacak veya çok az olacaktır. Nemin selülozik yapıda rahat ilerleyebilmesi ve selülozun higroskopik yapısı, katkı kimyasallarının zaman içinde verimini azaltacağı endişesini oluşturmaktadır. Sıkıştırılmış yapı, katkı kimyasallarının da, daha uzun süre yapıda kalıcı olmasını sağlayacaktır.

Sıkıştırılmış selülozik elyafın fiziksel formu, hem içinde daha az hava barındırarak hem de katkı kimyasallarının yanma anında daha verimli olmasını sağlayarak, yanma geciktiricilik özelliğine katkıda bulunmaktadır. Yanma anında, kömürleşme tabakası, yüzeye daha yakın oluşmakta ve alt kısımlara ısı geçişine engel olmaktadır. Bu da, ısınma sonucu yanıcı gazların daha geç ortama karışarak, yanmanın hızlanmasını yavaşlatmaktadır. Literatür bilgilerini teyid edecek şekilde bizim çalışmamızda da borik asitin, selülozik elyafın yanma geciktiriciliğini artırdığı gözlenmiştir. Katkı mineralleri vermikülit ve perlit tek başlarına ısı, ses ve yangın yalıtımı özelliklerine sahiptir. Ancak bu çalışmada, yangın geciktiricilik açısından sıkıştırılmış selüloz yapıda beklenen verimli sonucu vermemiştir.

Yaptığım bu çalışmanın sonunda, sıkıştırılmış selülozik levha formu için genel olarak şunları söyleyebilirim.

Sıkıştırılmış selülozik levha, ısı, ses ve yanma geciktiricilik yalıtımında muadili diğer malzemelerin ikamesi olarak rahatlıkla tercih edilebilir.

Binalarda uygulanacak içten ve ara bölme yalıtımlarında, yapı ve kaplama elemanları ile birlikte çalışma rahatlığı, hafiflik ve ekolojik olma özelliği avantaj sağlayacaktır.

Akustik özellik istenilen yapı ve ortamlarda, uygulayıcılara tercih üstünlüğü sağlayacaktır. Bu mekanlar genelde insanların yoğun olduğu yerlerdir. Buralarda, kullanılacak akustik düzenleyici malzemelerin yanma sırasında zehirli gaz çıkarmama, havayı temizleme, böcek ve mantar oluşumuna engel olma gibi diğer yalıtım özelliklerinin de olup olmadığı dikkate alınması gerekecektir.

Yanma geciktiricilik özelliği, taş yününden sonra en iyi yalıtım malzemesidir diyebiliriz. Yüksek ısıyı arka tarafa yansıtması ve alevli yanma göstermemesi, binanın temel yapısını ısısal bozunmaya karşı koruyacak ve yangının yayılmasını da zorlaştıracaktır. Özellikle çelik yapılarda, taşıyıcı sistemin yangından ve korozyondan korunması açısından tercih edilebilir. Sıkıştırılmış selülozik levha, tüm bu konularda uygulayıcıları rahatlatacak özelliktedir.

6.1 Genel Değerlendirme ve Öneriler

Yeni bir ürünün, laboratuvar şartlarında tesbit edilen sonuçlarını uygulama alanında aynen görmek mümkün olmayabilir. Bu nedenle, özellikle yapı sektöründe ve sürekli doğal koşullarla karşı karşıya kalacak bir ürünü tariflerken, bu sonuçlar yetersiz kalacaktır. Sıkıştırılmış selülozik levhanın, uygulama sonrası davranışlarının da bütünü ile tanımlanabilmesi için, her özelliğinin pilot ölçekli de olsa uygulamalı birer çalışması yapılmalıdır.

Yalıtım malzemelerinde, bir malzemeyi tercih edilebilir kılan en büyük etkenlerden biri de, ekonomikliğinin yanı sıra uygulama kolaylığıdır. Selülozik elyafın, bu çalışma sonunda kolay uygulanabilir bir boyut ve form alabileceği görülmüştür. Ayrıca, sıkıştırılmış selülozik levha farklı yalıtım ve kaplama elemanları ile birlikte çok rahat uygulanabilecektir. Selülozik elyaf, şilte formuna getirilebilir, şilte formuna getirilmesi bu malzemenin kullanım ve uygulama sahasını genişletecektir. Yaşadığımız yüzyıl, atıkların geri kazanımı ve kullanımı açısından önemli çalışmalar yapılacağı ve yapılması gereken bir zaman dilimi olacaktır. Her yönden, gittikçe kirlenen dünyanın üzerindeki atık yükünün, hafifletilmesi ve yeniden ekonomik değer olarak kazanılması gerekmektedir.

Malzemenin kendi yapısı içinde ve diğer emsalleri olan yalıtım malzemelerinin verileri ile, karşılaştırdığımızda çalışmanın başarılı olduğunu söyleyebiliriz. Ölçülen değerlerin, standart değerleri geçmemesinin bazı değerlerde yüksek çıkmasının nedenleri; testlerin başlangıç ısı değerlerinin yüksek seçilmesine, test yöntemine. uygulama yöntemine ve malzemenin nem miktarına bağlı olmalıdır. Zira deklare edilen değerler malzemenin sıkıştırılmamış ve tam kuru olduğu haldeki laboratuvar ölçümü ısı direnç değerleridir. Bu çalışmada geliştirilen ‘yalıtım ürünleri’, yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında kullanılması, düşük maliyeti, yeşil ürün olması ve ekonomikliği sayesinde, selülozik elyafın sektörel kullanımının yaygınlaşmasını gerçekleştirecektir.

Selülozik yalıtımda, sıkıştırılmış formun yaygın uygulamasının olmayışı ve bu konudaki literatür bilgisinin az olması ile birlikte, bu çalışmanın sonuçları, birebir somut şekilde değerlendirilemediği için birer öngörü olarak algılanabilir. Yaptığım çalışma ve deneyler sırasındaki bulgu ve gözlemlerim bunları söyleme cesareti veriyor. Ancak her biri ayrı bir çalışmanın konusu olarak değerlendirilebilir.

Ülkemizde, gelişen inşaat sektörü ve enerji verimliliği bilinci ile yalıtım ürünlerinin kullanımının yaygınlaştırılması ve yeni alternatif yalıtım ürünlerinin üretilmesi ve bu ürünlerin potansiyel kullanım alanlarının sanayi sektörüne tanıtılması için de üniversite sanayi işbirliği çalışmaları yapılmalıdır. Ülke ekonomisine de katma değer artışı sağlayacak bu tür proje üretenlere, bilimsel katkılara ilave olarak teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda da sağlanacak kolaylıklarla destek verilmesi hedeflenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Eroğlu, H. ve Usta, M.** (2004). *Kağıt ve Karton Üretim Teknolojileri Ders Kitabı*. 1.Cilt, p. 94-112. İstanbul: Esen Ofset Matbacılık.
- [2] **URL-1** <<http://www.kagitsanayi.com>>. alındığı tarih 05.03.2009.
- [3] **D.P.T.** (2002). 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı. Kağıt Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, Türkiye.
- [4] **Keegan, N.** (1997). Minerals in Paper. *Industrial Minerals*. No.360,.69-77.
- [5] **Yantang, Y. ve Luping, M.** (2000). Substituting Talk. *Industrial Minerals*. No. 389, 47-51.
- [6] **Demir, A.** (1995): Atık Kağıdın Geri Dönüşümü ve Ülke Ekonomisine Net Katkıları. *Ekoloji Dergisi*. Sayı:15, 21-29.
- [7] **URL-2** <<http://www.epa.gov>>. alındığı tarih 05.03.2009.
- [8] **Eroğlu, V. ve İzgi, O.** (1992). Atık Kağıtların Geri Kazanılması. *İTÜ. 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*. İstanbul. 20-22 Eylül.
- [9] **Öztürk, M.** (2005). Kullanılmış Kağıtların Geri Kazanılması Kullanılmış Kağıttan Kağıt Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı. Ankara.
- [10] **Karadeniz, Y., Baş, Ç., Bilici, İ. ve Karadurmuş, E.** (2008). Atık Kağıt İşleyen Oluklu Mukavva Fabrikalarında Kullanılamayacak Nitelikteki Liflerin Değerlendirilmesi. *Fatih Üniversitesi. Çevre Sorunları kongresi*.15-16 Mayıs. İstanbul.
- [11] **Eroğlu, V.** (1990). *Atık Kağıt Kullanımının Çevre Açısından Önemi*. İstanbul. İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Yayını.
- [12] **Panaiteescu, D. M. ve arkadaşları.** (2007). Properties of Composite Materials From Polyethylene and Cellulose Microfibrils. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*.9 (8), 2524-2528 August.
- [13] **Olorunnisola, A.O.** (2007). Production of Fuel Briquettes from Waste Paper and Coconut Husk Admixtures. *Agricultural Engineering International: The CIGR E-Journal*. Manuscript EE 06 006,.123-128.
- [14] **Krzysik, A.M. ve arkadaşları.** (1993). Feasibility of Using Recycled News August papers as a Fiber Source of Dry-Process Hardboards. *Forest Products Journal*. 43 (7/8),53-58,July.
- [15] **Budavari, S.(Ed)** (1996). The Merck Index. 12th edition, 1365. Rahway. NJ, Merck Co.

- [16] **Chrenka, G.A.** (1980). Use of secondary fiber for insulation. *In Proceedings of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Pulping Conference.* Atlanta. GA, Nov. 16-19.
- [17] **Lea, D.** (1995). Cellulose Insulation. Cellulose Insulation Manufacturers Association. Prepared for NTP by Technical Resources International. Inc.. under NCI Contract No. **N01-CP-56019**.
- [18] **Zicherman, J.B. and Fisher, F.L.** (1978). Fire Protection Problems Associated with Cellulose Based Insulation Products. *Society of Fire Protection Engineering Technical Report No. SFPE-TR-78-7.* Boston. MA.
- [19] **Davi, J.** (1993). The need for standardised testing procedures for all products capable of liberating respirable fibres; the example of materials based on cellulose. *Br. J. Ind. Med.* **50**. 187-190.
- [20] **Bird, T.O., White, J. and Bird, C.H.** (1980). Fire-retardant cellulose insulation and process for making same. Assignee: White-Bird Enterprises. Inc. US Patent No: **US 4,230,585**.
- [21] **Lea, D.,** (2000). Building a Greener New Jersey. *CIMA Conference.* Oct.04.
- [22] **Shirtliffe, C.J. and Bomberg, M.,** (1978). Blown cellulose Fiber Thermal Insulations: Part2 - *Thermal Resistance. Thermal Transmission Measurements of Insulation.* p. 105. ASTM STP 660. Ed. Tye R. P.. American Society for Testing and Materials.
- [23] **ASTM C 739,** (1995). Standard Specification for Cellulosic Fiber (Wood-Base) Loose-Fill Thermal Insulation. 1995 Annual Book of ASTM Standards. Vol. **4**. 344.
- [24] **NCIMA N10 1-73,** (1973). Standard Specification for Cellulosic Fiber (Wood-Base) Loose-Fill Thermal Insulation. National Cellulose Insulation Manufacturers Association. Chicago.
- [25] **Tye, R. P.** (1974). Heat Transmission in Cellulosic Fiber Insulation Materials. *Journal of Testing and Evaluation.* Vol.2. no:3. 176- 179.
- [26] **Yarbrough, D. W., McElroy, D. L. and Harris, W. W.** (1982). Properties and Testing of Loose- Fill Cellulosic Insulation. *Oak Ridge National Laboratory Technical Report ORNL/TM-6433.* Oak Ridge. TN.
- [27] **CPSC HH-1-5 15c,** (1978). Consumer Product Safety Commission. Interim Consumer Product Safety Standard for Cellulose Insulation. *General Services Administration Specification.* **43 FR 35240**.
- [28] **CPSC HH-1-5 15d,** (1979). Consumer Product Safety Commission. Interim Safety Standard for Cellulose Insulation; Cellulose Insulation Labeling and Requirement. *General Services Administration Specification.* **44 FR 3993 8**. 16CFR Part 1209.
- [29] **Cohn, L.** (1981). Cellulose insulation industry plans certification program. *Energy User News.* Vol.6. no.1. 11.
- [30] **Day, M., Suprunchuk, T. and Wiles, D. M.** (1987). A Combustibility Study of Cellulosic Insulation. *Journal of Thermal Insulation.* Vol.3. 260-224.

- [31] **Chiou, N. and Yarbrough, D. W.** (1990). Permanency of Boric Acid Used as a Fire Retardant in Cellulosic Insulation. *Energy and Buildings*. Vol.**14**. 351-361.
- [32] **Chiou, N. and Yarbrough, D. W.** (1994). Fire Retardants in Cellulosic Insulation. *Journal of Thermal Insulation*. Vol.**10**. pp. 41-78.
- [33] **Ferm, D. J. and Shen, K. K.** (1994). Study of the Permanency of Borates in Cellulosic Insulation. *Proceedings of the International Conference on Thermal Insulation*. Vol.**10**. 41 -78.
- [34] **Yarbrough, D. W.** (1992). A Review of Research on the Permanency of Chemical Fire Retardant Chemicals Contained in Cellulosic Insulation. *Thermal Performance of the Exterior Envelope of Buildings-V*. Clearwater. FL.
- [35] **Yarbrough, D. W.** (1993). Permanency of Chemical Fire Retardants Used in Cellulosic Insulations. *Proceedings of the International Conference on Thermal Insulations* Vol.9. pp. 87-93.
- [36] **URL-3**, <<http://www.cellulose.org>>. alındığı tarih 23.05.2009.
- [37] **URL-4**, < <http://www.icc-es.org> >. alındığı tarih 23.05.2009.
- [38] **McAllister, G. G.** (1989). *Thermal and Water Vapor Transmission Data* Baltimore: 1989 ASHRAE Handbook.
- [39] **Andres, S.** (2007). Cocoon Thermal and Sound Insulation Products. ICC Evaluation Services. Inc. *ICC Legacy Report ER-2833*. Oct.05.
- [40] **Rasmussen, T.V.** (2002). Creep Tests and Techniques for Predicting Densities Necessary to Prevent Settling of Loose Fill Insulation in Walls. *Insulation materials. testing and applications*. Vol. **4**, 42.
- [41] **Hirata, T. and Werner, K.E.** (1987). Thermal Analysis of Cellulose Treated with Boric Acid or Ammonium Phosphate in Varied Oxygen Atmospheres. *J. Appl. Polymer Sci.*. Vol.33. no.5. pp. 1533–1556.
- [42] **Björk, F., Lundblad, D. and Ödeen, K.** (1997). Transport of air, tracer gas and moisture through a cellulose fibre insulated structure. *Nordic Journal of Building Physics* Vol. **1**, 44-52.
- [44] **Skujans, J., Vulans, A., Iljins, U. and Aboltins, A.**, 2007. Measurements of Heat Transfer of Multi-Layered Wall Construction With Foam Gypsum. *Applied thermal Engineering*. Vol.**27**. pp.1219-1224.
- [43] **McCleery, R. E., McCullough, J. R., Hall, M. and Fernback, J. E.** (2001). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) exposure assessment of cellulose insulation applicators. *Health hazard Evaluation Report # 2000-0332-2827*. Cincinnati. Ohio.
- [45] **Rasmussen, T. V.** (2003). Verification of density predicted for prevention of settling of loose-fill cellulose insulation in walls. *Journal of Thermal Envelope & Building Science*. Vol.**27** (1), 49-69.
- [46] **Kumaran, M. K.** (1996). *IEA-Annex 24 on Heat, Air and Moisture Transport in Highly Insulated Envelopes*. Final Report Vol.3 Task 3: Material Properties. Leuven.

- [47] **Bokalders, V. and Sternberg, H.** (1995). Product guide for healthy and environmentally adapted buildings. *Ekokultur Förlag*. Falun. Sweden.
- [48] **URL-5**, <www.constructionresources.com>. alındığı tarih 25.06.2009.
- [49] **Yachmenev, V., Negulescu I. ve Yan, C.** (2006). Thermal Insulation Properties of Celluloses – Based Nonwoven Composites. *Journal of Industrial Textiles*. Vol.36, (1),73-87.
- [50] **Boonyartikarn, S. and Spiegle, S.R.** (1990). Fiberglass vs Cellulose Installed Performance. Research Report. University of Colorado School of Architecture and Planning . Colorado.
- [51] **Lea, D.** (1996). Cellulose: Building Insulation with high recovered content. Low Embodied Energy. *Green Building Materials '96*. Gainesville. FL.USA, June 24-25.
- [52] **URL-6**, <<http://www.cellulose.org>>. CIMA Bulletin 1. Beyond R'Değer; The truth about insulation performance. alındığı tarih 25.06.2009.
- [53] **URL-7**,<<http://www.naima.org>>. Wet-Spray Cellulose Insulation Systems. Facts#14. 02.19.2006. alındığı tarih 25.06.2009.
- [54] **Rasmussen, T.V.** (2001).Modelling settling of loose-fill insulation in walls,Part I. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 129-141.
- [55] **Boonyartikarn, S. and Spiegle, S.R.** (1990). Wet Spray Cellulose Installation and Performance. National Thermal Performance Institute. February 15. Denver.
- [56] **Trechsel, H.R. and Bomberg, M.T.** (2009). Moisture Control in Buildings:The Key Factor in Mold Prevention. ASTM Manual Series. 2nd Edition.Chapter-2. pp.16-38. Baltimore. MD.
- [57] **Vlooswyk, J.A.** (1990). Field Monitoring of Cellulose in Walls-Edmonton. CMHC. Project Implementation Division. *Final Report*, Ottawa, Canada, January 8.
- [58] **Anonim, BOHS.** (1985). Dustiness estimation tests for dry materiales. In *British Occupational Hygiene Society (BOHS) Technical Guide* no. 4. Northwood Science Reviews Ltd.
- [59] **Milton, D.K., Walters, M.D., Hammond, K. and Evans, J.S.** (1996). Worker exposure to endotoxin. phenolic compounds. and formaldehyde in a fiberglass insulation manufacturing plant. *Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal*. Vol. 57. pp. 889–96.
- [60] **Buick, J. B., Lowry, R. C. and Magee, T. R. A.** (1994). Isolation. enumeration. and identification of gram negative bacteria from flax dust with reference to endotoxin concentration. *Am. Ind. Hyg. Assoc. Jour..* Vol. 55. pp. 59–61.
- [61] **Breum, N. O., Nielsen, E. M. and Nielsen, B. H.** (1996). Bioaerosol exposure in collecting garden waste. recyclable materials and waste for incineration. *Ann. Agric. Environ. Med.* Vol. 3. pp. 27– 32.
- [62] **Bower, J.** (1991)." Cellulose Insulation". *Published in Environ.* #11. p.11.

- [63] **Smith, R. C. and Andres, C. K.** (1989). *Materials of Construction.. IV.Edition.* Singapore, Mc Graw hill Book Co., 352-358.
- [64] **USDE,** (2002). Insulation fact sheet with addendum on moisture control. The US Department of Energy, *Interim Report DOE/CE-0180.* USA.
- [65] **Al-Homoud, M. S.** (2005). Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials, *Building and Environment*, Vol.**40**.,353-366.
- [66] **ASHRAE,** (2001). American Society of Heating. Refrigerating. and Air Conditioning Engineers Handbook of Fundamentals. [Chapter 23]. Atlanta.GA. USA.
- [67] **United Nations,** 1987. Report of the World Commission on Environment and Development, Our Common Future (the Brundlant Report), pp.387.
- [68] **İZODER,** (2009). *Yalıtım Sektörü Envanter Araştırması Raporu.* Mayıs, İstanbul.
- [69] **Çengel, Y., ve Boles, A. M.** (2008). *Termodinamik; Mühendislik Yaklaşımıyla,.* İzmir, Güven Bilimsel Yayınları.
- [70] **Schmidt, A. C. et Al.** (2004). A Comparative Life Cycle Assessment of Building Insulation Products made of Stine Wool. Paper Wool and Flax. *Int. J LCA.* Vol.**9** no.1 53-66.
- [71] **Büyüklü, K.** (2011) İZOCAM A.Ş.. *Mühendis ve Makine.* Cilt:**47.** 563
- [72] **Ekinci, C. E.** (2003). *Yalıtım Teknikleri.* Ankara: Atlas Yayın Dağıtım. ISBN:975-6574-20-8.
- [73] **Condren, S.J.** (1982). Vapor Retarders in Roofing Systems: Moisture Migration in Buildings, ASTM STP 770, 5-27.
- [74] **Bayraktar, K.** 2002.Tesisat dergisi sayı:76. Nisan ,Syf:212-216
- [75] **İZODER.** (2010). *Isı Yalıtımı Bölümü.* İstanbul.
- [76] **Secchi, S.** (2005). Acoustic and thermal performances of building materials. *Proc. of the 1st International Workshop on Sustainable Materials for Noise Control.* Terni. Italy. October.
- [77] **D'Alessandro, F. et Al.** (2005). Sound absorption properties of sustainable fibrous materials inan enhanced reverberation room. *Proc. of Internoise 2005.* Rio de Janeiro. Brazil, August.
- [78] **Cheng, W. G. et al.** (2003). Waste rubber for noise reduction. *Proc. of Internoise 2003.*Korea. August.
- [79] **Pizzutti, J. L. et Al.,** 2005. Acoustic potential of calabash residue as sound absorption alternative material. *Proc. of Internoise 2005.* Rio de Janeiro. Brazil, August.
- [80] **Hax, S. et Al.** (2002). Residues utilization from shoes industry in the acoustic Insulation in Buildings. *Proc. of Internoise 2000.* Nice. France. August.

- [81] **Joshi, S. et Al.** (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. *Int J Composites*. Part A 35. 371-376.
- [82] **Asdrubali, F.** (2006). Survey on the Acoustical of new Sustainable Materials for Noise Control, *Euronoise 30 May-1 June* , Tampere. Finland.
- [83] **Desarnaulds, V. et Al.** (2005). Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials. *Proc. of ICSV12*. Lisbon. Portugal.
- [84] **Goedkoop, M. and Spriensma, R.** (2000). Eco-indicator '99 *Methodology Report*. 22 June. Pré. Consultants b.v.. Amersfoort. The Netherlands.
- [85] **Rouquerol J. et Al.** (1994). Recommendations for the Characterization of Porous Solids. *Pure&Applied Chemistry*. Vol.66 (8), 1739-1758.
- [86] **Jorge, P., Arenas. M. and Crocker. J.** (2010). Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials, *Sound & Vibration/ Materials* Reference Issue. pg:12-17. July.
- [87] **Zwikker, C. and Kosten, C.W.,** 1949.‘ Sound Absorbing Materials’ Elsevier Publishing Inc.. NewYork.
- [88] **Biot, M.** (1956). Theory of Propagation if elastic waves in a fluid saturated porous solid. *J.Acoustic Soc.Am..* Vol. **28**. 168-191.
- [89] **Kidner, M.R.F. and Hansen, C.H.** (2008). A Comparison and review of Theories of the Acoustics of Porous Materials. *AVCG School of Mechanical Engineering the University of Adelaide*. S.Auatralia 5005. June 24.
- [90] **Sagartzazu, X., Hervella, L. and Pagaltay, J. M.** (2001). Review in Sound Absorbing Materials. *Archives of Computational Methods in Engineering*, **15**(3), 311-342
- [91] **Cox, T.J. and D'Antonio, P.** (2004). *Acoustic Absorbers and Diffusers; Theory, Design and Application*, NY 10016, USA, SPON Press. Taylor&Francis Group
- [92] **Borhan, B.** (1985). ‘*Ytong El Kitabı-1*’. İstanbul
- [93] **Liso, K. R., Kvande, T., Hygen, H. O., Thue, J. V. and Harstveit, K.** (2007). A Frost Decay Ecposure Index For Porous. Mineral Building Materials. *Building and Environment*. Vol.42.(10). 3547-3555.
- [94] **URL-8,** <<http://www.roskill.org>>. Industrial Minerals/Boron: Global Industry Markets and Outlook. 12th ed.2010. alındığı tarih 17.5.2011.
- [95] **Hunt, C. D. and Stoecker, B. J.,** 1996. Deliberations and evaluations of the approaches. endpoints and paradigms for boron. chromium and fluoride dietary recommendations. *Journal Nutrition*. Vol.126. pp. 2441–2451.
- [96] **Nielsen, F. H.** (1996). Evidence for the Nutritional Essentiality of Boron. *Jour. Trace Elem. Exp.Med..* Vol.9. 215–229.
- [97] **Hunt, C. D.** (1996). Biochemical Effects of Physiological Amounts of Dietary Boron. *Jour. Trace Elem. Exp. Med..* Vol.9.185–213.

- [98] **Hunt, C. D., Herbel, J. L. and Nielsen, F. H.** (1997). Metabolic responses of postmenopausal women to supplemental dietary boron and aluminum during usual and low magnesium intake: boron, calcium, and magnesium absorption and retention and blood mineral concentrations. *Am. Jour. Clin. Nutr.* Vol.65. 803–813.
- [99] **Hunt, C. D., Shuler, T. R. and Mullen, L. M.** (1991). Concentration of boron and other elements in human foods and personal care products. *Jour. Am. Diet. Assoc.* Vol.91,558–568.
- [100] **Ediz, N. ve Özday, H.** (2001). Bor Mineralleri ve Ekonomisi., *D.P.Ü. FBE Dergisi*, Sayı: 2, Kütahya.
- [101] **WHO**, (1996). World Health Organization. Boron. Chapter 13. In: Trace Elements in Human Nutrition and Health. *Report of the Joint FAO/IAEA/WHO Expert Consultation on Trace Elements in Human Nutrition*. 175–179. Geneva. Switzerland.
- [102] **Fort, D. J., Stover, E. L., Strong, P. L., Murray, F. J. and Keen, C. L.** (1999). Chronic feeding of a low boron diet adversely affects reproduction and development in *Xenopus laevis*. *Journal Nutrition* Vol.129. 2055–2060.
- [103] **Rowe, R. I., Bouzan, C., Nabili, S. and Eckhert, C. D.** (1998). The response of trout and zebrafish embryos to low and high boron concentrations is U-shaped. *Biol. Trace Element Res.* Vol.66. 261–270.
- [104] **Eckhert, C. D. and Rowe, R. I.** (1999). Embryonic dysplasia and adult retinal dystrophy in boron-deficient zebrafish. *Jour. Trace Elem. Exp. Med.* Vol.12. 213–219.
- [105] **URL-9**, <<http://www.epa.gov>>. Summary of Results for the 1999 National-Scale assessment. Environmental Protection Agency. alındığı tarih 25.06.2009.
- [106] **URL-10**, <<http://www.epa.gov>>. Pesticides and Toxic Substances *R.E.D. Facts: Boric Acid*. Environmental Protection Agency. alındığı tarih 25.06.2009.
- [107] **Charlene, J. R., Leslie, A., Nyquist, J. R., Coughlin, W. and Downingz, R.G.** (2002). Dietary Boron Intake in the United States: CSFII 1994–1996. *Journal of Food Composition and Analysis*. Vol.15. pp. 237–250. doi:10.1006/jfca.2002.1057.
- [108] **Perloff, B. P., Rizek, R. L., Haytowitz, D. B. and Reid, P. R.** (1990). Dietary intake methodology II. USDA's Nutrient Data Base for Nationwide Dietary Intake Surveys. *Am.Jour.Clin. Nutr.* Vol.120. 1530–1534.
- [109] **Bailey, R. L., Fulgoni, V. L., Keast, D. R. and Dwyer, J. T.** (2001). Dietary Supplement Use is Associated With Higher Intakes of Minerals From Food Sources. *Am.Jour.Clin.Nutr.* Vol.94(5). 1376-1381.
- [110] **Rainey, C. J., Nyquist, L. A., Christensen, R. E., Strong, P. L., Culver, B. D. and Coughlin, J. R.** (1999). Daily boron intake from the American diet. *Jour. Am. Diet. Assoc.* Vol.99. 335–340.
- [111] **Neilsen, F.H.** (1997). Boron in Human and Animal Nutrition. *Plant and Soil*. Vol.193. 199-208.

- [112] **Xialong, Y., Ping, W., Hongqing, L., Guohua, X., Fangsen, X. and Qifa, Z.** (2006). Plant Nutriomics in China; An Overview. *Annals of Botany* Vol. 98.473-482.
- [113] **URL-11**, <<http://bitrix.demat.ru>>. alındığı tarih. 25.07.2009.
- [114] **Breum, N. O., Jorgensen, O., Schneider, T. et al.** (2003). Celluloses building insulation versus mineral wool. fiberglas or perlite: installer's exposure by inhalation of fibers. dust. endotoxin and fire-retardant additives. *Ann. Occup. Hyg.* Vol.47(8).653–669.
- [115] **Altun, F.** (2009). Bor Kimyasalları Kullanım Alanlarında değişimler. Gelişen Alanlar. *IV. Uluslararası Bor Sempozyumu*. 15-17 Ekim. Eskişehir.
- [116] **Liden, G.** (2006). Dustiness Testing of Materials Handled at Workplaces. *Ann. Occup.Hyg.* Vol.50(5).437-439.
- [117] **Finnigan, M. S., Pickering, C.A.C. and Burge, P. S.** (1984). The sick building syndrome: prevalence studies. *Brit. Med. Jour.* Vol.289. 1573–1575.
- [118] **Mishra, S.K., Ajello, L., Ahearn, D.G., Burge, H. A., Kurup, B.P., Pierson, D.L., Price, D.L., Samson, R.A., Sandu, R.S., Shelton, B., Simmons. R.S. and Switzer, K. F.** (1992). Environmental mycology and its importance to public health. *Jour. Med. Vet. Mycol.* Vol.30. 287–305.
- [119] **Roby, R.R. and Sneller, M.R.** (1979). Incidence of fungal spores at the homes of allergic patients in an agricultural community; II. Correlation of skin tests with mold frequency. *Annual Allergy* . Vol.43.286–288.
- [120] **Hodgson, M.** (1992). Field studies on the sick building syndrome. *Ann. NY Acad. Sci.* Vol.641. 21–36.
- [121] **Kara, G. and Aydın, M.E.** (2001). Indoor Air Pollutants and Methods of Detection. *Eur. Jour. Basic Med. Sci.* Vol. 1. 39-49.
- [122] **Croft, W.A., Jarvis, B.B. and Yatawara, C.S.** (1986). Airborne outbreak of trichothecene toxicosis. *Atmos. Environ.* Vol.15. 549–552.
- [123] **Ahearn, D.G., Crow, S.A., Simmons, R.B., Price, D.L., Mishra, S.K. and Pierson, D.L.** (1997). Fungal colonization of air filters and insulation in a multi-story office building: Production of volatile organics. *Curr. Microbiol.* Vol. 35. 305–308.
- [124] **Karunasena, E., Markham, N., Brasel, T., Cooley, J.D. and Straus, D.C.** (2000). Evaluation of fungal growth on cellulose-containing and inorganic ceiling tile. *Kluwer Academic Publishers. Mycopathologia* Vol.150.(2). 91–95. Netherlands.
- [125] **Cooley, J.D., Wong, W.C., Jumper, C.A., Hutson, J.C., Williams, H.J., Schwab, C.J., Straus, D.C.** (2000). An animal model for allergic penicilliosis induced by the intranasal instillation of viable *Penicillium chrysogenum* conidia. *Kluwer Academic Publishers. Thorax* . Vol.55. (6) 489–496.

- [126] **Cooley, J.D., Wong, W.C., Jumper, C.A., Straus, D.C.** (1998). Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Occup Environ Med.* Vol.55. (9) 579–584.
- [127] **Şimşek, H. ve ark.** (2009). Borlu Bileşiklerle Emprenye Edilen Odunun Liflere Paralel Basınç Direnci Değerleri. *IV.Uluslararası Bor Sempozyumu*. 15-17 Ekim, Eskişehir.
- [128] **Kartal, S.N. and Imamura, Y.** (2004). The Use of Boron as Wood Preservative Systems for Wood and Wood- Based Composites. *2nd International Boron Symposium*. 23-25 September. Eskişehir.
- [129] **Siddiqui, S.A.** (1989). *A Handbook on Cellulose Insulation*. Malabar. FL: Robert E. Kreiger Publishing Co. Inc.
- [130] **Van Loo, J.M., Robbins, C.A., Swenson, L. and Kelman, B.J.** (2004). Growth of mold on fiberglass insulation building materials—a review of the literature. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 1, 349-354.
- [131] **Fogel, J.L. and Lloyd, J.D.** (2002). Mold Performance of some construction products with and without borates. *Internal technical paper*. Valencia. CA: U.S. Borax. Inc.
- [132] **McCleery, R.E., McCullough, J., Hall, R.M. and Fernback, J.E.** (2001). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) exposure assessment of cellulose insulation applicators. *Health hazard Evaluation Report # 2000-0332-2827*. Cincinnati. Ohio: NIOSH Publications
- [133] **Hyvarinen, A., Meklin, T., Vepsäläinen, A. and Nevalainen, A.** (2002). Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials: concentrations and diversity. *International Biodeterioration and Biodegradation* 49, 27-37.
- [134] **Herrera, J., Omodon, M.E. and Dillavou, C.L.** (2007). The sporocidal and sporostatic effect of sodium polyborate and boron-treated cellulose insulation on common indoor fungal species. *Micologia Aplicada Internacional* 19, 35-49.
- [135] **Shen, K.K.** (1980). Corrosion Tests On Cellulosic Insulation Containing Borates. *Journal of Building Physics* Vol.3 (190).
- [136] **Anonim,** (2006). DPT Bor Çalışma Grubu Raporu' Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu *IX.Kalkınma Raporu'*.Ankara.
- [137] **Sprague, R.W. and Shen, K.K.** (1979). The Use of Boron Products in Cellulose Insulation. *Journal of Thermal Insulation*. Vol.2. 161.
- [138] **Kandola, B.K., Horrocks, A.R., Price, D. and Coleman, G.V.** (1996). Flame-Retardant Treatments of Cellulose and their Influence on the Mechanism of Cellulose Pyrolysis. *J. Macromol. Sci.. Rev. Macromol. Chem. Phys.* Vol.36 (4), 721–794.
- [139] **Wagener, A.P.** (1983).Corrosion Inhibitor for Cellulosic Insulation US Patent no.202301, Jul.12.1983.

- [140] **Bolen, W.P.** (2000). 'Perlite'. *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2000*. NY USA, Vol:57.
- [141] **Ferm, D.J. and Shen, K.K.** (1994). Study on the Permanence of Borates in Cellulosic Insulation. *Proceedings of the 10th International Conference on Thermal Insulation*. **10**, 41-78.
- [142]. **Allied Signal Corp.** (1985). Permanency of Ammonium Sulfate Flame Retardants to Simulated Attic Exposure.
- [143] **Bates, R.L.**, 1969. Perlite, in *Igneous Rocks; Chap.3, part II. Geology of the Industrial Rocks and minerals*, NY, Dover Pub. Inc, pp.50-58.
- [144] **Loughbrough, R.** (1991). Minerals in Lightweight Insulation. *Industrial Minerals*. October. pp. 21-35.
- [145] **EPA**, (1985). Calciners And Dryers In Mineral Industries Background Information For Proposed Standards. **EPA-450/3-85-025a**. U. S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park. NC. October.
- [146] **Anonim**, (2001). DPT. Madencilik özel İhtisas Komisyonu Raporu End. Ham. Alt Kom. Yapı Malz.-III'. DPT:2617-ÖİK:628. pp:57-65. Ankara.
- [147] **Topçu, İ.B. and Işıkdag, B.** (2007). Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite, *Building and Environment*, Vol.42, 3540-3546.
- [148]. **Kendall, T.** (2000). No Sign of the bubble bursting; Perlite uses and Markets *Industrial Minerals*, **383** (August), 51-59.
- [149] **Karaman, S.** (2007). Tarımsal Yapılarda Kullanılan Hafif İnşaat Malzemeleri" *HR.Ü.Z.F.Dergisi*, **11**(1/2), 63-69.
- [150] **Calle, C. and Suquet, H.** (1998). Vermiculite In; Bailey S.W..(Ed); *Hydrous Phyllosilicates (Exc.of Micas)*. *Min.Soc. of America Reviews in Minerology*. Vol.19, 455-496.
- [151] **Strand, P. R.** (1983). Vermiculite. *Industrial Minerals And Rocks*. ed: Lefond S. J. *AIME*. Vol: **2**. 1375-81.
- [152] **Rau, E.** (1985). *Vermiculite. Mineral Processing Handbook*. New York. SME, Vol.29, pp.21-22.
- [153] **Potter, M. J.** (2002). *Vermiculite*, NY, US Geological Survey Minerals Yearbook, Chap.82, pp.1-6.
- [154] **Meisinger, C. A.** (1985). Vermiculite. Mineral Facts and Problems. *US Bureau of Mines*. **1**. 917-922.
- [155] **Anonim**, (1997). I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Isparta, 355.
- [156] **Breese, R.O.Y.** (1994). *Diatomite. Industrial Minerals and Rocks*. in Carr Colorado. USA. (ed). *SMME*. 397-412
- [157] **Aruntaş, H.Y., Albayrak. M., Saka. H.A. ve Tokyay. M.** (1998). Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş yöresi diatomitlerinin özelliklerinin belirlenmesi. *Turkey Journal of Engineering and Environmental Science*. **22**, 337-343.

- [158] **Bentli, İ.** (2009), Diyatomitin endüstride kullanımı ve çevresel önemi. *3.Madencilik ve Çevre Sempozyumu*. Ed: N. Karadeniz. Ankara. 191-199.
- [159] **Altınışık, K.** (2006). *Isı Yalıtımı* , Ankara, Nobel Yayın dağıtım. pp.259.
- [160] **Toydemir N., Tanaçan L. ve Sayıl B.** (1990). Isı Tutucu Malzemeler, *İnşaat Dergisi*. Sayı:77. sayfa:72.
- [161] **Schittich, C.** (2001). *In Detail Building Skins; Consepst Layers Materials Birkhauser*, Berlin, Publisher for Architecture..
- [162] **Can, M. ve Avcı, A.** (1995).Bursa Bölgesi Konut Duvarlarının Optimum Isı yalıtım Kalınlığının Hesabı, Ülke Ekonomisi ve Hava Kirliliğine Etkileri, *Isı, ses, su yalıtımı sempozyumu*. 13-14 Aralık, İstanbul.
- [163] **Gündüz, I** (2001). Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın kullanımı, *4. Endüstriyel Hammaddeler Semp.*, 18-19 Ekim, İzmir,Türkiye
- [164] **İZODER**, (2009). Yalıtım Sektörü Envanter Araştırması Raporu. Mayıs.
- [165] **Çengel, Y.A.** (2003). *Heat Transfer: A Practical Approach*. USA, Mc Graw-Hill Co.Inc. 2.nd ed.ISBN 0-07-245893-3, pp.98-305.
- [166] **Incropera, F.P. and De Witt, D.P.** (2000). *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, İstanbul, Literatür Yayınları, 45-110.
- [167] **Sagmeister, B.** (1999). *Masonry Units Heat-insulating from no-fines ligtweight concrete*. Wlluf, Germany, Bauverlag GmbH. 65396.
- [168] **Thomas, H.R. et al.** (1996). Measured heat losses through a real ground floor slab, *Building Research and Information*, **24**(1), 15-26.
- [169] **McDougall, G.J., Morrison, I.M., Stewart, D., Weyers, J.D.B. and Hillman, J.R.** (1993). Plant fibres: botany, chemistry and processing for industrial use. *Journal of Science of Food and Agriculture* , **62**, 1–20.
- [170] **Hagentoft, C.E. and Claesson, J.** (1991). Heat loss to the ground from a building. II: Slab on the ground. *J. of Building and Environment*, **26**, (4), 395-403.
- [171] **Hens, H.** (1996). Heat. Air and Moisture Transsport in Highly Insulated Envelopes. *IEA-Annex 24 on Final Report*,**1**, Leuven.
- [172] **Taylor, B.J. and Simbabi, M.** (1998). The Application of Dynamic Insulation in Buildings. *Renewable Energy*, **15**, 377-382.
- [173] **Hyvarinen, A., Meklin, T., Vepsalainen, A. and Nevalainen, A.** (2002). Fungi and Actinobacteria in Moisture-Damaged Building Materials: Concentrations and Diversity, *International Biodeterioration and Biodegradation*, **49**, 27-37.
- [174] **Nicolajsen, A.** (2005). Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material. *Building and Environment* **40**, 907–914.
- [175] **Snyder, R.A. and Duncan, R.S.** (2010). Insulation Batt Having Integral Baffle Vent. , US Patent No:**2010/0005755A1**, Jan. 14.2010.

- [176] **Sandberg, P.I.** (1992). *Determination of the effects of moisture on the thermal transmissivity of cellulose fibre loose-fill insulation. In: Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings* NY, ASHRAE.Chapter V, pp. 517–25.
- [177] **Çomaklı, K. ve Yüksel, B.** (2003). Optimum Insulation Thickness of External walls for Energy Saving. *SİGMA*.**23**, 473-479.
- [178] **Bolattürk, A.** (2006). Determination of Optimum Insulation Thickness for Buildings Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*. **26**. 1301-1309.
- [179] **Bolattürk, A.** (2008). Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls With Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey. *Building and Environment*. **43**. 1055-1064.
- [180] **Özel, M. ve Pıhtılı, K.** (2008). Determination of Optimum Insulation Thickness by Using Heating and Cooling Degree-day değers' *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. **26**(3),191-197.
- [181] **Uçar, A. ve Balo, F.** (2009). Effect of Fuel Type on the Optimum Thickness of Selected Insulation Materials for the Four Different Climatic Regions of Turkey, *Applied Energy*. **86**, 730-736.
- [182] **Özkan, B.D., Onan, C. and Erdem, S.** (2009). Effect of Insulation Material Thickness on Thermal Insulation *SİGMA*, **27**. 190-196.
- [183] **Sandberg, P.I.** (1987). *Thermal resistance of a wet mineral fiber insulation. In: Powell FJ, Matthews SL, editors. Thermal insulations: materials and systems.* Philadelphia: American Society of Testing and Materials, STP 922, 394–404.
- [184] **Tye, P.R.** (1974). Heat Transmission in Cellulose Fiber Insulation Materials . *Journal of Testing and Evaluation*. **2**(3),176-179.
- [185] **Anderson, R.W. and Wilkes, P.** (1977). Survey of Cellulosic Insulation Materials. *Energy Research and development Administration*. ERDA 77-23. UC-95d. January.
- [186] **Shirtliffe, C.J. and Bomberg, M.** (1978). *Blown Cellulose Fiber Thermal Insulations: Part 2: Thermal Resistance.* ASTM STP 660. 104-129.
- [187] **Spinney, S.C., Tye, R.P. and Weidt, J.L.** (1979). A Study of Some In-situ Properties of Cellulose and Urea Formaldehyde Retrofit Insulations, *ASHRE. Transactions*. **85**(2).
- [188] **Burch, D.M., Siu, C. and Powell, F.J.** (1976). Comparison of the Thermal Performance of Three Insulating Materials Commonly Used to Retrofit Exterior Residential Walls. *IIRC B1. Proceedings*,151-162.
- [189] **Shirtliffe, C.J. and Bomberg, M.** (1978). *Blown Cellulose Fiber Thermal Insulations: Part 1: Density of Cellulose Fiber Thermal Insulation in Horizontal Applications,* ASTM STP 660. 82-103.
- [190] **Allen, D.E. and Rainer, J.H.** (1975). Floor Vibrations. National Research Council of Canada. Division of Building Research.*Canadian Building Digest* ,173,September.

- [191] **Bomberg, M. and Solvason, K.R.** (1980). How to Ensure Good Thermal Performance of Cellulose Fibre Insulation Part 1: Horizontal Applications. *Building Research Note*. Ottawa. March.
- [192] **Manohar, K., Ramlakhan, D., Kochhar, G. and Haldar, S.** (2006). Biodegradable Fibrous Thermal Insulation. *Journal of the Brazil Soc. of Mech. Sci.&Eng.* Vol.XXVII. No:1. January-March. pp.45-47.
- [193] **Bomberg, M. and Solvason, K.R.** (1980). How to Ensure Good Thermal Performance of Cellulose Fibre Insulation Part 1: Horizontal Applications. *Building Research Note. Appendix A*. Ottawa. March.
- [194] **Bomberg, M. and Solvason, K.R.** (1980). How to Ensure Good Thermal Performance of Cellulose Fibre Insulation Part 1: Horizontal Applications. *Building Research Note. Appendix D*. Ottawa. March.
- [195] **Rudbeck, C. and Rode, P.** (2001). Procedure for Determining the Desing Değer of the Thermal Conductivity of Thermal Insulation Materials. *Sagsrapport BYG-DTU SR-01-02*. ISSN 1396-402x.
- [196] **URL-5,** <<http://www.greenfiber.com>.> 'The Large Scale Outdoor Fire Demonstration Program'. EA-6.12-01 REV A 08/07. June 23. 1998. alındığı tarih 20.07.2010.
- [197] **Baker, M.C.** (1964). Thermal and Moisture Deformations in Building Materials. *Canadian Building Digest* 56.
- [198] **Wilson, A.** (2003). Moisture Control in Buildings: Putting Building Science in Green Building. *Environmental Building News*, 12(7).
- [199] **Pedersen, C.R.** (1990). Combined Heat and Moisture Transfer in Building Construction. *Technical University of Denmark. ReportNo:214*. September.
- [200] **Lennart, A.** (1972). Moisture Fixation in Porous Building Materials. Division of Building Technology. *Lund Inst. of Techn. Report No:36*.Sweden.
- [201] **Gudum, C.** (2003). *Moisture Transport and Convection in Building Envelopes Ventilation in Light Weight Outer Walls*. PhD ThesisR-047. DTU Denmark.ISBN 87-7877-107-2. Final Ed.. February.
- [202] **Hukka, A. and Viitanen, H.A.** (1999). A Mathematical Model of Mould Growth on Wooden Material. *Wood Science and Technology* 33, 475-485.
- [203] **Simonson, C.J. and Ojanen, T.** (2000). Moisture Performans of Building Envelopes with no Plastic Vapor Retarder in Cold Climates. *Proceedings of Healty Buildings*, 3, 477-482.
- [204] **Larsson, L.E.** (2001). Moisture Content in aWooden Sheating Above an Attic with High-Insulated Ceiling Construction. *CIB W40 Heat and Moisture Transfer in Buildings. Meeting 8-11*, Wellington. NewZealand. April. 282-289.
- [205] **Viitanen, H.A.** (1997). Modelling the Time Factor in the Development of Fungi;The Effect of Critical Humudity and Temperature Conditions on Pine and Spruce Sapwood, *Holzforschung*, 51, 6-14.

- [206] **Hagentoft, C.E. and Harderup, E.** (1996). Moisture Conditions in a North Facing Wall with Cellulose Loose Fill Insulation; Constructions with and without Vapor Retarder and Air Leakage. *Journal of Thermal Insulation and Building Environments*. January, **19**.
- [207] **Salonvaara, I.** (1996). Moisture Balance in Unheated Roof Space- The Importance of Ventilation and Choice of Insulation Materials. *Building Physics in The Nordic Countries*. ESPOO. Finland.
- [208] **Straube, J., Onysko, D. and Schumacher, C.** (2002). Methodology and design of field experiments for monitoring the hygrothermal performance of wood frame enclosures. *Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes*. **26**(2). 123-151.
- [209] **Straube, J.F.** (2002). Moisture in buildings. *ASHRAE Journal* , **44**(1), 9-15
- [210] **Straube, J.F. and Schumacher, C.J.** (2003). Hygrothermal Enclosure Models: A Comparison with Field Data. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Physics*. Leuven, Belgium. September 14-18, 319-326.
- [211] **Salonvaara, M.H., Ojanen, T.T., Kokko, E. and Karagidis, A.** (1998). Drying Capabilities of Wood Frame Walls with Wood Siding; *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII*, Clear Water Beach, Florida, 165-177.
- [212] **URL-6**, <http://www.advancedfiber.com/> alındığı tarih 06.10.2010.
- [213] **Sagartzazu, X., Hervella, L. and Pagaltay, J.M.** (2008). Review in Sound Absorbing Materials'. *Arch. Comput. Methods Eng.* **15**(3), 311-342.
- [214] **Biot, M.** (1956). Theory of Propagation if elastic waves in a fluid saturated porous solid. *J. Acoustic Soc. Am.* **28**. 168-191.
- [215] **Kidner, M.R.F., and Hansen, C.H.** (2008). A Comparison and review of Theories of the Acoustics of Porous Materials. *AVCG School of Mechanical Engineering the University of Adelaide*. June 24. S. Australia.
- [216] **Kuroda, K.** (2006). International Development and Standardisation of Environmental Information Indices of Materials. *Proc. 7th International Conference on EcoBalance 2006*, 14-16 November, Tsukuba, Japan.
- [217] **Özgüven, H.N.** (2008). *Gürültü Kontrolü*. Ankara: Türk Akustik Derneği Yayını . 35-196.
- [218] **Özer, M.** (1997). *Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı*. İstanbul: Arpaz Matbaacılık.
- [219] **Vincent, K.** (1997). Noise pollution robs kids of languages skills. *New Scientist*. May **10**, 5-8
- [220] **Bond, M.** (1996). Plagued by noise. *New Scientist*. November, **16**, 14-15.
- [221] **Anonim.** (2010). TC Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müd. Gürültü Kontrolü Çalışmaları. Temmuz , Ankara.

- [222] **Desarnaulds, V., Monay, G. and Carvalho, A.** (2003). Noise from amplified music played in discotheques. pubs and clubs A review of some national regulations. *Euronoise.2003*, Naples,172-178.
- [223] **Kapoor, B.S. and Singh, K.** (1995). Noise the insidious killer. *The Tribune*. Nov. 25.
- [224] **Cox, T.J. and D'Antonio P.** (2004). *Acoustic Absorbers and Diffusers*. London: SPON Pres. Taylor&Francis Group. 58-67.
- [225] **DeBenedetti, B., Maffia, L. and Rossi, S.** (2007). From Materials to Ecomaterials: Life-Cycle Environmental Approach for Insulation Products in Building Applications. *Proceedings of the 8th International Conference of Eco-Materials ICEM8* Brunel University, 9-11th July UK.
- [226] **Bhargawa, G.** (2001). *Development of India's Urban and Regional Planning in 21st Century*. New Delhi: Gian Publishing House,115-116.
- [227] **Singh, D.P. and Mahajan, C.M.** (1990). *Noise pollution: Its effect and control*. (Eds.): G.K. Nagi. M. K. Dhillon and G. S., New Delhi: Coomonwealth Publishers, 22.
- [228] **Murli, K., Murthy, K. and Vithal, P.** (1983). Noise pollution due to traffic in Vishakhapatanam. *Indian Journal of Ecology*. **10**(2), 188-193.
- [229] **Schmidt, A.C., Jensen, A.A., Clausen, A.U., Kamstrup, O. and Postlethwaite, D.** (2004). A comparative Life Cycle Assessment of building insulation products made of Stone Wool, Paperwool and Flax *International Journal of Life Cycle*, **9**(1-2).
- [230] **Everest, F.A.** (1994). *The Master Handbook of Acoustics*. 3 rd. Edition. NY: TAB Books,152.
- [231] **Cowan, J.** (2000). *Architectural Acoustics- Desing Guide*. NY: Mc Graw Hill. 25-35.
- [232] **Maekawa, Z. and Lord, P.** (1994). *Environmental and Architectural Acoustics*. London: SPON Pres. Taylor&Francis Group.11-12.
- [233] **Dimon, M.N. et al.** (2006). The Study of Normal Incidence Sound Absorbtion Coefficiencie of Wood Circular Perforated Panel Using Numerical Modelling *Technique .Research* Vot no:75**117**. UTM.2006.
- [234] **Halliwell, R.E. and Quirt, J.D.** (1991). Controlling Interoffice Sound Transmission Trough a Suspended Ceiling. *The Journal of Acoustical Society of America*, Sept.,**90**.
- [235] **Irwin, J.D. and Graf, E.R.** (1979). *Industrial Noise and Vibration Control*. Englewood Cliffs.: Prentice Hall Inc.
- [236] **Beranek, L.L.** (1971). *Noise and Vibration Control*. NY, Mc Graw Hill Book Co.
- [237] **Feustel, H.E.** (1995). *Simplified numerical description of latent storage characteristics for phase change wallboard*. Indoor Environmental Program. Tech. Rep. **LBL-36933, UC-1600**, Energy and Environment Division Lawrence Berkeley Laboratory University of California.Berkeley,CA,

- [238] **Asdrubali, F. and Horoshenkov, K.** (2002). The acoustic properties of expanded clay granulates. *Building Acoustics*. **9** (2). 85-98.
- [239] **Asdrubali, F.** (2007). Green and Sustainable Materials for Noise Control in Buildings. *19th International Congress on Acoustics*. 2-7 September. Madrid,
- [240] **Koizumi, T.** (2002). The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers and their acoustic properties. *Proc. of Internoise 2002*. Dearborn. USA. August .
- [241] **Suzana, G. et Al.** (2003). EcoDesign in Noise Control: the Benefits. Acoustical Properties and Applications of Coconut Fiber. *Proc. of Euronoise*. Naples. Italy. May.
- [242] **Baughn, W.L.** (1973). Relation Between Daily Noise Exposure and Hearing Loss Based on the Evaluation of 6835. Industrial Noise Exposure Cases. *Tech.Report*. EPA-USAF.
- [243] **Sellers, T. and Reichert, N. A.** (1999). *Kenaf Properties, Processing and Products*. Mississippi: Mississippi StateUniversity.Publisher,381-392.
- [244] **Kosny, J., Gawin, D. and Desjarlais, A.** (2001). Energy Benefits of Application of Massive Walls in Residential Buildings. *Conference-Thermal Envelopes VIII*. Clear Water. Florida.
- [245] **Jacobsen, F. and Roisin, T.** (2000). The Coherence of Reverberant Sound Fields, *The Journal of the Acoustical Society of America*, **108** (1), 204-210.
- [246] **Crocker, M.J. and Price, A.J.** (1979). *Noise and Noise Control*. Boca Raton: .CRC Pres Inc.
- [247] **Berkmen, G.** (2001). Endüstriyel Yapılarda Yangın Uygulamaları. *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi* 23-25 Mart, Eskişehir-Türkiye.
- [248] **Kosny, J., Yarbrough, D.W., Wilkes, K.E., Leuthold, D. and Syad, A.,** (2008). *PCM-Enhanced Cellulose Insulation Thermal Mass in lightweigtt Natural Fibers*,Oak Ridge National Lab. Tech.Report ORNL/TM-2007/186.
- [249] **Dimon, M.N.** (2003). *Normal Incidence Sound Transmission Coefficient Prediction Using Sound Intensity Technique*. Universiti Teknologi Malaysia: Ph.D. Thesis. 52-96.
- [250] **Maekawa, Z. and Lord, P.** (1994). *Environmental and Architectural Acoustics*. London: SPON Pres. Taylor&Francis Group. 126-130.
- [251] **Blom, F.J.** (1995). *Investigations on the sound propagation through porous materials*, MSc Thesis,University of Twente, Enschede.
- [252] **Pedersen, D.B.** (2004). Acoustic performance of building elements with organic insulation materials”. *Proc.of Internoise* Prague. Czech Republic.
- [253] **Lorenzana, M. T.** (2002). Absorbent characteristics of materials obtained from industrial wastes. *Proc. of Forum Acusticum* Sept.9.Seville, Spain.

- [254] **Asdrubali, F.** (2005). Properties of new sustainable materials for noise control. *Proc. of the 1st International Workshop on Sustainable Materials for Noise Control*. Terni. Italy. October.
- [255] **Pfretzschner, J. et Al.** (1999). Acoustic properties of rubber crumbs. *Polymer Testing*. **18**. 81-92.
- [256] **Rushforth, I.M. et Al.** (2003). Acoustic damping properties of recycled carpet waste. *Proc. of Euronoise*. Naples. Italy. May.
- [257] **Khan, A., Patel, R., Benkreira, H. and Horoshenkov, K.V.** (2006). Extrusion of recycled polymeric granulates and fibrous particles for acoustic applications. *Proc. of Euronoise 2006. Structured Session Sustainable Materials for Noise Control*. 30 May. Tampere. Finland.
- [258] **Horoshenkov, K.V. et Al.** (2005). Impact sound insulation and viscoelastic properties of underlay manufactured from recycled carpet waste. *Applied Acoustics*. **66**(6). 731-749.
- [259] **Dragonetti, R., Ianniello, C. and Romano, R.** (2006). The evaluation of intrinsic non-acoustic parameters of polyester fibrous materials by an optimization procedure. *Proc. of Euronoise 2006. Structured Session Sustainable Materials for Noise Control*. 30 May Tampere. Finland.
- [260] **Schiavi, A., Pavoni, A., Corallo, B.M. and Russo, F.** (2006). Acoustical performance characterization of sustainable materials used under floating floors in dwellings. *Proc. of Euronoise 2006. Structured Session Sustainable Materials for Noise Control*. 30 May Tampere. Finland.
- [261] **İlhan, R.** (1998). *Prefabrik konut yapımında yangına karşı alınması gereken önlemler. Ahşap malzemenin korunması*. Ankara: MPM Yayınları. Yayın No: 338.
- [262] **TÜYAK.** (1996). *Yangınlarda Korunma Yönetmeliği*. İstanbul: Türkiye Yangından Korunma ve İtfaiye Eğitim Vakfı Yayını.
- [263] **Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N.** (1997). *Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fak. Yayını
- [264] **Richardson, B.A.** (1993). *Wood Preservation*. London: SPON Pres. Taylor & Francis Group.
- [265] **Mureimk, R.J.** (1998). Flame Retardants. *Industrial Minerals*. No:364. 45-49.
- [266] **Kirschbaum, G.** (2001). Minerals on Fire, Flame Retardant Look to Mineral Solutions. *3rd Mineral in Compoundings Conference*, April 8-10.
- [267] **LeVan, S.L. and Winandy J.E.** (1990). Effects of Fire Retardant Treatments on Wood Strength. *Wood and Fiber Science* **22**(1). 113-131.
- [268] **Lebow, S.T. and Winandy J.E.** (1999). Effect of Fire Retardant Treatment on Plywood pH and the relationship of pH to Strength Properties. *Wood Science and Technology* **33**. 285-298.
- [269] **Ohlemiller, T.** (1990). Forced Smolder Propagation and the Transition to Flaming in Cellulosic Insulation. *Comb. and Flame*. **81**. 354.
- [270] **Myhren, A. and Nelson, E.** (1946). Manufacture of Zinc Borate. US Patent. No:2.405.366. **06.08**.

- [271] **Aksakal, N., Vaizoğlu, S. ve Güler, Ç.** (2005). Mobilyalardaki kimyasallar ve Sağlık etkileri. *Türk Tabipleri Birliği Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, Cilt 14(12), 268-272.
- [272] **Shete, A.V., Sawant S.B. and Pangarkar, V.G.** (2004). Kinetics of Fluid-Solid Reaction With an Insoluble Product: Zinc Borate by the Reaction of Boric Acid and Zinc Oxide. *Journal of Chemical Tech.&Biotech.* 79(5),526-532.
- [273] **Özgünle, M., Serteser, N. ve Acun, S.** (2002). “Yangın Güvenliği Açısından Taşıyıcı Sistemde Malzeme Seçimi”. *1.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildiri Kitapçığı* Cilt 1. 183.
- [274] **Ohlemiller, T.** (1985). Modeling of Smoldering Combustion Propagation. *Prog. in Energy and Comb. Science.* 11. 277.
- [275] **Kokkala, M.** (1987). Fire tests on loose-fill insulation materials. *Research reports 485*.Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- [276] **Prieto, J.J.** (2002). Fire Resistant Cellulose Insulation and Method of Production From Sugar Cane Bagasse. *US Pat. No: 2002/0150758-A1*. dated 04.15.2002.
- [277] **Hearle, J.W.S.** (2002). *High-Performance Fibres*. Boca Raton: CRC Press/Woodhead Pub., ISBN:159124644XDDC.
- [278] **Kosny, J., Yarbrough, D., Wilkes, K., Leuthold, D. and Syad, A.**, 2006. “PCM-Enhanced Cellulose Insulation –Thermal Mass in Lightweight Natural Fibers” *2006 ECOSTOCK Conference*, IEA, DOE, Richard Stockton College of New Jersey, June.
- [279] **Holmes, C.A.** (1977). Effect of Fire-Retardant Treatments on Performance Properties of Wood. *Technical Report*, Forest Products Laboratory. Madison. WI:USA .
- [280] **Ferm, D.J. and Shen, K.K.** (1994). US Borax, Study on the Permanence of Borates in Cellulosic Insulation, *Proceedings of the 10th International Conference on Thermal Insulation*.
- [281] **Ohlemiller, T., and Rogers, F.** (1980). Cellulosic Insulation Material Effect of Additives on Some Smolder Characteristics. *Comb. Sci. and Tech.*24. 139.
- [282] **Ohlemiller, T.J., Di Nenno, P.M., et al.** (1987). *Smoldering Combustion*. NY: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2nd Edition. Chap.11. Section 2. 2/171-179.
- [283] **Kauriinvaha, E., Viljanen, M., Pasila, A., Kymalainen, H-R. and Pehkonen, A.** (2001). *Bio-fiber from field to insulation of building*. Helsinki: Helsinki University of Technology. Laboratory of Structural Engineering and Building Physics. Publication No:117.
- [284] **Berkel, A.** (1972). *Ağaç Malzeme Teknolojisi. Cilt : 2*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. Yayın No: 183.
- [285] **Baysal, E.** (2002). Borlu Bileşikler ve Doğal Sepi Maddeleriyle Emprenye Edilen Sarıçam Odununun Yanma Özellikleri. *Gazi Üniversitesi*

- [286] **Fabien, C., Bourbigot, S., Le Bras, M. and Delobel, R.** (2000). Charring of Fire Retarded Ethylene Vinyl Acetate Copolymermagnesium Hydroxide / Zinc Borate Formulations, *Polym Int.* 2057-2059.
- [287] **Yalınkılıç, M.K.** (2000). Improvement of boron immobility in the borate-treated wood and composite materials. Ph.D. Thesis. Kyoto University.
- [288].**Hafızoğlu, H., Yalınkılıç, M.K., Yıldız, Ü.C., Baysal, E., Peker, H. ve Demirci, Z.** (1994). Türkiye Bor Kaynaklarının Odun Koruma (Emprenye) Endüstrisinde Değerlendirilmesi. TÜBİTAK TOAG-875 Nolu Projesi. 274.
- [289] **Browne, F.,** (1963). Theories of the combustion of wood and its control. U.S Forest Products Laboratory. Report No. 2136.
- [290] **Baysal, E.** (1994). Çeşitli borlu ve WR bileşiklerin kızılçam odununun bazı fiziksel özelliklerine etkisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bil Enst.,Yük. Lis. Tezi.
- [291] **Williams, L.H.** (1980). Potential benefits of diffusible preservatives for wood protection: An analysis with emphasis on building protection. *Proc. of First Int. Conf. On Wood Protection with Diffusible Preservatives.* 28-30 Nov. Nashville. Tennessee.
- [292] **Anonim,** (2005). Roskill Raporu, Bor Ekonomisi.Roskill Information Services LTD. ' Clampham Road London SW9 Oja, England, 145-149.
- [293] **Anonim,** (2003). Bor Raporu, *TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası.* Temmuz, İstanbul.
- [294] **Yalınkılıç, M.K., Peker, H., Demirci, Z., Baysal, E. ve Sudiyanı, Y.** (1997). Outdoor performance of some coating system of wood in Eastern Black Sea of Turkey. *XI. Dünya Ormancılık Kongresi.* Vol: 4. 46. Antalya.
- [294] **Yavuz, G.** (1997). Yangın Güvenliği Tasarımı ve Mimar. *TÜYAK Yangın Sempozyumu ve Sergisi.*4-6 Aralık. Ankara.
- [295] **Aydın, N.C.** (1998). Yangını Çelik Taşıyıcı Sistemler Üzerinde Etkisi ve Bir Uygulama Örneği.İ.T.Ü.Yüksek Lisans Tezi . istanbul.
- [296] **Eriç, M.** (1989). Yangının Malzemeye Etkisi. Birinci *Ulusal Yangın Kurultayı Bildirileri.* Ankara. ODTÜ Matbaası.
- [297] **Gross, J. et al.** (2005). NIST-NCSTAR 1-6B For Public Comment. Federal Building and Fire Safety Investigation of the WTC Disaster. Fire Resistance Tests of Floor Truss Systems. NIST. Building and Fire Research Laboratory. September.
- [298] **Berkmen, G.** (2001). Endüstriyel Yapılarda Yangın Uygulamaları, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi 23-25 Mart,* Eskişehir-Türkiye.
- [299] **Sunar, Ş.** (1981). Yangından Korunma ve Bina Yangın Güvenliği. ilkeler Çelişkiler Gerçekler. İstanbul. İ.T.Ü.Yayınları.

- [300] **Anonim**, (1994). National Research Council Canada. Results of Fire Resistance Tests on Small-Scale. Insulated and Non-Insulated. Gypsum Board Protected Wall Assemblies. Client Report A **4057.2**. July 13.
- [301] **Mark, H.F.** (1975). *Combustion of Polymers and its Retardation: Flame Retardant Polymeric Materials*. Newyork: Plenum Press.
- [302] **Giudice, C.A. and Benitez, J.C.** (2001). Zinc Borates as Flame Retardant Pigments in Chlorine-containing Coatings *Progress in Organic Coatings*. **42**(1-2).
- [303] **Nelson, L.G.** (1995). *Overview of Fire and Polymers: An Overview Fire and Polymers II: Material and Tests for Hazard Prevention*. Washington D.C.:American Chemical Society Pub..
- [304] **Horrocks, A.R. and Anand, S.C.** (2000). *Handbook of Technical Textiles*. Cambridge: CRC Press.
- [305] **URL-12**, <[http:// www.yalizbor.com.tr](http://www.yalizbor.com.tr)> alındığı tarih, 25.07.2009.
- [306] **URL-13**, <[http:// www.genper.com.tr](http://www.genper.com.tr)> alındığı tarih, 13.09.2009.
- [307] **Bentli, İ.** (2010). Kütahya-Alayunt diyatomit cevherindeki safsızlıkların hidrosiklon ve kalsinasyonla giderilmesi *Madencilik*. **49**(3). 13-21.
- [308] **URL-14**, <[http:// www.egekimya.com](http://www.egekimya.com)> alındığı tarih, 18.10.2009.
- [309] **Rudbeck, C.C. and Rode, C.** (2001). Procedure For Determining The Desing Değer of The Thermal Conductivity of Thermal Insulation Materials. SAGS Rapport. **BYG•DTU SR-01-02**. Denmark.
- [310] **Mitchell, P.H.** (1988). Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air. nitrogen. or oxygen. *Wood and Fiber Science* **20** (3). 320–355.
- [311] **Jamsa, S. and Viitaniemi, P.** (2001). Heat treatment of wood better durability without chemicals. *Proceedings of the Special Seminar. Antibes*. France. 17–22.
- [312] **Schneider, A.** (1971). Investigations on the Influence of Heat Treatment in the temperature Range 100-200°C on modulus of Elasticit. *Holz Roh-u Werkstoff*. **29**(11), 431-440.
- [313] **Voss, K.** (1952). Heat treatment of hardboards. *Holz Roh-u. Werkstoff*. **10**(8). 299-305.
- [314] **Dimon, M.N., et al.** (2006). The Study of Normal Incidence Sound Absorbtion Coefficiencie of Wood Circular Perforated Panel Using Numerical Modelling Technique, Research Vot no: **75117**, UTM.
- [315] **Everest, F.A.** (1994). *The Master Handbook of Acoustics*, NY: TAB Books, 3 rd. Edition.
- [316] **Cowan, J.** (2000). *Architectural Acoustics- Desing Guide*, NY:Mc Graw Hill.
- [317] **Maekawa, Z. and Lord, P.,** (1994). *Environmental and Architectural Acoustics*, London: SPON Pres. Taylor&Francis Group.

- [318] **Cox, T.J. and D'Antonio, P.** (2004). *Acoustic Absorbers and Diffusers*. London: SPON Pres. Taylor&Francis Group.
- [319] **Yilmazer, S.** (1998). Perlitli Akustik Plakaların Nemli Ortamlardaki Davranışları, KTÜ. Doktora Tez Çalışması.
- [320] **Anonim.** (1990). ASTM C 423, Standart Test Method for sound absorption and sound absorption coefficient by the reverberation room method, American Society for Testing and Materials.
- [321] **Allard, J.F. and Champoux, Y.** (1989). In-Situ two microphone technique for the Measurment of the acoustic surface impedance of materials, *Noise Control Engineering Journal*, **1**,15-34.
- [322] **Powell, J.G. and Houten, J.** (1970). A tone-burst technique of sound absorption measurment, *Journal Acoustics Society of America*, **48**(6), 1299-1303.
- [323] **Amadasi, G., Cerniglia, A. and Duperray, B.** (2008). Experimental Determination of Poroelastic Properties of Materials Commonly used for Noise and Vibration Control, ICSV15 6-10 July. Daejeon, Korea.
- [324] **Hagentoft, C.E.,** (2002). Steady-state heat loss for an edge insulated slab Part I., *J. Building and Environment*, **37**(1), 19-26.

EKLER

EK A.1 Ön hazırlık tesleri

Çizelge A.1 : 1 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma.ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değerleri (Kurutma ısısı 150 oC. m:5gr. Ø: 9 cm)

Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk								
Su/selüloz Oranı	0	5	15	30	45	60	Yüksüz	24 h
Yük uygulama süresine bağlı sıkışma değişimi.cm								Sonra
0/1	3.00	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.60	1.80
0.25/1	3.00	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.20	1.40
0.50/1	3.00	1.10	1.00	0.90	0.90	0.90	1.10	1.20
0.75/1	3.00	1.10	1.00	0.90	0.90	0.90	1.00	1.10
1/1	2.80	1.00	0.90	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00
1.25/1	2.80	1.00	0.90	0.80	0.70	0.70	0.80	1.00
Kurutma süresine bağlı ağırlık değişimi. gr								
0/1	5.30	5.20	5.10	5.00	4.80	4.80	4.80	5.20
0.25/1	6.20	5.60	5.20	5.00	4.90	4.90	4.90	5.20
0.50/1	7.70	6.60	5.80	5.20	4.90	4.90	4.90	5.40
0.75/1	8.60	7.60	6.60	5.10	4.90	4.90	4.90	5.50
1/1	9.90	7.90	6.90	6.00	5.20	5.10	5.10	5.40
1.25/1	11.40	9.60	8.90	6.60	5.30	5.30	5.10	5.40
Yoğunluk değişimi. kg/m ³								
0/1	27.78	68.15	72.92	78.63	75.49	75.49	47.18	45.43
0.25/1	32.50	73.39	74.35	78.63	77.06	77.06	64.22	58.41
0.50/1	40.37	94.36	91.22	90.87	85.62	85.62	70.06	70.77
0.75/1	45.08	108.66	103.80	89.12	85.62	85.62	77.06	78.63
1/1	55.61	124.24	120.57	117.95	102.23	100.26	89.12	84.93
1.25/1	64.03	150.98	155.52	129.75	119.08	119.08	100.26	84.93

Hata:±0.1

Çizelge A.2 : 1 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değerleri (Kurutma ısısı 200 °C. m:5gr. Ø: 9 cm)

Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk								
Su/selüloz Oranı	0	5	15	30	45	60	Yüksüz	24 h
	Yükseklik.cm							Sonra
0/1	3.10	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.60
0.25/1	3.00	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.30
0.50/1	3.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	1.10	1.10
0.75/1	3.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00
1/1	2.80	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00
1.25/1	2.80	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00
Kurutma süresine bağlı ağırlık değişimi. gr								
0/1	5.30	5.10	5.10	5.00	4.90	4.80	4.80	5.10
0.25/1	6.30	5.20	5.10	5.00	4.90	4.80	4.80	5.20
0.50/1	7.60	5.40	5.10	5.00	4.90	4.80	4.80	5.20
0.75/1	8.70	6.30	5.20	5.00	4.80	4.80	4.80	5.40
1/1	10.10	7.30	5.40	5.00	4.80	4.80	4.70	5.40
1.25/1	11.30	8.40	6.10	5.00	4.80	4.80	4.70	5.40
Yoğunluk değişimi. kg/m ³								
0/1	26.89	66.84	80.21	78.63	77.06	75.49	58.07	50.13
0.25/1	33.03	74.35	80.21	78.63	77.06	75.49	62.91	62.91
0.50/1	39.84	84.93	89.12	87.37	85.62	83.88	68.63	74.35
0.75/1	45.61	99.08	102.23	98.29	94.36	94.36	83.88	84.93
1/1	56.73	127.56	106.16	98.29	94.36	94.36	82.13	84.93
1.25/1	63.47	146.79	119.92	98.29	94.36	94.36	82.13	84.93

Hata: ±0.1

Çizelge A.3 : 2 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değerleri (Kurutma ısısı 100 °C . m: 5 gr . Ø: 9 cm)

Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk								
Su/katı	0	5	15	30	45	60	Yüksüz	24 h
Oranı	Yükseklik.cm							Sonra
0/1	3.00	1.10	1.00	0.90	0.80	0.80	1.10	1.60
0.25/1	3.00	1.00	0.90	0.80	0.80	0.80	1.00	1.10
0.50/1	3.00	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00
0.75/1	3.00	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90
1/1	2.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1.25/1	2.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Kurutma süresine bağlı ağırlık değişimi. gr								
0/1	5.10	5.00	5.00	4.90	4.90	4.80	4.80	5.10
0.25/1	6.20	6.00	5.70	5.60	5.60	5.30	5.30	5.20
0.50/1	7.60	7.00	5.80	5.60	5.40	5.30	5.30	5.30
0.75/1	8.65	7.60	6.50	5.60	5.40	5.30	5.30	5.30
1/1	9.80	8.20	7.40	6.10	5.30	5.30	5.30	5.30
1.25/1	11.35	9.70	8.90	7.10	6.10	5.30	5.30	5.30
Yoğunluk değişimi. kg/m ³								
0/1	26.74	71.49	78.63	85.62	96.33	94.36	68.63	50.13
0.25/1	32.50	94.36	99.60	110.09	110.09	104.19	83.35	74.35
0.50/1	39.84	122.32	114.02	110.09	106.16	104.19	83.35	83.35
0.75/1	45.35	132.81	127.78	110.09	106.16	104.19	92.61	92.61
1/1	55.04	161.20	166.26	119.92	104.19	104.19	104.19	104.19
1.25/1	63.75	190.69	199.96	159.52	137.05	119.08	119.08	119.08

Hata:± 0.1

Çizelge A.4 : 2 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı olarak sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değerleri (Kurutma ısısı 150 ° C. m: 5 gr . Ø: 9 cm)

Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk								
Su/selüloz Oranı	0	5	15	30	45	60	Yüksüz	24 h
	Yükseklik.cm							Sonra
0/1	3.10	1.10	1.00	0.90	0.80	0.80	1.20	1.80
0.25/1	3.00	1.00	0.90	0.80	0.80	0.80	1.10	1.20
0.50/1	3.00	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	1.10
0.75/1	3.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00
1/1	2.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90
1.25/1	2.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.80
Kurutma süresine bağlı ağırlık değişimi. gr								
0/1	5.10	5.00	4.90	4.90	4.90	4.90	5.10	5.10
0.25/1	6.20	6.10	5.70	4.90	4.90	4.90	4.90	5.10
0.50/1	7.60	7.00	6.00	5.20	4.90	4.80	4.80	5.10
0.75/1	8.70	7.60	6.20	5.30	5.00	4.80	4.80	5.10
1/1	10.10	9.50	8.30	6.40	5.10	4.80	4.80	5.00
1.25/1	11.30	10.30	8.70	6.60	5.30	4.90	4.80	5.00
Yoğunluk değişimi. kg/m ³								
0/1	25.87	71.49	77.06	85.62	96.33	96.33	66.84	44.56
0.25/1	32.50	95.93	99.60	96.33	96.33	96.33	70.06	66.84
0.50/1	39.84	122.32	117.95	102.23	96.33	94.36	75.49	72.92
0.75/1	45.61	149.41	121.88	104.19	98.29	94.36	83.88	80.21
1/1	56.73	186.76	186.48	125.82	100.26	94.36	94.36	87.37
1.25/1	63.47	202.48	195.46	148.28	119.08	110.09	107.84	98.29

Hata:± 0.1

Çizelge A.5 : 2 kg sabit yükte. Su/selüloz oranına göre zamana ve kurutma ısısına bağlı sıkışma. ağırlık ve yoğunluk miktarları değişim değerleri (Kurutma ısısı 200 ° C. m: 5 gr . Ø: 9 cm)

Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk								
Su/selüloz	0	5	15	30	45	60	Yük Boş.	24 h
Oranı	Yükseklik.cm						Sonra	Sonra
0/1	3.00	1.10	1.00	0.90	0.80	0.80	1.10	1.60
0.25/1	3.00	1.00	0.90	0.90	0.80	0.80	1.00	1.20
0.50/1	3.00	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00
0.75/1	3.00	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00
1/1	2.80	0.90	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80	0.90
1.25/1	2.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.80
Kurutma süresine bağlı ağırlık değişimi. gr								
0/1	5.20	5.10	5.00	4.80	4.80	4.70	4.70	5.30
0.25/1	6.40	5.30	5.10	5.00	4.90	4.80	4.80	5.60
0.50/1	7.50	6.10	5.30	5.00	4.90	4.90	4.90	5.60
0.75/1	8.65	6.20	5.30	5.00	5.00	4.90	4.90	5.60
1/1	9.95	6.50	5.30	5.00	5.00	4.90	4.90	5.50
1.25/1	11.20	7.50	5.30	5.00	5.00	4.90	4.90	5.40
Yoğunluk değişimi. kg/m ³								
0/1	27.26	72.92	78.63	83.88	94.36	92.40	67.20	52.10
0.25/1	33.55	83.35	89.12	87.37	96.33	94.36	75.49	73.39
0.50/1	39.32	106.59	104.19	98.29	96.33	96.33	77.06	88.07
0.75/1	45.35	108.34	104.19	98.29	98.29	96.33	85.62	88.07
1/1	55.89	113.58	104.19	98.29	112.34	96.33	96.33	96.11
1.25/1	62.91	147.44	119.08	112.34	112.34	110.09	110.09	106.16

Hata:± 0.1

Çizelge A.6 : 10 gr ağırlıklı numunelerin sabit yük ve kurutma ısısında elde edilen ezilme, ağırlık ve yoğunluk değişim değerleri. (Kurutma ısısı:150 °C. m:10 gr.d: 1cm, Ø:9cm. hata: ± 0.1).

Su/selüloz Oranı	Yük : 1 kg					Yük : 2 kg				
	Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk					Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk				
	0	5	15	30	24 h	0	5	15	30	24 h
	Yükseklik.cm				Sonra	Yükseklik.cm				Sonra
0.5/1	5.0	1.8	1.6	1.5	1.6	5.0	1.4	1.3	1.3	1.0
0.6/1	5.0	1.9	1.8	1.7	1.8	5.0	1.4	1.3	1.3	1.5
0.7/1	5.0	1.9	1.8	1.8	1.9	5.0	1.4	1.3	1.3	1.4
0.8/1	5.0	1.9	1.8	1.8	1.9	5.0	1.4	1.3	1.3	1.4
0.9/1	5.0	1.9	1.8	1.8	1.9	5.0	1.4	1.3	1.2	1.4
1/1	5.0	1.9	1.8	1.7	1.8	5.0	1.4	1.3	1.2	1.4
	Ağırlık. gr					Ağırlık. gr				
0.5/1	14.90	12.40	11.60	10.20	10.40	15.10	12.20	11.00	9.60	10.20
0.6/1	16.10	12.60	11.70	10.20	10.40	15.90	13.00	11.50	9.90	10.20
0.7/1	16.90	13.40	12.40	10.60	10.40	17.00	14.20	12.50	10.50	10.30
0.8/1	18.00	15.20	13.10	11.20	10.40	18.10	15.20	13.20	10.50	10.30
0.9/1	18.90	16.90	13.30	11.30	10.60	18.95	16.50	12.70	10.50	10.30
1/1	20.10	17.50	13.90	11.80	10.60	20.00	16.70	13.40	10.70	10.30
	Yoğunluk. kg/m ³					Yoğunluk. kg/m ³				
0.5/1	46.87	108.34	114.02	106.94	102.23	47.50	137.05	133.07	116.14	114.58
0.6/1	50.64	104.29	102.23	94.36	90.87	50.01	146.04	139.12	119.77	114.58
0.7/1	53.16	110.92	108.34	92.61	86.08	53.47	159.52	151.22	127.03	115.71
0.8/1	56.62	125.82	114.46	97.86	86.08	56.93	170.75	159.69	127.03	115.71
0.9/1	59.45	139.89	116.20	98.73	86.08	59.61	185.35	153.64	137.61	124.61
1/1	63.22	144.85	121.45	109.16	90.87	62.91	187.60	162.11	140.23	134.99

± 0.1

Çizelge A.7 : 15 gr ağırlıklı numunelerin sabit yük ve kurutma ısısında elde edilen ezilme, ağırlık ve yoğunluk değişim değerleri. (Kurutma ısısı:150 °C, m:15 gr, d:1.5, cm. Ø:9cm. hata: ± 0.1).

Su/selüloz Oranı	Yük : 1 kg					Yük : 2 kg				
	Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk					Yük Uygulama ve Kurutma Süresi.dk				
	0	5	15	30	24 h	0	5	15	30	24 h
	Yükseklik.cm				Sonra	Yükseklik.cm				Sonra
0.5/1	6.5	3.0	2.8	2.7	2.8	6.5	3.0	2.8	2.7	2.8
0.6/1	6.5	3.0	2.8	2.7	2.8	6.5	2.3	2.2	2.2	2.4
0.7/1	6.5	3.0	2.9	2.8	2.8	6.5	2.3	2.3	2.2	2.4
0.8/1	6.5	2.9	2.8	2.7	2.8	6.5	2.2	2.0	2.0	2.4
0.9/1	6.5	2.9	2.8	2.7	2.7	6.5	2.2	2.0	2.0	2.4
1/1	6.5	2.9	2.7	2.7	2.7	6.5	2.2	2.0	2.0	2.4
	Ağırlık. gr					Ağırlık. gr				
	0.5/1	22.45	18.70	16.30	15.20	15.40	22.44	19.10	16.50	15.20
0.6/1	23.90	20.70	18.40	16.30	16.50	24.00	21.20	18.70	16.30	16.50
0.7/1	25.40	22.30	19.80	17.40	16.50	25.40	23.10	18.90	16.90	16.50
0.8/1	27.10	24.00	21.20	18.10	16.50	27.00	24.00	21.20	18.30	16.50
0.9/1	28.45	25.70	23.20	19.10	16.60	28.50	25.60	23.20	18.90	16.60
1/1	29.90	25.90	23.60	20.10	16.60	30.00	27.20	23.60	19.40	16.60
	Yoğunluk. kg/m ³					Yoğunluk. kg/m ³				
	0.5/1	54.32	98.03	91.55	88.54	86.50	54.29	100.13	92.68	88.54
0.6/1	57.83	108.52	103.35	94.94	92.68	58.07	144.96	133.68	116.52	108.12
0.7/1	61.46	116.90	107.38	97.73	92.68	61.46	157.95	129.23	120.81	108.12
0.8/1	65.57	130.15	119.08	105.43	92.68	65.33	171.57	166.71	143.90	108.12
0.9/1	68.84	139.37	130.31	111.25	96.69	68.96	183.00	182.43	148.62	108.78
1/1	72.34	140.46	137.47	117.08	96.69	72.59	194.44	185.58	152.55	108.78

± 0.1

Çizelge A.8 : Bağlayıcı olarak Na₂SiO₃'in kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Na₂SiO₃ 1/1 mix.d:20 mm . m:23.7gr. Ø:10cm . T_{oda} °C: 16.4. T_{test} °C: 60) (hata: ±0.00018).

Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değer
1	29.2	15.6	15.5	0.09779	0.19429	1.12
2	48.7	15.6	15.5	0.04018	0.47286	2.72
3	51.2	15.8	15.7	0.03757	0.50571	2.91
4	53.1	15.9	15.7	0.07151	0.26571	1.53
5	58.8	16.4	16.2	0.06274	0.30286	1.74
10	60.1	17.4	17.2	0.06230	0.30500	1.76
15	60.1	17.9	17.7	0.06303	0.30143	1.74
20	60.2	18.5	18.3	0.06379	0.29786	1.72
25	60.4	19.2	19.0	0.06456	0.29429	1.70
30	60.2	19.6	19.4	0.06552	0.29000	1.67
35	60.4	20.3	20.1	0.06633	0.28643	1.65
40	60.3	20.5	20.3	0.06683	0.28429	1.64
45	60.1	20.9	20.7	0.06786	0.28000	1.61
50	60.2	21.3	21.1	0.06838	0.27786	1.60
55	60.5	21.6	21.4	0.06838	0.27786	1.60
60	60.3	21.9	21.8	0.03464	0.54857	3.16
70	60.4	22.5	22.3	0.07018	0.27071	1.56
80	60.6	22.9	22.8	0.03528	0.53857	3.10
90	60.4	23.3	23.1	0.07170	0.26500	1.53
100	60.2	23.5	23.4	0.03624	0.52429	3.02
110	60.3	23.9	23.7	0.07308	0.26000	1.50
120	60.5	24.0	23.9	0.03644	0.52143	3.00
140	60.4	24.4	24.2	0.07389	0.25714	1.48
160	60.3	24.6	24.4	0.07451	0.25500	1.47
180	60.1	24.7	24.6	0.03757	0.50571	2.91
200	60.2	24.8	24.7	0.03757	0.50571	2.91
220	60.3	24.9	24.7	0.07514	0.25286	1.46
240	60.4	25.0	24.8	0.07514	0.25286	1.46
260	60.4	25.0	24.9	0.03757	0.50571	2.91
280	60.3	25.1	25.0	0.03778	0.50286	2.90
300	60.3	25.1	25.0	0.03778	0.50286	2.90
λ _{ort} :				0.05234	0.40621	2.34
Stdsapma				0.01824	0.12401	0.71429
λ _{ortrej} :				0.04707	0.44107	2.54
Stdsapma _{rej} :				0.01621	0.10867	0.62595

Çizelge A.9 : Bağlayıcı olarak Dextrin'in kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Dextrin1/1 mix.d:20 mm . m:24.2gr, Ø:10cm , T_{oda} °C: 18,1T_{test} °C: 60) (hata: ±0.00018).

Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değer
1	29.7	15.6	15.5	0.09433	0.20143	1.16
2	42.8	15.6	15.5	0.04890	0.38857	2.24
3	50.1	17.1	16.9	0.08061	0.23571	1.36
4	55.3	17.3	17.1	0.07000	0.27143	1.56
5	57.8	17.6	17.4	0.06617	0.28714	1.65
10	59.3	18.4	18.2	0.06504	0.29214	1.68
15	59.8	19.1	18.9	0.06536	0.29071	1.67
20	60.1	19.7	19.5	0.06584	0.28857	1.66
25	60.2	20.3	20.1	0.06667	0.28500	1.64
30	60.1	20.7	20.5	0.06751	0.28143	1.62
35	60.2	21.1	20.9	0.06803	0.27929	1.61
40	60.3	21.4	21.2	0.06838	0.27786	1.60
45	60.2	21.7	21.5	0.06909	0.27500	1.58
50	60.1	22.1	21.9	0.07000	0.27143	1.56
55	60.1	22.4	22.3	0.03528	0.53857	3.10
60	60.2	22.7	22.5	0.07093	0.26786	1.54
70	60.5	23.0	22.9	0.03547	0.53571	3.09
80	60.9	23.4	23.2	0.07093	0.26786	1.54
90	60.3	23.7	23.6	0.03634	0.52286	3.01
100	60.1	24.0	23.8	0.07368	0.25786	1.49
110	60.0	24.3	24.2	0.03725	0.51000	2.94
120	60.2	24.5	24.3	0.07451	0.25500	1.47
140	60.2	24.8	24.6	0.07514	0.25286	1.46
160	60.0	24.9	24.8	0.03789	0.50143	2.89
180	60.1	25.2	25.0	0.07622	0.24929	1.44
200	60.1	25.4	25.3	0.03833	0.49571	2.86
220	60.2	25.6	25.4	0.07688	0.24714	1.42
240	60.1	25.6	25.4	0.07710	0.24643	1.42
260	60.0	25.6	25.5	0.03866	0.49143	2.83
280	60.0	25.6	25.5	0.03866	0.49143	2.83
300	60.1	25.6	25.5	0.03855	0.49286	2.84
λ_{ort} :				0.05719	0.37236	2.14
Stdsapma				0.01879	0.12227	0.70425
λ_{ortrej} :				0.04824	0.43054	2.48
Stdsapma _{rej} :				0.01666	0.10630	0.61226

Çizelge A.10 : Bağlayıcı olarak Arapzambkının kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değeri (Selüloz 20 gr . Arapzambk1/1 mix.d:20 mm, m:24.4 gr. Ø:10cm. $T_{oda}^{\circ}C$: 19.2. $T_{test}^{\circ}C$: 60) (hata: ± 0.00018).

Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değer
1	29.5	15.4	15.3	0.09433	0.20143	1.16
2	39.9	15.4	15.3	0.05429	0.35000	2.02
3	43.7	15.5	15.4	0.04716	0.40286	2.32
4	49.8	15.7	15.5	0.07801	0.24357	1.40
5	53.4	15.8	15.6	0.07074	0.26857	1.55
10	59.9	16.8	16.6	0.06172	0.30786	1.77
15	60.1	17.5	17.3	0.06244	0.30429	1.75
20	60.5	17.8	17.6	0.06230	0.30500	1.76
25	60.7	18.3	18.1	0.06274	0.30286	1.74
30	60.7	18.7	18.5	0.06333	0.30000	1.73
35	60.5	18.8	18.6	0.06379	0.29786	1.72
40	60.6	19.1	19.0	0.03205	0.59286	3.41
45	60.4	19.4	19.2	0.06488	0.29286	1.69
50	60.5	19.8	19.6	0.06536	0.29071	1.67
55	60.3	20.1	19.9	0.06617	0.28714	1.65
60	60.2	20.4	20.3	0.03342	0.56857	3.27
70	60.4	20.9	20.7	0.06734	0.28214	1.63
80	60.3	21.3	21.2	0.03410	0.55714	3.21
90	60.2	21.7	21.5	0.06909	0.27500	1.58
100	60.4	22.2	22.1	0.03482	0.54571	3.14
110	60.4	22.5	22.3	0.07018	0.27071	1.56
120	60.5	22.8	22.6	0.07056	0.26929	1.55
140	60.3	23.6	23.4	0.07248	0.26214	1.51
160	60.5	23.8	23.6	0.07248	0.26214	1.51
180	60.3	23.9	23.8	0.03654	0.52000	3.00
200	60.4	23.9	23.7	0.07288	0.26071	1.50
220	60.2	24.1	24.0	0.03684	0.51571	2.97
240	60.3	24.2	24.1	0.03684	0.51571	2.97
260	60.2	24.3	24.1	0.07409	0.25643	1.48
280	60.4	24.4	24.3	0.03694	0.51429	2.96
300	60.2	24.4	24.3	0.03715	0.51143	2.95
$\lambda_{ort}:$				0.05468	0.38879	2.24
Stdsapma				0.01784	0.12669	0.72974
$\lambda_{ortrej}:$				0.04626	0.44946	2.59
Stdsapma _{rej} :				0.01607	0.11146	0.64201

Çizelge A.11 : Bağlayıcı olarak OrgalPST'nin kullanıldığı selüloz elyafının zamana bağlı ölçülen ısı iletkenlik değerleri (Selüloz 20 gr . Arapzamlı1/1 mix.d:20 mm, m:24.4 gr. Ø:10cm. T_{oda} °C: 19.4. T_{test} °C: 60) (hata: ±0.00018).

Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değer
1	29.2	15.6	15.5	0.09779	0.19429	1.12
2	39.8	15.6	15.5	0.05496	0.34571	1.99
3	44.7	16.5	16.4	0.04716	0.40286	2.32
4	51.4	16.6	16.5	0.03822	0.49714	2.86
5	56.6	16.7	16.6	0.03333	0.57000	3.28
10	59.2	17.7	17.5	0.06410	0.29643	1.71
15	60.9	18.4	18.2	0.06259	0.30357	1.75
20	60.3	19.0	18.8	0.06441	0.29500	1.70
25	60.7	19.5	19.3	0.06456	0.29429	1.70
30	60.8	19.9	19.7	0.06504	0.29214	1.68
35	60.5	20.3	20.1	0.06617	0.28714	1.65
40	60.3	21.7	21.5	0.06891	0.27571	1.59
45	60.1	22.0	21.8	0.06982	0.27214	1.57
50	60.4	22.2	22.0	0.06963	0.27286	1.57
55	60.6	22.6	22.4	0.07000	0.27143	1.56
60	60.5	22.8	22.6	0.07056	0.26929	1.55
70	60.7	23.3	23.1	0.07112	0.26714	1.54
80	60.4	23.6	23.4	0.07228	0.26286	1.51
90	60.6	24.0	23.9	0.03634	0.52286	3.01
100	60.7	24.2	24.1	0.03644	0.52143	3.00
110	60.4	24.5	24.2	0.11114	0.17095	0.98
120	60.5	24.8	24.6	0.07451	0.25500	1.47
140	60.6	25.1	24.8	0.11239	0.16905	0.97
160	60.7	25.3	25.1	0.07514	0.25286	1.46
180	60.6	25.6	25.3	0.11400	0.16667	0.96
200	60.4	25.8	25.6	0.07688	0.24714	1.42
220	60.2	25.9	25.7	0.07755	0.24500	1.41
240	60.3	26.0	25.8	0.07755	0.24500	1.41
260	60.4	26.1	26.0	0.03878	0.49000	2.82
280	60.4	26.1	26.0	0.03878	0.49000	2.82
300	60.3	26.1	26.0	0.03889	0.48857	2.81
λ_{ort} :				0.07245	0.30493	1.76
Stdsapma				0.02608	0.12471	0.71835
λ_{ortrej} :				0.04850	0.42839	2.47
Stdsapma _{rej} :				0.01677	0.10588	0.60989

Çizelge A.12 : Selüloz (20 gr) + Na₂SiO₃ 1/1 mix numunenin Vermikülit içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata:± 0.5)

		Vermikülit İçeriği (gr)			
		6	7	8	9
Arka Yüzey Isısı		T°C	T°C	T°C	T°C
Yanma Süresi. (sn)	0	18.50	18.50	18.50	18.40
	30	18.50	18.50	19.00	18.40
	60	23.10	20.80	21.50	21.80
	90	31.60	28.70	31.80	30.40
	120	38.10	37.60	39.60	41.30
	150	43.50	39.90	43.00	46.00
	180	48.00	43.70	45.00	48.90
	210	50.60	49.80	49.10	51.70
	240	53.70	52.30	51.70	53.30
	270	64.30	54.70	53.80	56.60
	300	69.50	52.60	57.30	63.10
İlk Tartım. (gr)		26.2	27.1	27.9	28.9
Kalınlık.(cm)		2.0	2.1	2.1	2.1
Yanma Derinliği.(cm)		1.2	0.8	0.9	0.9
Yanma Çapı. (cm)		4.2	3.8	3.9	3.7
Son Ağırlık(gr)		22.2	23.4	22.7	23.3
Kütle Kaybı. (%)		18.32	16.90	22.49	24.35

Çizelge A.13 : Selüloz (20 gr) + Na₂SiO₃ 1/1 mix numunenin Perlit No:12 içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata: ± 0.5)

		Perlit No:12 İçeriği (gr)				
		1	2	3	5	7
Arka Yüzey Isısı		T°C	T°C	T°C	T°C	T°C
Yanma Süresi. (sn)	0	18.90	17.60	18.50	17.10	17.10
	30	18.90	17.60	18.50	17.10	17.10
	60	20.10	18.30	19.50	21.00	21.00
	90	28.80	26.00	23.50	30.70	30.70
	120	36.20	33.60	29.60	38.00	38.00
	150	42.20	39.00	34.70	44.00	44.00
	180	46.60	45.10	38.80	48.50	48.50
	210	48.60	48.20	43.10	51.70	51.70
	240	52.90	50.90	46.30	52.90	52.90
	270	54.30	54.30	48.40	59.00	59.00
	300	58.70	57.70	52.00	69.10	56.00
İlk Tartım. (gr)		21.8	23.6	24.7	28.2	30.4
Kalınlık.(cm)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Yanma Derinliği.(cm)		1.1	1.0	0.9	0.8	0.5
Yanma Çapı. (cm)		4.2	3.7	3.5	3.0	2.5
Son Ağırlık (gr)		18.1	19.3	20.4	22.7	24.9
Kütle Kaybı. (%)		21.01	22.03	21.45	24.46	22.03

Çizelge A.14 : Selüloz (20 gr) + Na₂SiO₃ 1/1 mix numunenin Perlit No:2 içeriğine bağlı arka yüzey ısısındaki değişim tablosu (Ø: 10 cm. hata:± 0.5)

		Perlit No:2 İçeriği (gr)				
		2	3	5	6	7
Arka Yüzey Isısı		T°C	T°C	T°C	T°C	T°C
Yanma Süresi. (sn)	0	18.20	18.40	19.10	18.70	19.80
	30	18.20	18.40	19.10	18.70	19.80
	60	20.50	22.30	26.80	23.30	23.50
	90	29.30	32.70	35.90	32.70	31.90
	120	36.20	39.30	41.70	40.20	40.60
	150	41.60	43.10	46.60	43.20	44.50
	180	46.00	48.60	50.70	47.40	47.50
	210	49.00	51.20	52.80	50.50	51.10
	240	52.30	53.70	57.30	54.80	56.80
	270	54.80	58.10	59.40	58.70	58.10
	300	58.30	61.70	62.10	61.80	62.20
İlk Tartım. (gr)		23.4	23.8	23.4	23.9	23.3
Kalınlık.(cm)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Yanma Derinliği.(cm)		1.1	1.3	1.4	1.5	1.5
Yanma Çapı. (cm)		3.5	4.5	3.5	3.0	4.0
Son Ağırlık (gr)		18.9	18.5	19.1	19.6	19.2
Kütle Kaybı. (%)		23.93	28.99	23.07	22.17	21.42

Çizelge A.15 : Sıkıştırılmış selüloz elyafı ve mineral katkılı sıkıştırılmış selüloz elyafının gaz geçirgenlik testi ölçüm değerleri

Numune	Giriş P psig	Giriş P psia	h cm	Q2 ml/dak	Q2 cm3/s	Qort ml/dak	Qort cm3/s	P1 atm	P1 atm	Port atm	akmazlık cp	P12-P22	k, D	k, mD	1/Port	(P12-P22)/2L	Q2*P2/A
Selüloz	1,1	15,8	1,8	63,1116	1,0540	60,8366	1,0160	1,0790	1,0039	1,0415	0,0175	0,1564	0,1465	146,4676	0,9602	0,0150	0,0938
	3,2	17,9	3,8	133,2356	2,2250	120,1635	2,0067	1,2224	1,0039	1,1132	0,0175	0,4863	0,0994	99,4471	0,8983	0,0468	0,1979
	5,8	20,5	5,9	206,8658	3,4547	172,7951	2,8857	1,3999	1,0039	1,2019	0,0175	0,9517	0,0789	78,8992	0,8320	0,0915	0,3073
	7	21,7	6,9	241,9278	4,0402	195,4232	3,2636	1,4818	1,0039	1,2429	0,0175	1,1877	0,0739	73,9345	0,8046	0,1142	0,3594
	8,8	23,5	8,3	291,0146	4,8599	224,0021	3,7408	1,6046	1,0039	1,3043	0,0175	1,5669	0,0674	67,4122	0,7667	0,1507	0,4323
6 gr	2,5	17,2	3,3	115,7046	1,9284	106,6413	1,7809	1,1746	1,0039	1,0893	0,0175	0,3718	0,1069	106,8855	0,9180	0,0295	0,1800
PerlitNo:2	3,9	18,6	4,3	150,7666	2,5128	133,1175	2,2231	1,2702	1,0039	1,1371	0,0175	0,6054	0,0855	85,5272	0,8795	0,0480	0,2345
+	6,5	21,2	6,3	220,8906	3,6815	180,9139	3,0213	1,4476	1,0039	1,2258	0,0175	1,0877	0,0697	69,7416	0,8158	0,0863	0,3436
Selüloz	9,1	23,8	8	280,4960	4,6749	214,2239	3,5775	1,6251	1,0039	1,3145	0,0175	1,6331	0,0590	58,9875	0,7607	0,1296	0,4363
	11,9	26,6	10	350,6200	5,8437	249,6322	4,1689	1,8162	1,0039	1,4101	0,0175	2,2908	0,0526	52,5638	0,7092	0,1818	0,5454
7 gr	3,5	18,2	3,7	129,7294	2,1622	115,9350	1,9361	1,2429	1,0039	1,1234	0,0175	0,5368	0,0739	73,9430	0,8902	0,0453	0,1913
Diatomit	5	19,7	5,4	189,3348	3,1556	161,8277	2,7025	1,3452	1,0039	1,1746	0,0175	0,8018	0,0722	72,2493	0,8514	0,0677	0,2792
+	7,4	22,1	7	245,4340	4,0906	196,1014	3,2749	1,5091	1,0039	1,2565	0,0175	1,2694	0,0592	59,1561	0,7959	0,1072	0,3620
Selüloz	9	23,7	8,3	291,0146	4,8502	222,8359	3,7214	1,6183	1,0039	1,3111	0,0175	1,6109	0,0553	55,2705	0,7627	0,1361	0,4292
	11,2	25,9	9,8	343,6076	5,7268	248,8558	4,1559	1,7685	1,0039	1,3862	0,0175	2,1195	0,0496	49,5999	0,7214	0,1790	0,5067

Çizelge A.16 : İYTE Laboratuvarı ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

İYTE Laboratuvarı ısı iletkenlik ölçüm değerleri	
Örnek	λ W/mK
Pencere camı, 2mm	1.41
Selüloz 10 gr, Na ₂ SiO ₃ 1/1, Yük:5 bar	0.0758
Selüloz 15 gr, Na ₂ SiO ₃ 1/1, Yük: 5 bar	0.0545
Selüloz 20 gr, Na ₂ SiO ₃ 1/1, Yük:5 bar	0.0570
Selüloz 19gr+Perlit No:2, 1 gr, Yük: 5 bar	0.0604
Selüloz 18gr+Perlit No:2, 2 gr, Yük: 5 bar	0.0497
Selüloz 17gr+Perlit No:2, 3 gr, Yük: 5bar	0.0513
Selüloz 17gr+Perlit No:12, 3 gr, Yük: 5bar	0.0731
Selüloz 16 gr+Perlit No:12, 4 gr, Yük: 5bar	0.0688
Selüloz 15 gr+Perlit No:12, 5 gr, Yük: 5 bar	0.0638
Selüloz 17 gr+Vermikülit, 5 gr, Yük: 5 bar	0.0758
Selüloz 16 gr+Vermikülit, 6 gr, Yük: 5 bar	0.0735
Selüloz 17gr+Vermikülit, 7 gr, Yük: 5 bar	0.0667
Selüloz 18 gr+Sepiolit, 4 gr, Yük: 5 bar	0.0580
Selüloz 17 gr+Sepiolit, 5 gr, Yük: 5bar	0.0702
Selüloz 16 gr+Sepiolit, 6 gr, Yük: 5bar	0.0587
Selüloz 10 gr, Na ₂ SiO ₃ 1/1, Yük:2bar	0.0473
Selüloz 15 gr, Na ₂ SiO ₃ 1/1, Yük:2bar	0.0530
Selüloz 15 gr, Na ₂ SiO ₃ 1/1, Yük:2bar	0.0689
Selüloz 17 gr+Diatomit, 5 gr, Yük 5 bar	0.0559
Selüloz 18 gr+Pomza, 3 gr, Yük 5 bar	0.0657
Selüloz 17 gr+Pomza, 5 gr, Yük 5 bar	0.594

Çizelge A.17 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune 1).

NUM1. Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix. Ø:10cm.d:20cm.m:23.4gr.p:149 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	23.7	23.5	0.07609	0.26286	1.51
140	60.4	24.0	23.9	0.03846	0.52000	3.00
160	60.3	24.2	24.0	0.07756	0.25786	1.49
180	60.1	24.4	24.2	0.07843	0.25500	1.47
200	60.2	24.5	24.4	0.03922	0.51000	2.94
220	60.3	24.6	24.5	0.03922	0.51000	2.94
240	60.4	24.7	24.5	0.07843	0.25500	1.47
260	60.4	24.7	24.6	0.03922	0.51000	2.94
280	60.3	24.8	24.7	0.03944	0.50714	2.92
300	60.3	24.8	24.7	0.03944	0.50714	2.92
λ ort				0.05455	0.40950	2.36
stdsapma				0.01886	0.12402	0.71438
λ ortrej				0.04913	0.44482	2.56
stdsapmarej				0.01692	0.10960	0.63129

Çizelge A.18 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune 2).

NUM2. Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20cm.m:23.8gr.p:151.5kg/m ³ .T _{oda} °C 18.5						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.8	23.7	0.03825	0.52286	3.01
140	60.1	24.0	23.8	0.07756	0.25786	1.49
160	60.7	24.2	24.1	0.03836	0.52143	3.00
180	60.5	24.4	24.2	0.07756	0.25786	1.49
200	60.4	24.5	24.4	0.03900	0.51286	2.95
220	60.1	24.7	24.5	0.07910	0.25286	1.46
240	60.2	24.7	24.5	0.07887	0.25357	1.46
260	60.1	24.7	24.6	0.03955	0.50571	2.91
280	60.1	24.8	24.7	0.03966	0.50429	2.90
300	60.2	24.8	24.7	0.03955	0.50571	2.91
±0.02	λ ort:			0.05475	0.40950	2.36
	stdsapma			0.01922	0.12586	0.72494
	λ ortrej			0.04941	0.44232	2.55
	stdsapmarej			0.01701	0.10898	0.62770

Çizelge A.19 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune 3).

NUM3. Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20cm.m:24.1gr.p:153.5kg/m ³ .T _{oda} °C 19.6						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.1	24.6	24.4	0.07887	0.25357	1.46
140	60.5	24.7	24.6	0.03911	0.51143	2.95
160	60.3	24.8	24.7	0.03944	0.50714	2.92
180	60.2	24.9	24.8	0.03966	0.50429	2.90
200	60.3	25.1	24.9	0.07955	0.25143	1.45
220	60.4	25.2	25.0	0.07955	0.25143	1.45
240	60.4	25.3	25.2	0.03989	0.50143	2.89
260	60.7	25.4	25.2	0.07932	0.25214	1.45
280	60.5	25.4	25.3	0.03989	0.50143	2.89
300	60.7	25.4	25.3	0.03966	0.50429	2.90
±0.02	λ ort:			0.05549	0.40386	2.33
	stdsapma			0.01946	0.12390	0.71369
	λ ortrej			0.04969	0.43982	2.53
	stdsapmarej			0.01711	0.10836	0.62417

Çizelge A.20 : Hata miktarı -sapma değeri ölçüm sonuçları (Numune4).

NUM4. Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm.d:20cm.m:24.5gr.ρ:156 kg/m ³ .T _{oda} °C 18.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.9	25.0	24.8	0.07799	0.25643	1.48
140	60.9	25.1	25.0	0.03911	0.51143	2.95
160	61.1	25.4	25.2	0.07843	0.25500	1.47
180	60.7	25.6	25.4	0.07977	0.25071	1.44
200	61.0	25.7	25.6	0.03966	0.50429	2.90
220	60.6	25.7	25.6	0.04011	0.49857	2.87
240	61.1	25.8	25.6	0.07932	0.25214	1.45
260	61.2	25.8	25.7	0.03955	0.50571	2.91
280	61.1	25.9	25.8	0.03977	0.50286	2.90
300	60.9	25.9	25.8	0.04000	0.50000	2.88
±0.02	λ ort:			0.05537	0.40371	2.33
	stdsapma			0.01920	0.12264	0.70642
	λ ortrej			0.04966	0.44018	2.54
	stdsapmarej			0.01712	0.10858	0.62543

Çizelge A.21 : Uygulanan yük miktarına bağlı ısı iletkenlik ve R-değeri değişimi.(Uygulanan yük:2bar)

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Yük:2bar.Ø:10cm.d:20mm.m:23.4gr.ρ:149 kg/m ³ .T _{oda} °C19.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	24.9	24.8	0.03911	0.51143	2.95
140	60.9	25.1	25.0	0.03911	0.51143	2.95
160	61.1	25.4	25.2	0.07843	0.25500	1.47
180	60.8	25.6	25.4	0.07955	0.25143	1.45
200	61.0	25.7	25.5	0.07932	0.25214	1.45
220	60.9	25.8	25.7	0.03989	0.50143	2.89
240	61.1	25.8	25.7	0.03966	0.50429	2.90
260	61.2	25.9	25.7	0.07932	0.25214	1.45
280	61.1	25.9	25.8	0.03977	0.50286	2.90
300	61.1	25.9	25.8	0.03977	0.50286	2.90
±0.02	λ ort			0.05539	0.40450	2.33
	stdsapma			0.01941	0.12401	0.71427
	λ ortrej			0.04963	0.44054	2.54
	stdsapmarej			0.01714	0.10877	0.62652

Çizelge A.22 : Uygulanan yük miktarına bağlı ısı iletkenlik ve R-değeri değişimi.(Uygulanan Yük:5bar)

Selüloz 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.yük:5bar. Ø:10cm.d:19mm.m:24.2gr.p:162.2 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	23.7	23.5	0.07228	0.26286	2.92
140	60.6	24.0	23.8	0.07268	0.26143	1.51
160	60.4	24.2	24.0	0.07348	0.25857	1.49
180	60.1	24.4	24.2	0.07451	0.25500	1.47
200	60.3	24.5	24.4	0.03715	0.51143	2.95
220	60.5	24.6	24.4	0.07409	0.25643	1.48
240	60.3	24.7	24.5	0.07472	0.25429	1.46
260	60.4	24.7	24.6	0.03725	0.51000	2.94
280	60.2	24.8	24.7	0.03757	0.50571	2.91
300	60.3	24.8	24.7	0.03746	0.50714	2.92
±0.02	λ ort			0.05912	0.35829	2.20
	stdsapma			0.01778	0.12274	0.72342
	λ ortrej			0.04675	0.44429	2.56
	stdsapmarej			0.01615	0.10971	0.63191

Çizelge A.23 : Uygulanan yük miktarına bağlı ısı iletkenlik ve R-değeri değişimi.(Uygulanan Yük :8bar)

Selüloz 20 gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.yük:8bar.Ø:10cm. d:19mm.m:23.8gr.p:153.5kg/m ³ .T _{oda} °C 18.5						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	24.0	23.8	0.07288	0.26071	1.50
140	60.4	24.3	24.1	0.07368	0.25786	1.49
160	60.3	24.6	24.4	0.07451	0.25500	1.47
180	60.1	24.7	24.5	0.07514	0.25286	1.46
200	60.2	24.8	24.6	0.07514	0.25286	1.46
220	60.3	24.8	24.7	0.03746	0.50714	2.92
240	60.4	24.9	24.8	0.03746	0.50714	2.92
260	60.6	25.0	24.8	0.07472	0.25429	1.46
280	60.7	25.1	25.0	0.03736	0.50857	2.93
300	60.5	25.1	25.0	0.03757	0.50571	2.91
±0.02	λ ort			0.05959	0.35621	2.05
	stdsapma			0.01808	0.12325	0.70994
	λ ortrej			0.04678	0.44393	2.56
	stdsapmarej			0.01613	0.10950	0.63069

Çizelge A.24 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değ erlerindeki değ iş im (Kalınlık:9mm, yoğunluk:158.5 kg/m³).

Selüloz 10 gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1mix.Ø:10cm.kalınlık:9 mm. m:11.2gr.ρ:158.5 kg/m ³ .T _{oda} °C:19.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değ eri
120	60.9	30.4	30.2	0.04131	0.21786	1.25
140	60.9	30.6	30.4	0.04158	0.21643	1.25
160	61.1	30.7	30.6	0.02072	0.43429	2.50
180	60.8	30.9	30.7	0.04214	0.21357	1.23
200	61.0	31.2	31.0	0.04228	0.21286	1.23
220	61.1	31.5	31.2	0.06385	0.14095	0.81
240	60.9	31.7	31.5	0.04315	0.20857	1.20
260	61.2	31.9	31.8	0.02150	0.41857	2.41
280	61.1	32.1	31.9	0.04345	0.20714	1.19
300	60.8	32.1	31.9	0.04390	0.20500	1.18
			λ ort	0.04039	0.24752	1.43
±0.01			stdsapma	0.01154	0.09201	0.52996
			λ ortrej	0.03800	0.25982	1.50
			stdsapmarej	0.01437	0.10300	0.59329

Çizelge A.25 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değ erlerindeki değ iş im (Kalınlık:14mm, yoğunluk:161.9kg/m³).

Selüloz 15gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1.mix.Ø:10cm .kalınlık:14 mm. m:17.8gr.ρ:161.9 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.2						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değ eri
120	60.9	26.0	25.8	0.05616	0.24929	1.44
140	60.9	26.4	26.2	0.05681	0.24643	1.42
160	61.1	26.6	26.5	0.02841	0.49286	2.84
180	60.8	26.8	26.6	0.05765	0.24286	1.40
200	61.0	27.1	26.9	0.05782	0.24214	1.39
220	61.1	27.2	27.0	0.05782	0.24214	1.39
240	60.9	27.2	27.1	0.02908	0.48143	2.77
260	61.2	27.3	27.1	0.05782	0.24214	1.39
280	61.1	27.3	27.2	0.02899	0.48286	2.78
300	60.8	27.3	27.2	0.02925	0.47857	2.76
			λ ort	0.04598	0.34007	1.96
±0.015			stdsapma	0.01393	0.11753	0.67696
			λ ortrej	0.03629	0.42125	2.43
			stdsapmarej	0.01570	0.13057	0.75211

Çizelge A.26 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:20mm, yoğunluk:163kg/m³).

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20mm. m:25.2 gr.ρ:163 kg/m ³ .T _{oda} °C: 18.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	24.0	23.9	0.03836	0.52143	3.00
140	60.6	24.3	24.2	0.03857	0.51857	2.99
160	60.8	24.6	24.5	0.03867	0.51714	2.98
180	60.7	24.7	24.6	0.03889	0.51429	2.96
200	60.5	24.8	24.6	0.07843	0.25500	1.47
220	60.4	24.9	24.7	0.07887	0.25357	1.46
240	60.5	24.9	24.8	0.03933	0.50857	2.93
260	60.4	25.0	24.9	0.03955	0.50571	2.91
280	60.6	25.1	24.9	0.07887	0.25357	1.46
300	60.4	25.1	25.0	0.03966	0.50429	2.90
±0.02	λ ort			0.05092	0.43521	2.51
	stdsapma			0.01821	0.11872	0.68380
	λ ortrej			0.04935	0.44304	2.55
	stdsapmarej			0.02017	0.14251	0.82087

Çizelge A.27 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim (Kalınlık:28mm, yoğunluk:167.1kg/m³).

Selüloz 30gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:28mm. m:34.7gr.ρ:167.1 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.6						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	22.9	22.8	0.05185	0.54000	3.11
140	60.6	23.1	23.0	0.05227	0.53571	3.09
160	60.5	23.3	23.2	0.05269	0.53143	3.06
180	60.7	23.4	23.3	0.05255	0.53286	3.07
200	60.6	23.5	23.4	0.05283	0.53000	3.05
220	60.5	23.6	23.5	0.05312	0.52714	3.04
240	60.4	23.8	23.7	0.05355	0.52286	3.01
260	60.5	23.8	23.7	0.05341	0.52429	3.02
280	60.3	23.9	23.8	0.05385	0.52000	3.00
300	60.4	23.9	23.8	0.05370	0.52143	3.00
±0.001	λ ort			0.05298	0.52857	3.04
	stdsapma			0.00062	0.00623	0.03587
	λ ortrej			0.05363	0.52214	3.01
	stdsapmarej			0.01577	0.15614	0.89936

Çizelge A.28 : Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğa bağlı ısı iletkenlik değ erlerindeki değ iş im (Kalınlık:36mm, yoğunluk:176.2kg/m³).

Selüloz 40gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:36mm. m:45.6 gr.p:176.2 kg/m ³ .T _{oda} °C: 18.8						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değ eri
120	60.3	16.4	16.2	0.10205	0.31357	1.81
140	60.6	16.5	16.4	0.05079	0.63000	3.63
160	60.8	16.7	16.6	0.05079	0.63000	3.63
180	60.5	16.9	16.8	0.05138	0.62286	3.59
200	60.4	17.0	16.9	0.05161	0.62000	3.57
220	60.7	17.1	17.0	0.05138	0.62286	3.59
240	60.2	17.3	17.2	0.05221	0.61286	3.53
260	60.4	17.4	17.3	0.05209	0.61429	3.54
280	60.3	17.5	17.4	0.05234	0.61143	3.52
300	60.1	17.5	17.4	0.05258	0.60857	3.51
				λ ort	0.05672	0.58864
±0.015				stdsapma	0.01512	0.09196
				λ ortrej	0.05231	0.61179
				stdsapmarej	0.01127	0.15715
						0.90520

Çizelge A.29 : 30 °C test sıcaklığına bağı lı ısı iletkenlik değ erlerindeki değ iş im.

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:24.4 gr. p:160.5 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.2						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değ eri
120	30.3	13.9	13.7	0.16220	0.11714	0.67
140	30.4	14.1	14.0	0.08160	0.23286	1.34
160	30.6	14.3	14.2	0.08160	0.23286	1.34
180	30.4	14.5	14.3	0.16730	0.11357	0.65
200	30.5	14.6	14.5	0.08365	0.22714	1.31
220	30.7	14.7	14.6	0.08312	0.22857	1.32
240	30.6	14.8	14.7	0.08418	0.22571	1.30
260	30.8	14.8	14.7	0.08313	0.22857	1.32
280	30.5	14.9	14.8	0.08526	0.22286	1.28
300	30.7	14.9	14.8	0.08418	0.22571	1.30
				λ ort	0.09962	0.20550
±0.03				stdsapma	0.03260	0.04517
				λ ortrej	0.08418	0.22571
				stdsapmarej	0.00075	0.00202
						0.01164

Çizelge A.30 : 40 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim.

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20 mm. m:24.1gr. ρ:153.5 kg/m ³ .T _{oda} °C21.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	40.4	16.8	16.6	0.11864	0.16857	0.97
140	40.2	16.9	16.8	0.06009	0.33286	1.92
160	40.5	16.9	16.8	0.05932	0.33714	1.94
180	40.3	17.1	16.9	0.12069	0.16571	0.95
200	40.6	17.3	17.2	0.06009	0.33286	1.92
220	40.3	17.6	17.4	0.12335	0.16214	0.93
240	40.4	17.8	17.7	0.06195	0.32286	1.86
260	40.5	18.0	17.9	0.06222	0.32143	1.85
280	40.2	18.1	18.0	0.06335	0.31571	1.82
300	40.3	18.1	18.0	0.06306	0.31714	1.83
±0.03	λ ort			0.07928	0.27764	1.60
	stdsapma			0.02729	0.07374	0.42473
	λ ortrej			0.06265	0.31929	1.84
	stdsapmarej			0.00058	0.00295	0.01696

Çizelge A.31 : 50 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim.

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20 mm. m:24.9 gr. ρ:158.5 kg/m ³ .T _{oda} °C 21.2						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	50.3	23.3	23.1	0.10370	0.19286	1.11
140	50.5	23.4	23.3	0.05166	0.38714	2.23
160	50.4	23.5	23.3	0.10409	0.19214	1.11
180	50.3	23.6	23.5	0.05243	0.38143	2.20
200	50.4	23.7	23.5	0.10487	0.19071	1.10
220	50.2	23.7	23.6	0.05283	0.37857	2.18
240	50.4	23.8	23.7	0.05263	0.38000	2.19
260	50.5	23.9	23.8	0.05263	0.38000	2.19
280	50.6	23.9	23.8	0.05243	0.38143	2.20
300	50.4	23.9	23.8	0.05283	0.37857	2.18
±0.025	λ ort			0.06801	0.32429	1.87
	stdsapma			0.02371	0.08669	0.49936
	λ ortrej			0.05263	0.38000	2.19
	stdsapmarej			0.00014	0.00101	0.00582

Çizelge A.32 : 60 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim.

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20 mm. m:23.9 gr. ρ:152.2 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	23.7	23.5	0.07609	0.26286	1.51
140	60.6	24.0	23.9	0.03825	0.52286	3.01
160	60.3	24.2	24.0	0.07756	0.25786	1.49
180	60.1	24.4	24.2	0.07843	0.25500	1.47
200	60.4	24.5	24.4	0.03900	0.51286	2.95
220	60.5	24.6	24.5	0.03900	0.51286	2.95
240	60.3	24.6	24.5	0.03922	0.51000	2.94
260	60.6	24.7	24.6	0.03900	0.51286	2.95
280	60.4	24.8	24.6	0.07865	0.25429	1.46
300	60.1	24.8	24.7	0.03966	0.50429	2.90
±0.02	λ ort			0.05449	0.41057	2.36
	stdsapma			0.01895	0.12507	0.72042
	λ ortrej			0.04913	0.44536	2.57
	stdsapmarej			0.01705	0.11036	0.63566

Çizelge A.33 : 70 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim.

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20 mm. m:24.6 gr. ρ:156.6 kg/m ³ .T _{oda} °C 21.2						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	70.1	26.0	25.8	0.06349	0.31500	1.81
140	70.2	26.4	26.2	0.06393	0.31286	1.80
160	70.1	26.6	26.5	0.03218	0.62143	3.58
180	70.4	26.8	26.6	0.06422	0.31143	1.79
200	70.5	27.1	26.9	0.06452	0.31000	1.79
220	70.2	27.2	27.0	0.06512	0.30714	1.77
240	70.4	27.2	27.1	0.03241	0.61714	3.55
260	70.3	27.3	27.1	0.06512	0.30714	1.77
280	70.1	27.3	27.2	0.03271	0.61143	3.52
300	70.4	27.3	27.2	0.03248	0.61571	3.55
±0.015	λ ort			0.05162	0.43293	2.49
	stdsapma			0.01566	0.14986	0.86320
	λ ortrej			0.04068	0.53786	3.10
	stdsapmarej			0.01411	0.13322	0.76734

Çizelge A.34 : 80 °C test sıcaklığına bağlı ısı iletkenlik değerlerindeki değişim.

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:23.8 gr.p:159.7 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.5						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	80.9	30.4	30.2	0.05267	0.36071	2.08
140	81.1	30.6	30.5	0.02634	0.72143	4.16
160	80.8	30.7	30.6	0.02655	0.71571	4.12
180	80.7	30.9	30.7	0.05341	0.35571	2.05
200	80.5	31.2	31.0	0.05396	0.35214	2.03
220	80.6	31.5	31.2	0.08126	0.23381	1.35
240	80.7	31.6	31.5	0.02709	0.70143	4.04
260	80.4	31.9	31.8	0.02742	0.69286	3.99
280	80.3	32.1	31.9	0.05519	0.34429	1.98
300	80.5	32.1	31.9	0.05496	0.34571	1.99
±0.02	λ ort			0.04588	0.48238	2.78
	stdsapma			0.01743	0.18741	1.07947
	λ ortrej			0.04116	0.52107	3.00
	stdsapmarej			0.01391	0.17610	1.01433

Çizelge A.35 : 1gr, No:2 Perlit içelikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Perlit 1gr+Selüloz 19gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:24.4gr.p:160.5 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	25.9	25.7	0.07688	0.24714	1.42
140	60.7	26.1	26.0	0.03844	0.49429	2.85
160	60.6	26.3	26.1	0.07755	0.24500	1.41
180	60.4	26.5	26.4	0.03923	0.48429	2.79
200	60.9	26.6	26.5	0.03878	0.49000	2.82
220	60.7	26.7	26.5	0.07824	0.24286	1.40
240	60.6	26.8	26.7	0.03935	0.48286	2.78
260	60.8	26.8	26.7	0.03912	0.48571	2.80
280	60.6	26.9	26.8	0.03947	0.48143	2.77
300	60.4	26.9	26.8	0.03970	0.47857	2.76
±0.02	λ ort			0.05067	0.41321	2.38
	stdsapma			0.01760	0.11020	0.63477
	λ ortrej			0.03941	0.48214	2.78
	stdsapmarej			0.00021	0.00258	0.01483

Çizelge A.36 : 2gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 2gr+Selüloz 18gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:23.7gr.p:158.9 kg/m ³ .T _{oda} °C19.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.3	24.6	24.4	0.07451	0.25500	1.47
140	60.5	24.7	24.5	0.07430	0.25571	1.47
160	60.6	24.8	24.7	0.03715	0.51143	2.95
180	60.4	24.9	24.8	0.03746	0.50714	2.92
200	60.5	25.1	24.9	0.07514	0.25286	1.46
220	60.7	25.2	25.1	0.03746	0.50714	2.92
240	60.4	25.3	25.2	0.03789	0.50143	2.89
260	60.3	25.4	25.3	0.03811	0.49857	2.87
280	60.5	25.5	25.4	0.03800	0.50000	2.88
300	60.4	25.5	25.4	0.03811	0.49857	2.87
±0.015	λ ort			0.04881	0.42879	2.47
	stdsapma			0.01692	0.11415	0.65751
	λ ortrej			0.03803	0.49964	2.88
	stdsapmarej			0.00009	0.00118	0.00682

Çizelge A.37 : 3gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 3gr+Selüloz 17gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:24.7gr. p:165.6 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	24.4	24.2	0.07328	0.25929	1.49
140	60.4	24.7	24.6	0.03725	0.51000	2.94
160	60.3	24.8	24.7	0.03746	0.50714	2.92
180	60.5	24.9	24.7	0.07472	0.25429	1.46
200	60.4	25.0	24.9	0.03757	0.50571	2.91
220	60.5	25.1	24.9	0.07514	0.25286	1.46
240	60.3	25.2	25.1	0.03789	0.50143	2.89
260	60.7	25.3	25.2	0.03757	0.50571	2.91
280	60.4	25.3	25.2	0.03789	0.50143	2.89
300	60.5	25.3	25.2	0.03778	0.50286	2.90
±0.015	λ ort			0.04866	0.43007	2.48
	stdsapma			0.01685	0.11434	0.65857
	λ ortrej			0.03778	0.50286	2.90
	stdsapmarej			0.00013	0.00175	0.01008

Çizelge A.38 : 4gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Perlit 4gr+Selüloz 16gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:24.4gr.ρ:163.5 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.3	23.1	0.07170	0.26500	1.53
140	60.5	23.4	23.3	0.03585	0.53000	3.05
160	60.4	23.5	23.3	0.07209	0.26357	1.52
180	60.5	23.6	23.5	0.03604	0.52714	3.04
200	60.4	23.7	23.6	0.03624	0.52429	3.02
220	60.5	23.8	23.6	0.07248	0.26214	1.51
240	60.5	23.8	23.7	0.03624	0.52429	3.02
260	60.4	23.9	23.8	0.03644	0.52143	3.00
280	60.5	23.9	23.8	0.03634	0.52286	3.01
300	60.4	23.9	23.8	0.03644	0.52143	3.00
±0.015	λ ort			0.04699	0.44621	2.57
	stdsapma			0.01644	0.11959	0.68886
	λ ortrej			0.03636	0.52250	3.01
	stdsapmarej			0.00008	0.00118	0.00682

Çizelge A.39 : 5gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Perlit 5gr+Selüloz 15gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:18 mm. m:23.3gr. ρ:164.8 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.5						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	23.8	23.6	0.06866	0.26214	1.51
140	60.4	24.1	24.0	0.03471	0.51857	2.99
160	60.7	24.3	24.2	0.03462	0.52000	3.00
180	60.5	24.4	24.2	0.06981	0.25786	1.49
200	60.4	24.5	24.4	0.03510	0.51286	2.95
220	60.5	24.7	24.5	0.07039	0.25571	1.47
240	60.7	24.7	24.6	0.03500	0.51429	2.96
260	60.6	24.8	24.7	0.03520	0.51143	2.95
280	60.5	24.8	24.7	0.03529	0.51000	2.94
300	60.5	24.8	24.7	0.03529	0.51000	2.94
±0.015	λ ort			0.04541	0.43729	2.52
	stdsapma			0.01586	0.11705	0.67419
	λ ortrej			0.03520	0.51143	2.95
	stdsapmarej			0.00012	0.00175	0.01008

Çizelge A.40 : 6gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 6gr+Selüloz 14gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:18 mm. m:23.4gr.p:165.6 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.8						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.3	22.7	22.5	0.06702	0.26857	1.55
140	60.4	22.9	22.8	0.03360	0.53571	3.09
160	60.6	23.2	23.1	0.03369	0.53429	3.08
180	60.5	23.4	23.2	0.06792	0.26500	1.53
200	60.4	23.7	23.6	0.03433	0.52429	3.02
220	60.5	23.9	23.7	0.06885	0.26143	1.51
240	60.4	24.2	24.1	0.03481	0.51714	2.98
260	60.6	24.3	24.2	0.03471	0.51857	2.99
280	60.4	24.4	24.3	0.03500	0.51429	2.96
300	60.2	24.4	24.3	0.03520	0.51143	2.95
±0.015	λ ort			0.04451	0.44507	2.56
	stdsapma			0.01534	0.11813	0.68042
	λ ortrej			0.03493	0.51536	2.97
	stdsapmarej			0.00019	0.00274	0.01580

Çizelge A.41 : 7gr, No:2 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 7gr+Selüloz 13gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:24.6gr.p:164.9 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.6						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	23.7	23.6	0.03595	0.52857	3.04
140	60.4	24.0	23.9	0.03654	0.52000	3.00
160	60.7	24.2	24.0	0.07288	0.26071	1.50
180	60.5	24.4	24.2	0.07368	0.25786	1.49
200	60.4	24.5	24.4	0.03705	0.51286	2.95
220	60.5	24.6	24.4	0.07409	0.25643	1.48
240	60.7	24.6	24.5	0.03684	0.51571	2.97
260	60.7	24.7	24.6	0.03694	0.51429	2.96
280	60.4	24.8	24.7	0.03736	0.50857	2.93
300	60.5	24.8	24.7	0.03725	0.51000	2.94
±0.015	λ ort			0.04786	0.43850	2.53
	stdsapma			0.01683	0.11807	0.68007
	λ ortrej			0.03710	0.51214	2.95
	stdsapmarej			0.00021	0.00295	0.01696

Çizelge A.42 : 1gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 1gr+Selüloz 19gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix. Ø:10cm.d:20 mm. m:25.4gr.ρ:161.7 kg/m ³ .T _{oda} °C 21.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.2	22.8	22.6	0.07487	0.26714	1.54
140	60.5	22.9	22.8	0.03723	0.53714	3.09
160	60.5	23.2	23.1	0.03753	0.53286	3.07
180	60.3	23.5	23.3	0.07609	0.26286	1.51
200	60.4	23.7	23.5	0.07629	0.26214	1.51
220	60.1	23.9	23.7	0.07735	0.25857	1.49
240	60.5	24.2	24.1	0.03857	0.51857	2.99
260	60.1	24.3	24.2	0.03911	0.51143	2.95
280	60.2	24.4	24.3	0.03911	0.51143	2.95
300	60.3	24.4	24.3	0.03900	0.51286	2.95
±0.02	λ ort			0.05351	0.41750	2.40
	stdsapma			0.01850	0.12669	0.72971
	λ ortrej			0.03894	0.51357	2.96
	stdsapmarej			0.00022	0.00295	0.01696

Çizelge A.43 : 2gr, No:12 Perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 2gr+Selüloz 18gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:24.4gr.ρ:163.5kg/m ³ .T _{oda} °C 20.5						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	25.1	25.0	0.03768	0.50429	2.90
140	60.5	25.3	25.2	0.03778	0.50286	2.90
160	60.7	25.6	25.4	0.07578	0.25071	1.44
180	60.4	25.8	25.6	0.07688	0.24714	1.42
200	60.5	25.8	25.7	0.03833	0.49571	2.86
220	60.3	25.9	25.7	0.07733	0.24571	1.42
240	60.2	26.0	25.9	0.03889	0.48857	2.81
260	60.1	26.0	25.9	0.03900	0.48714	2.81
280	60.2	26.1	26.0	0.03900	0.48714	2.81
300	60.1	26.1	26.0	0.03912	0.48571	2.80
±0.02	λ ort			0.04998	0.41950	2.42
	stdsapma			0.01748	0.11254	0.64822
	λ ortrej			0.03900	0.48714	2.81
	stdsapmarej			0.00008	0.00101	0.00582

Çizelge A.44 : 3gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 3gr+Selüloz 17gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19.5 mm. m:24.4gr.p:159.3 kg/m ³ .T _{oda} °C19.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	24.9	24.8	0.03845	0.50714	2.92
140	60.5	25.0	24.9	0.03845	0.50714	2.92
160	60.8	25.1	25.0	0.03824	0.51000	2.94
180	60.3	25.3	25.1	0.07800	0.25000	1.44
200	60.5	25.4	25.2	0.07778	0.25071	1.44
220	60.7	25.5	25.3	0.07756	0.25143	1.45
240	60.3	25.6	25.5	0.03934	0.49571	2.86
260	60.4	25.6	25.5	0.03922	0.49714	2.86
280	60.6	25.7	25.6	0.03911	0.49857	2.87
300	60.8	25.7	25.6	0.03889	0.50143	2.89
±0.02	λ ort			0.05050	0.42693	2.46
	stdsapma			0.01786	0.11544	0.66495
	λ ortrej			0.03914	0.49821	2.87
	stdsapmarej			0.00017	0.00211	0.01217

Çizelge A.45 : 4gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 4gr+Selüloz 16gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:18 mm. m:23.6gr.p:167 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.2	23.0	0.06774	0.26571	1.53
140	60.5	23.3	23.2	0.03387	0.53143	3.06
160	60.3	23.4	23.2	0.06829	0.26357	1.52
180	60.6	23.5	23.4	0.03396	0.53000	3.05
200	60.5	23.6	23.4	0.06829	0.26357	1.52
220	60.5	23.7	23.5	0.06848	0.26286	1.51
240	60.7	23.7	23.6	0.03405	0.52857	3.04
260	60.4	23.7	23.6	0.03433	0.52429	3.02
280	60.5	23.8	23.7	0.03433	0.52429	3.02
300	60.6	23.8	23.7	0.03424	0.52571	3.03
±0.015	λ ort			0.04776	0.42200	2.43
	stdsapma			0.01669	0.12908	0.74353
	λ ortrej			0.03424	0.52571	3.03
	stdsapmarej			0.00011	0.00175	0.01008

Çizelge A.46 : 5gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 5gr+Selüloz 15gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:18 mm. m:23.7gr.ρ:167.7 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.3	22.6	22.5	0.03342	0.53857	3.10
140	60.5	22.7	22.6	0.03333	0.54000	3.11
160	60.7	23.0	22.8	0.06684	0.26929	1.55
180	60.8	23.3	23.1	0.06720	0.26786	1.54
200	60.4	23.5	23.4	0.03415	0.52714	3.04
220	60.9	23.8	23.6	0.06792	0.26500	1.53
240	60.7	24.0	23.9	0.03433	0.52429	3.02
260	60.6	24.1	24.0	0.03452	0.52143	3.00
280	60.3	24.2	24.1	0.03490	0.51571	2.97
300	60.5	24.2	24.1	0.03471	0.51857	2.99
±0.015	λ ort			0.04413	0.44879	2.59
	stdsapma			0.01519	0.11899	0.68537
	λ ortrej			0.03462	0.52000	3.00
	stdsapmarej			0.00021	0.00319	0.01840

Çizelge A.47 : 6gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Perlit 6gr+Selüloz 14gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:18 mm. m:23.4gr.ρ:165.6 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.2						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	24.4	24.3	0.03490	0.51571	2.97
140	60.3	24.6	24.4	0.07059	0.25500	1.47
160	60.7	24.7	24.6	0.03500	0.51429	2.96
180	60.8	24.8	24.7	0.03500	0.51429	2.96
200	60.6	24.9	24.8	0.03529	0.51000	2.94
220	60.5	25.1	24.9	0.07119	0.25286	1.46
240	60.7	25.2	25.1	0.03549	0.50714	2.92
260	60.4	25.3	25.2	0.03590	0.50143	2.89
280	60.5	25.3	25.2	0.03580	0.50286	2.90
300	60.6	25.4	25.3	0.03580	0.50286	2.90
±0.015	λ ort			0.04250	0.45764	2.64
	stdsapma			0.01420	0.10197	0.58737
	λ ortrej			0.03575	0.50357	2.90
	stdsapmarej			0.00015	0.00214	0.01234

Çizelge A.48 : 7gr, No:12 perlit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Perlit 7gr+Selüloz 13gr Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19.5 mm. m:25.7gr.p:167.8 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.7	23.6	0.03719	0.52429	3.02
140	60.3	24.0	23.9	0.03760	0.51857	2.99
160	60.6	24.2	24.0	0.07500	0.26000	1.50
180	60.3	24.4	24.2	0.07604	0.25643	1.48
200	60.4	24.5	24.4	0.03802	0.51286	2.95
220	60.2	24.6	24.5	0.03834	0.50857	2.93
240	60.5	24.7	24.6	0.03813	0.51143	2.95
260	60.4	24.7	24.6	0.03824	0.51000	2.94
280	60.2	24.8	24.7	0.03856	0.50571	2.91
300	60.3	24.8	24.7	0.03845	0.50714	2.92
±0.015	λ ort			0.04556	0.46150	2.66
	stdsapma			0.01499	0.10178	0.58625
	λ ortrej			0.03834	0.50857	2.93
	stdsapmarej			0.00017	0.00226	0.01301

Çizelge A.49 : 5gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Vermikülit 5gr+Selüloz17gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:26.3gr.p:176.3 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.1						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.1	24.5	24.4	0.03736	0.50857	2.93
140	60.3	24.8	24.6	0.07493	0.25357	1.46
160	60.5	24.9	24.8	0.03736	0.50857	2.93
180	60.5	25.2	25.0	0.07535	0.25214	1.45
200	60.4	25.4	25.3	0.03800	0.50000	2.88
220	60.5	25.6	25.4	0.07622	0.24929	1.44
240	60.7	25.7	25.5	0.07600	0.25000	1.44
260	60.2	25.8	25.7	0.03866	0.49143	2.83
280	60.4	25.9	25.8	0.03855	0.49286	2.84
300	60.5	25.9	25.8	0.03844	0.49429	2.85
±0.02	λ ort			0.05309	0.40007	2.30
	stdsapma			0.01841	0.12164	0.70065
	λ ortrej			0.04791	0.43214	2.49
	stdsapmarej			0.01622	0.10517	0.60575

Çizelge A.50 : 6gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Vermikülit 6gr+Selüloz16gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19 mm. m:25.7gr.ρ:172.3kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.5	24.0	23.8	0.07288	0.26071	1.50
140	60.2	24.2	24.0	0.07389	0.25714	1.48
160	60.3	24.4	24.2	0.07409	0.25643	1.48
180	60.5	24.6	24.5	0.03705	0.51286	2.95
200	60.4	24.7	24.6	0.03725	0.51000	2.94
220	60.5	24.8	24.7	0.03725	0.51000	2.94
240	60.2	24.9	24.8	0.03768	0.50429	2.90
260	60.4	25.0	24.8	0.07514	0.25286	1.46
280	60.6	25.1	25.0	0.03746	0.50714	2.92
300	60.4	25.1	25.0	0.03768	0.50429	2.90
±0.02	λ ort			0.05204	0.40757	2.35
	stdsapma			0.01794	0.12315	0.70936
	λ ortrej			0.04699	0.44214	2.55
	stdsapmarej			0.01625	0.10929	0.62951

Çizelge A.51 : 7gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Vermikülit 7gr+Selüloz15gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix. Ø:10cm.d:18 mm. m:24.5gr.ρ:173.3 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	22.8	22.6	0.06649	0.27071	1.56
140	60.4	22.9	22.8	0.03360	0.53571	3.09
160	60.7	23.2	23.1	0.03360	0.53571	3.09
180	60.5	23.5	23.4	0.03405	0.52857	3.04
200	60.4	23.7	23.5	0.06866	0.26214	1.51
220	60.5	23.9	23.7	0.06885	0.26143	1.51
240	60.3	24.1	24.0	0.03481	0.51714	2.98
260	60.2	24.3	24.1	0.07019	0.25643	1.48
280	60.4	24.4	24.3	0.03500	0.51429	2.96
300	60.5	24.4	24.3	0.03490	0.51571	2.97
±0.015	λ ort			0.04802	0.41979	2.42
	stdsapma			0.01679	0.12851	0.74024
	λ ortrej			0.04373	0.45089	2.60
	stdsapmarej			0.01528	0.11228	0.64672

Çizelge A.52 : 8gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Vermikülit 8gr+Selüloz14gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:17 mm. m:23.4gr.ρ:175.3 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	23.9	23.8	0.03234	0.52571	3.03
140	60.6	24.0	23.9	0.03251	0.52286	3.01
160	60.4	24.2	24.0	0.06575	0.25857	1.49
180	60.3	24.4	24.3	0.03315	0.51286	2.95
200	60.4	24.6	24.4	0.06648	0.25571	1.47
220	60.7	24.8	24.6	0.06630	0.25643	1.48
240	60.5	24.9	24.8	0.03343	0.50857	2.93
260	60.4	25.0	24.9	0.03362	0.50571	2.91
280	60.3	25.1	25.0	0.03381	0.50286	2.90
300	60.6	25.1	25.0	0.03352	0.50714	2.92
±0.015	λ ort			0.04309	0.43564	2.51
	stdsapma			0.01512	0.11721	0.67514
	λ ortrej			0.03359	0.50607	2.91
	stdsapmarej			0.00014	0.00211	0.01217

Çizelge A.53 : 9gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Vermikülit 9gr+Selüloz13gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:17 mm. m:23.6gr.ρ:176.8 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.1						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.1	23.8	23.6	0.06556	0.27454	1.58
140	60.4	24.1	23.9	0.06556	0.27454	1.58
160	60.5	24.3	24.2	0.03287	0.54756	3.15
180	60.2	24.4	24.3	0.03324	0.54151	3.12
200	60.1	24.5	24.3	0.06685	0.26924	1.55
220	60.3	24.7	24.5	0.06685	0.26924	1.55
240	60.4	24.7	24.6	0.03333	0.54000	3.11
260	60.2	24.7	24.6	0.03352	0.53697	3.09
280	60.1	24.8	24.7	0.03371	0.53395	3.08
300	60.4	24.8	24.7	0.03343	0.53849	3.10
±0.015	λ ort			0.04649	0.43261	2.49
	stdsapma			0.01610	0.13127	0.75614
	λ ortrej			0.03350	0.53735	3.10
	stdsapmarej			0.00014	0.00224	0.01289

Çizelge A.54 : 10gr, Vermikülit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Vermikülit 10gr+Selüloz13gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm.d:17 mm. m:23.8gr.ρ:178.3 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.3						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.7	24.1	24.0	0.03251	0.52286	3.01
140	60.4	24.3	24.1	0.06593	0.25786	1.49
160	60.7	24.5	24.4	0.03287	0.51714	2.98
180	60.5	24.6	24.5	0.03315	0.51286	2.95
200	60.4	24.7	24.6	0.03333	0.51000	2.94
220	60.5	25.0	24.8	0.06704	0.25357	1.46
240	60.3	25.2	25.0	0.06781	0.25071	1.44
260	60.7	25.4	25.3	0.03371	0.50429	2.90
280	60.4	25.5	25.4	0.03410	0.49857	2.87
300	60.5	25.5	25.4	0.04000	0.42500	2.45
±0.015	λ ort			0.04405	0.42529	2.45
	stdsapma			0.01512	0.11507	0.66280
	λ ortrej			0.04390	0.41964	2.42
	stdsapmarej			0.01402	0.10242	0.58994

Çizelge A.55 : 3gr, Pomza içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Pomza 3gr+Selüloz18gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:19.5 mm. m:25.6gr.ρ:167.2 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.7	23.6	0.03719	0.52429	3.02
140	60.6	24.0	23.9	0.03730	0.52286	3.01
160	60.5	24.2	24.0	0.07521	0.25929	1.49
180	60.7	24.4	24.2	0.07521	0.25929	1.49
200	60.6	24.5	24.4	0.03781	0.51571	2.97
220	60.2	24.6	24.5	0.03834	0.50857	2.93
240	60.4	24.6	24.5	0.03813	0.51143	2.95
260	60.5	24.7	24.6	0.03813	0.51143	2.95
280	60.4	24.8	24.7	0.03834	0.50857	2.93
300	60.4	24.8	24.7	0.03834	0.50857	2.93
±0.015	λ ort			0.04540	0.46300	2.67
	stdsapma			0.01491	0.10200	0.58751
	λ ortrej			0.03824	0.51000	2.94
	stdsapmarej			0.00011	0.00143	0.00823

Çizelge A.56 : 5gr, Pomza içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Pomza 5gr+Selüloz17gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix. Ø:10cm.d:19 mm. m:25.8gr.p:172.9kg/m ³ .T _{oda} °C 20.5						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.3	23.2	0.03585	0.53000	3.05
140	60.1	23.4	23.3	0.03624	0.52429	3.02
160	60.7	23.5	23.3	0.07151	0.26571	1.53
180	60.5	23.6	23.5	0.03604	0.52714	3.04
200	60.4	23.7	23.5	0.07248	0.26214	1.51
220	60.1	23.8	23.7	0.03664	0.51857	2.99
240	60.2	23.8	23.7	0.03654	0.52000	3.00
260	60.1	23.8	23.7	0.03664	0.51857	2.99
280	60.1	23.9	23.8	0.03674	0.51714	2.98
300	60.2	23.9	23.8	0.03664	0.51857	2.99
±0.015	λ ort			0.04353	0.47021	2.71
	stdsapma			0.01423	0.10322	0.59456
	λ ortrej			0.03664	0.51857	2.99
	stdsapmarej			0.00007	0.00101	0.00582

Çizelge A.57 : 7gr, Pomza içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Pomza7gr+Selüloz16gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix. Ø:10cm. d:19 mm. m:25.7gr.p:172.3 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.3						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.1	23.4	23.3	0.03433	0.52429	3.02
140	60.4	23.6	23.4	0.06848	0.26286	1.51
160	60.2	23.7	23.6	0.03452	0.52143	3.00
180	60.1	23.8	23.7	0.03471	0.51857	2.99
200	60.3	23.9	23.8	0.03462	0.52000	3.00
220	60.4	24.1	24.0	0.03471	0.51857	2.99
240	60.5	24.3	24.2	0.03481	0.51714	2.98
260	60.6	24.4	24.3	0.03481	0.51714	2.98
280	60.5	24.5	24.4	0.03500	0.51429	2.96
300	60.7	24.5	24.4	0.03481	0.51714	2.98
±0.01	λ ort			0.03808	0.49314	2.84
	stdsapma			0.01013	0.07681	0.44240
	λ ortrej			0.03485	0.51643	2.97
	stdsapmarej			0.00008	0.00124	0.00713

Çizelge A.58 : 4gr, Sepiyolit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Sepiolit 4gr+Selüloz 18gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1mix.Ø:10cm.d:20mm.m:28.4gr. ρ:180.8 kg/m ³ .T _{oda} °C 21.6						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.7	23.5	0.07629	0.26214	1.51
140	60.6	24.0	23.9	0.03825	0.52286	3.01
160	60.5	24.2	24.0	0.07713	0.25929	1.49
180	60.7	24.4	24.2	0.07713	0.25929	1.49
200	60.6	24.5	24.4	0.03878	0.51571	2.97
220	60.2	24.7	24.5	0.07887	0.25357	1.46
240	60.4	24.7	24.6	0.03922	0.51000	2.94
260	60.5	24.7	24.6	0.03911	0.51143	2.95
280	60.4	24.8	24.7	0.03933	0.50857	2.93
300	60.4	24.8	24.7	0.03933	0.50857	2.93
±0.02			λ ort	0.05434	0.41114	2.31
			stdsapma	0.01880	0.12465	0.73070
			λ ortrej	0.03924	0.50964	2.94
			stdsapmarej	0.00009	0.00118	0.00682

Çizelge A.59 : 5gr, Sepiyolit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Sepiolit 5gr+Selüloz 17gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1mix.Ø:10cm.d:20mm.m:27.8gr.ρ:177 kg/m ³ .T _{oda} °C 20.4						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.4	23.3	23.1	0.07547	0.26500	1.53
140	60.1	23.4	23.3	0.03815	0.52429	3.02
160	60.7	23.5	23.3	0.07527	0.26571	1.53
180	60.5	23.6	23.5	0.03794	0.52714	3.04
200	60.4	23.7	23.5	0.07629	0.26214	1.51
220	60.1	23.8	23.7	0.03857	0.51857	2.99
240	60.2	23.8	23.7	0.03846	0.52000	3.00
260	60.1	23.9	23.8	0.03867	0.51714	2.98
280	60.1	23.9	23.8	0.03867	0.51714	2.98
300	60.2	23.9	23.8	0.03857	0.51857	2.99
±0.02			λ ort	0.04961	0.44357	2.55
			stdsapma	0.01707	0.46143	2.65783
			λ ortrej	0.03859	0.51821	2.98
			stdsapmarej	0.00009	0.00118	0.00682

Çizelge A.60 : 6gr, Sepiyolit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Sepiyolit 6gr+Selüloz 16gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1mix.Ø:10cm.d:20mm.m:27.7gr.ρ:176.3 kg/m ³ .T _{oda} °C 21.2						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.1	23.4	23.2	0.07629	0.26214	1.51
140	60.4	23.6	23.4	0.07609	0.26286	1.51
160	60.2	23.7	23.6	0.03836	0.52143	3.00
180	60.1	23.8	23.7	0.03857	0.51857	2.99
200	60.3	23.9	23.8	0.03846	0.52000	3.00
220	60.6	24.1	24.0	0.03836	0.52143	3.00
240	60.4	24.3	24.2	0.03878	0.51571	2.97
260	60.5	24.4	24.3	0.03878	0.51571	2.97
280	60.4	24.5	24.4	0.03900	0.51286	2.95
300	60.7	24.5	24.4	0.03867	0.51714	2.98
±0.015	λ ort			0.04614	0.46679	2.69
	stdsapma			0.01503	0.10217	0.58853
	λ ortrej			0.03881	0.51536	2.97
	stdsapmarej			0.00012	0.00156	0.00897

Çizelge A.61 : 4gr, Diatomit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değeri.

Diatomit 4gr+Selüloz 18gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1mix.Ø:10cm.d:20mm.m:27.8gr.ρ:177 kg/m ³ . T _{oda} oC 20.8						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.6	28.6	28.5	0.04375	0.45714	2.63
140	60.5	28.8	28.7	0.04416	0.45286	2.61
160	61.0	29.0	28.9	0.04375	0.45714	2.63
180	60.9	29.2	29.0	0.08833	0.22643	1.30
200	60.6	29.3	29.1	0.08946	0.22357	1.29
220	60.5	29.5	29.3	0.09032	0.22143	1.28
240	60.7	29.6	29.5	0.04502	0.44429	2.56
260	60.8	29.6	29.5	0.04487	0.44571	2.57
280	60.3	29.7	29.6	0.04575	0.43714	2.52
300	60.1	29.7	29.6	0.04605	0.43429	2.50
±0.02	λ ort			0.05815	0.38000	2.15
	stdsapma			0.02046	0.10250	0.61259
	λ ortrej			0.04542	0.44036	2.54
	stdsapmarej			0.00049	0.00478	0.02752

Çizelge A.62 : 5gr, Diatomit içerikli numunenin ısı iletkenlik ölçüm değerleri.

Diatomit 5gr+Selüloz 17gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm.d:20mm.m:28.3gr.p:180.2kg/m ³ . T _{oda} °C 20.7						
Süre.dk	T1 °C	T2 °C	T3 °C	λ W/mK	R m ² K/W	R-Değeri
120	60.1	27.1	26.9	0.08485	0.23571	1.36
140	60.5	27.3	27.2	0.04217	0.47429	2.73
160	60.3	27.5	27.4	0.04268	0.46857	2.70
180	60.2	27.8	27.7	0.04321	0.46286	2.67
200	60.3	28.1	27.9	0.08696	0.23000	1.32
220	60.4	28.4	28.2	0.08750	0.22857	1.32
240	60.4	28.6	28.5	0.04403	0.45429	2.62
260	60.7	28.6	28.5	0.04361	0.45857	2.64
280	60.5	28.7	28.6	0.04403	0.45429	2.62
300	60.7	28.7	28.6	0.04375	0.45714	2.63
±0.02	λ ort			0.05628	0.39243	2.26
	stdsapma			0.01976	0.40810	2.35066
	λ ortrej			0.04385	0.45607	2.63
	stdsapmarej			0.00018	0.00186	0.01069

Çizelge A.63 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değerleri (Numune 1).

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20mm. m:25.2 gr.p:160.5 kg/m ³ .T _{oda} °C: 18.4						
Frekans Hz	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	46.10	55.40	0.5458	54.58	2.6296
250	101.5	57.90	43.60	0.4296	42.96	3.6698
500	101.5	66.50	35.00	0.3448	34.48	4.6240
1000	101.5	77.80	23.70	0.2335	23.35	6.3172
2000	102.9	89.90	13.00	0.1263	12.63	8.9847
4000	101.9	72.90	29.00	0.2846	28.46	5.4578
NRC				0.2835	TL _{ort} dB	5.8989

Çizelge A.64 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değerleri (Numune 2).

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20mm. m:24.55 gr.p:156.3 kg/m ³ .T _{oda} °C: 20.2						
Frekans Hz	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	44.90	56.60	0.5576	55.76	2.5365
250	101.5	57.60	43.90	0.4325	43.25	3.6400
500	101.5	66.10	35.40	0.3488	34.88	4.5746
1000	101.5	76.40	25.10	0.2473	24.73	6.0679
2000	102.9	89.30	13.60	0.1322	13.22	8.7888
4000	101.9	81.30	20.60	0.2022	20.22	6.9431
NRC				0.2901	TL _{ort} dB	5.7678

Çizelge A.65 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değerleri (Numune 3).

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20mm. m:24.9 gr.p:158.6 kg/m ³ .T _{oda} °C: 21.1						
Frekans Hz	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.1	47.00	54.10	0.5351	53.51	2.7155
250	101.1	58.30	42.80	0.4233	42.33	3.7331
500	101.1	65.10	36.00	0.3561	35.61	4.4845
1000	101.5	77.60	23.90	0.2355	23.55	6.2807
2000	104.6	91.50	13.10	0.1252	12.52	9.0226
4000	101.5	73.10	28.40	0.2798	27.98	5.5315
NRC				0.2850	Tl _{ort} dB	5.8802

Çizelge A.66 : Ses yutum katsayısı hata oranı tespiti ölçüm değerleri (Numune 4).

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20mm. m:25.1 gr.p:159.8 kg/m ³ .T _{oda} °C: 19.4						
Frekans Hz	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.2	44.70	56.50	0.5583	55.83	2.5313
250	101.3	58.10	43.20	0.4265	42.65	3.7013
500	101.5	65.30	36.20	0.3567	35.67	4.4776
1000	101.5	76.00	25.50	0.2512	25.12	5.9993
2000	103.8	89.60	14.20	0.1368	13.68	8.6391
4000	102.1	75.50	26.60	0.2605	26.05	5.8414
NRC				0.2928	Tl _{ort} dB	5.7043

Çizelge A.67 : Yoğunluğa bağlı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değerleri değişimi (yoğunluk:158.5 kg/m³).

Selüloz 10 gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1mix.Ø:10cm.d:9 mm. m:11.2gr.p:158.5 kg/m ³ .T _{oda} °C:19.7						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	58.90	42.60	0.4197	41.97	3.7706
250	101.5	73.90	27.60	0.2719	27.19	5.6556
500	101.9	71.60	30.30	0.2974	29.74	5.2673
1000	101.9	83.90	18.00	0.1766	17.66	7.5290
2000	103.1	97.80	5.30	0.0514	5.14	12.8898
4000	101.9	63.00	38.90	0.3817	38.17	4.1822
NRC				0.1993	Tl _{ort} dB	7.8354

Çizelge A.68 : Yoğunluğa bağlı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değerleri değişimi (yoğunluk:161.9 kg/m³).

Selüloz 15gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1.mix.Ø:10cm. d:14 mm. m:17.8gr.ρ:161.9 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.2						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	58.30	43.20	0.4256	42.56	3.7098
250	101.5	74.90	26.60	0.2621	26.21	5.8158
500	101.5	69.10	32.40	0.3192	31.92	4.9592
1000	101.5	81.50	20.00	0.1970	19.70	7.0544
2000	103.1	95.20	7.90	0.0766	7.66	11.1563
4000	101.9	73.90	28.00	0.2748	27.48	5.6102
			NRC	0.2137	Tl _{ort} dB	7.2464

Çizelge A.69 : Yoğunluğa bağlı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değerleri değişimi (yoğunluk:163 kg/m³).

Selüloz 20gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:20mm. m:25.2 gr.ρ:163 kg/m ³ .T _{oda} °C: 18.4						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	46.10	55.40	0.5458	54.58	2.6296
250	101.5	57.90	43.60	0.4296	42.96	3.6698
500	101.5	66.50	35.00	0.3448	34.48	4.6240
1000	101.5	79.00	22.50	0.2217	22.17	6.5428
2000	102.9	92.90	10.00	0.0972	9.72	10.1242
4000	101.9	72.90	29.00	0.2846	28.46	5.4578
			NRC	0.2733	Tl _{ort} dB	6.2402

Çizelge A.70 : Yoğunluğa bağlı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değerleri değişimi (yoğunluk:167.1 kg/m³).

Selüloz 30gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:28mm. m:34.7gr.ρ:167.1 kg/m ³ .T _{oda} °C 19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	44.80	56.70	0.5586	55.86	2.5288
250	101.5	53.30	48.20	0.4749	47.49	3.2342
500	101.5	62.80	38.70	0.3813	38.13	4.1876
1000	101.5	72.40	29.10	0.2867	28.67	5.4257
2000	103.6	87.10	16.50	0.1593	15.93	7.9788
4000	102.1	62.40	39.70	0.3888	38.88	4.1024
			NRC	0.3255	Tl _{ort} dB	5.2066

Çizelge A.71 : Yoğunluğa bağlı olarak ses yutum katsayısı ve ses iletim değerleri değişimi (yoğunluk:176.2 kg/m³).

Selüloz 40gr. Na ₂ SiO ₃ 1/1 mix.Ø:10cm. d:36mm. m:45.6 gr.p:176.2 kg/m ³ .T _{oda} °C: 18.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	44.70	56.80	0.5596	55.96	2.5212
250	101.5	51.20	50.30	0.4956	49.56	3.0490
500	101.5	58.30	43.20	0.4256	42.56	3.7098
1000	101.9	69.10	32.80	0.3219	32.19	4.9230
2000	104.8	83.70	21.10	0.2013	20.13	6.9608
4000	101.9	60.20	41.70	0.4092	40.92	3.8804
			NRC	0.3611	Tl _{ort} dB	4.6606

Çizelge A.72 : 1 gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 1 gr+Selüloz19 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 22.85gr.p:153.2kg/m ³ .T _{oda} °C:18.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	45	56.3	0.555775	55.57749	2.551011
250	101.3	56	45.3	0.447187	44.71866	3.495112
500	101.5	64.5	37	0.364532	36.4532	4.382643
1000	101.5	76.1	25.4	0.250246	25.02463	6.016323
2000	103.1	90.5	12.6	0.122211	12.22114	9.128881
4000	101.9	78	23.9	0.234544	23.45437	6.297763
			NRC	0.296044	TL	5.75574

Çizelge A.73 : 2 gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 2 gr+Selüloz18 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 23.28gr.p:148.2kg/m ³ .T _{oda} °C:19.3						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	45.7	55.6	0.548865	54.88648	2.605347
250	101.3	49	52.3	0.516288	51.62883	2.871078
500	101.5	65.3	36.2	0.35665	35.66502	4.477575
1000	101.5	78.5	23	0.226601	22.6601	6.447382
2000	103.2	92.7	10.5	0.101744	10.17442	9.924904
4000	101.5	67.3	34.2	0.336946	33.69458	4.724399
			NRC	0.300321	TL	5.930235

Çizelge A.74 : 3gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 3 gr+Selüloz17 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 24.88gr.p:158.4kg/m ³ .T _{oda} °C:19.7						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.1	51.7	49.4	0.488625	48.86251	3.110242
250	101.3	72.2	29.1	0.287266	28.72655	5.417165
500	101.4	68.4	33	0.325444	32.54438	4.87524
1000	101.4	81.2	20.2	0.199211	19.9211	7.006866
2000	103.4	74.8	28.6	0.276596	27.65957	5.581545
4000	101.5	68.9	32.6	0.321182	32.11823	4.932484
			NRC	0.272129	TL	5.720204

Çizelge A.75 : 4 gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 4 gr+Selüloz16 gr.Ø:10cm. d: 21 mm.m: 25.2gr.p:164.4kg/m ³ .T _{oda} °C:21.2						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	46	55.3	0.545903	54.59033	2.628843
250	101.3	60.8	40.5	0.399803	39.98026	3.981544
500	101.5	68.2	33.3	0.328079	32.80788	4.840218
1000	101.5	81	20.5	0.20197	20.19704	6.947122
2000	103.1	94.8	8.3	0.080504	8.050436	10.94181
4000	101.9	78.8	23.1	0.226693	22.66928	6.445622
			NRC	0.252589	TL	6.677672

Çizelge A.76 : 5gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 5 gr+Selüloz15 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 25.8gr.p:166.6kg/m ³ .T _{oda} °C:20.3						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	46.8	54.5	0.538006	53.80059	2.692129
250	101.3	62.4	38.9	0.384008	38.40079	4.156598
500	101.3	67.8	33.5	0.330701	33.07009	4.805646
1000	101.4	80.8	20.6	0.203156	20.31558	6.921707
2000	103.1	94.9	8.2	0.079534	7.953443	10.99445
4000	101.5	68.3	33.2	0.327094	32.70936	4.85328
			NRC	0.24935	TL	6.7196

Çizelge A.77 : 6gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 6 gr+Selüloz14 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 26.2gr.p:170.2kg/m ³ .T _{oda} °C:19.3						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	47.6	53.9	0.531034	53.10345	2.748773
250	101.5	64.3	37.2	0.366502	36.65025	4.359231
500	101.5	69.8	31.7	0.312315	31.23153	5.054068
1000	101.5	82.6	18.9	0.186207	18.62069	7.300042
2000	103.1	96.5	6.6	0.064016	6.401552	11.93715
4000	101.9	79.3	22.6	0.221786	22.17861	6.540657
			NRC	0.23226	TL	7.162622

Çizelge A.78 : 7gr, Perlit No 2 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:2. 7 gr+Selüloz13 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 26.72gr.p:159.6kg/m ³ .T _{oda} °C:19.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	48.2	53.3	0.525123	52.51232	2.797388
250	101.5	65.9	35.6	0.350739	35.07389	4.55016
500	101.5	69.4	32.1	0.316256	31.62562	4.99961
1000	101.5	82	19.5	0.192118	19.21182	7.164314
2000	103.1	96	7.1	0.068865	6.886518	11.62
4000	101.9	68.5	33.4	0.327772	32.77723	4.844277
			NRC	0.231995	TL	7.083522

Çizelge A.79 : 1 gr, Perlit No 12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 1 gr+Selüloz19 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 24.11gr.p:153.5kg/m ³ .T _{oda} °C:18.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	45.4	56.1	0.552709	55.27094	2.575032
250	101.5	60.9	40.6	0.4	40	3.9794
500	101.5	67.8	33.7	0.33202	33.20197	4.788361
1000	101.5	80.3	21.2	0.208867	20.8867	6.801302
2000	103.1	95.2	7.9	0.076625	7.662464	11.15632
4000	101.9	75.7	26.2	0.257115	25.71148	5.898729
			NRC	0.254378	TL	6.681345

Çizelge A.80 : 2gr, Perlit No12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 2 gr+Selüloz18 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 25.05gr.p:159.5kg/m ³ .T _{oda} °C:19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.7	46	54.7	0.543198	54.31976	2.650421
250	100.7	61.4	39.3	0.390268	39.02681	4.086369
500	100.7	68.4	32.3	0.320755	32.07547	4.938269
1000	100.9	81.2	19.7	0.195243	19.52428	7.094249
2000	102.8	95.2	7.6	0.07393	7.392996	11.3118
4000	101.1	68.7	32.4	0.320475	32.04748	4.942061
			NRC	0.245049	TL	6.857671

Çizelge A.81 : 3gr, Perlit No 12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 3 gr+Selüloz17 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 25.36gr.p:161.5kg/m ³ .T _{oda} °C:19.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.5	59.3	41.2	0.40995	40.99502	3.872688
250	100.7	75.7	25	0.248262	24.82622	6.050895
500	100.7	65.3	35.4	0.351539	35.15392	4.540262
1000	100.7	78	22.7	0.225422	22.5422	6.470036
2000	102.9	92.3	10.6	0.103013	10.30126	9.871095
4000	101.1	74.6	26.5	0.262117	26.21167	5.815053
			NRC	0.232059	TL	6.733072

Çizelge A.82 : 4 gr, Perlit No 12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 4 gr+Selüloz16 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 25.22gr.p:160.6kg/m ³ .T _{oda} °C:19.2						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.4	46	54.4	0.541833	54.18327	2.661348
250	100.5	63	37.5	0.373134	37.31343	4.281348
500	100.5	69.4	31.1	0.309453	30.94527	5.094057
1000	100.5	82	18.5	0.18408	18.40796	7.349943
2000	103.1	96.4	6.7	0.064985	6.498545	11.87184
4000	100.9	75.5	25.4	0.251734	25.17344	5.990574
			NRC	0.232913	TL	7.149297

Çizelge A.83 : 5 gr, Perlit No 12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 5 gr+Selüloz15 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 25.24gr.p:160.7kg/m ³ .T _{oda} °C:19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.3	45.5	54.8	0.546361	54.63609	2.625204
250	100.3	63.2	37.1	0.36989	36.98903	4.31927
500	100.5	70.6	29.9	0.297512	29.75124	5.264949
1000	100.7	83.1	17.6	0.174777	17.47766	7.575168
2000	102.8	97.5	5.3	0.051556	5.155642	12.87717
4000	100.9	73.6	27.3	0.270565	27.05649	5.677285
			NRC	0.223434	TL	7.50914

Çizelge A.84 : 6 gr, Perlit No 12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 6 gr+Selüloz14 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 25.33gr.p:161.3kg/m ³ .T _{oda} °C:19.5						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.9	46.1	54.8	0.543112	54.3112	2.651106
250	100.9	64.8	36.1	0.35778	35.778	4.46384
500	101.1	70.5	30.6	0.302671	30.26706	5.190297
1000	101.1	82.9	18.2	0.18002	18.00198	7.446798
2000	102.9	96.2	6.7	0.065112	6.511176	11.86341
4000	101.5	77.6	23.9	0.235468	23.5468	6.280681
			NRC	0.226396	TL	7.241085

Çizelge A.85 : 7 gr, Perlit No12 katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Perlit No:12. 7 gr+Selüloz13 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 25.9gr.p:164.9kg/m ³ .T _{oda} °C:19.7						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.9	47.3	53.6	0.531219	53.1219	2.747264
250	100.9	66.5	34.4	0.340932	34.09316	4.673327
500	101.1	70.6	30.5	0.301682	30.16815	5.204513
1000	101.1	83.3	17.8	0.176063	17.60633	7.543312
2000	103	97.6	5.4	0.052427	5.242718	12.80443
4000	101.5	78	23.5	0.231527	23.15271	6.353982
			NRC	0.217776	TL	7.556397

Çizelge A.86 : 5 gr, Vermikülit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Vermikülit 5 gr+Selüloz17 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 25.36gr.ρ:179.4kg/m ³ .T _{oda} °C:18.4						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.5	46.6	54.9	0.540887	54.08867	2.668937
250	101.9	61.6	40.3	0.395486	39.54858	4.028691
500	101.5	64	37.5	0.369458	36.94581	4.324348
1000	101.5	76.9	24.6	0.242365	24.23645	6.155309
2000	103.1	90.9	12.2	0.118332	11.83317	9.268988
4000	101.9	81.2	20.7	0.20314	20.31403	6.922038
			NRC	0.28141	TL	5.944334

Çizelge A.87 : 6 gr, Vermikülit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Vermikülit 6 gr+Selüloz16.5 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 27.85gr.ρ:177.3kg/m ³ .T _{oda} °C:18.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.9	44.9	56	0.555005	55.5005	2.557031
250	100.9	57.4	43.5	0.43112	43.11199	3.654019
500	101.1	64.6	36.5	0.361029	36.10287	4.424583
1000	101.2	78	23.2	0.229249	22.9249	6.396925
2000	102.7	94.4	8.3	0.080818	8.081792	10.92492
4000	101.5	70.2	31.3	0.308374	30.83744	5.109217
			NRC	0.275554	TL	6.350113

Çizelge A.88 : 7 gr, Vermikülit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Vermikülit 7 gr+Selüloz16 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 28.44gr.ρ:181.1kg/m ³ .T _{oda} °C:19.4						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.9	45.4	55.5	0.55005	55.00496	2.595982
250	101.1	59.5	41.6	0.411474	41.14738	3.856578
500	101.1	67	34.1	0.33729	33.72898	4.719968
1000	101.3	80	21.3	0.210267	21.02665	6.772298
2000	102.8	94.5	8.3	0.080739	8.07393	10.92915
4000	101.5	58.7	42.8	0.421675	42.16749	3.750223
			NRC	0.259942	TL	6.569499

Çizelge A.89 : 8 gr, Vermikülit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Vermikülit 8 gr+Selüloz15.5 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 28.23gr.p:199.5kg/m ³ .T _{oda} °C:19.7						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.5	47	53.5	0.532338	53.23383	2.738123
250	100.6	62.3	38.3	0.380716	38.07157	4.193992
500	100.7	67.8	32.9	0.326713	32.6713	4.858336
1000	100.7	80.5	20.2	0.200596	20.05958	6.976781
2000	102.6	94.3	8.3	0.080897	8.089669	10.92069
4000	101.1	68.5	32.6	0.322453	32.2453	4.915336
			NRC	0.24723	TL	6.73745

Çizelge A.90 : 9 gr, Vermikülit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Vermikülit 9 gr+Selüloz15 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 29.48gr.p:187.7kg/m ³ .T _{oda} °C:18.7						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.9	49.1	52.8	0.5182	51.82	2.8554
250	101.9	67.9	34	0.3337	33.37	4.7670
500	101.9	71.4	30.5	0.2993	29.93	5.2387
1000	101.5	83.8	17.7	0.1744	17.44	7.5849
2000	103.1	97.8	5.3	0.0514	5.14	12.8898
4000	102.1	77.6	24.5	0.2400	24.00	6.1986
			NRC	0.2147	TL	7.6201

Çizelge A.91 : 10 gr, Vermikülit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Vermikülit 10 gr+Selüloz15 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 29.21gr.p:186kg/m ³ .T _{oda} °C:18.3						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.1	47.2	53.9	0.5331	53.31	2.7316
250	101.1	63.8	37.3	0.3689	36.89	4.3304
500	101.1	72.2	28.9	0.2859	28.59	5.4385
1000	101.1	84.7	16.4	0.1622	16.22	7.8991
2000	102.5	99.3	3.2	0.0312	3.12	15.0557
4000	101.5	83.5	18	0.1773	17.73	7.5119
			NRC	0.2121	TL	8.1809

Çizelge A.92 : 3 gr, Pomza katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Pomza 3 gr+Selüloz20 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m: 24.48gr.p:171.4kg/m ³ .T _{oda} °C:19.4						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.5	44.2	56.3	0.560199	56.0199	2.516577
250	100.7	57.7	43	0.427011	42.70109	3.69561
500	100.7	64	36.7	0.364449	36.44489	4.383634
1000	100.7	73.6	27.1	0.269116	26.91162	5.700602
2000	103.1	88.9	14.2	0.13773	13.77304	8.609703
4000	101.3	71.8	29.5	0.291214	29.12142	5.357874
			NRC	0.299577	TL	5.597387

Çizelge A.93 : 5 gr, Pomza katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Pomza 5gr+Selüloz18 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 26.35gr.p:167.9kg/m ³ .T _{oda} °C:19.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.5	44.2	56.3	0.560199	56.0199	2.516577
250	100.6	57.7	42.9	0.426441	42.64414	3.701407
500	100.7	64	36.7	0.364449	36.44489	4.383634
1000	100.7	73.6	27.1	0.269116	26.91162	5.700602
2000	102.6	88.9	13.7	0.133528	13.35283	8.744268
4000	101.1	71.8	29.3	0.289812	28.98121	5.378835
			NRC	0.298384	TL	5.632478

Çizelge A.94 : 7 gr, Pomza katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Pomza 7gr+Selüloz16 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 27.65gr.p:176.1kg/m ³ .T _{oda} °C:19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.9	44.4	56.5	0.55996	55.99604	2.518427
250	100.9	56.2	44.7	0.443013	44.30129	3.535836
500	100.9	64.2	36.7	0.363726	36.37265	4.392251
1000	101.1	74.9	26.2	0.259149	25.91494	5.864499
2000	103.1	90.9	12.2	0.118332	11.83317	9.268988
4000	101.5	72.6	28.9	0.284729	28.47291	5.455682
			NRC	0.296055	TL	5.765394

Çizelge A.95 : 9 gr, Pomza katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri

Pomza 9gr+Selüloz15 gr.Ø:10cm. d: 20 mm.m: 28.45gr.p:181.2kg/m ³ .T _{oda} °C:19.4						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.1	44.4	56.7	0.560831	56.08309	2.511681
250	101.1	56.1	45	0.445104	44.51039	3.515386
500	101.5	64.4	37.1	0.365517	36.55172	4.370921
1000	101.5	77.3	24.2	0.238424	23.84236	6.226507
2000	103.1	92	11.1	0.107662	10.76625	9.679357
4000	101.7	71.3	30.4	0.298918	29.89184	5.244474
			NRC	0.289177	TL	5.948043

Çizelge A.96 : 1 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Diatomit 1gr+Selüloz20 gr.Ø:10cm. d: 19 mm.m:30.7gr.p:186.2kg/m ³ .T _{oda} °C:19.7						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.7	55.4	45.3	0.449851	44.9851	3.469313
250	100.7	70.1	30.6	0.303873	30.38729	5.17308
500	100.9	73	27.9	0.276511	27.65114	5.58287
1000	101.1	84.7	16.4	0.162216	16.22156	7.899073
2000	104	98.4	5.6	0.053846	5.384615	12.68845
4000	101.5	75.7	25.8	0.254187	25.41872	5.948463
			NRC	0.199112	TL	7.835869

Çizelge A.97 : 2 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Diatomit 2gr+Selüloz19 gr.Ø:10cm. d:20 mm.m:31.4gr.p:200kg/m ³ .T _{oda} °C:19.9						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	100.9	51.2	49.7	0.492567	49.25669	3.075348
250	100.9	64.2	36.7	0.363726	36.37265	4.392251
500	101.1	65.9	35.2	0.34817	34.81701	4.582085
1000	101.1	78	23.1	0.228487	22.84866	6.411392
2000	103.2	91.7	11.5	0.111434	11.14341	9.529819
4000	101.5	77.3	24.2	0.238424	23.84236	6.226507
			NRC	0.262954	TL	6.228887

Çizelge A.98 : 3 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Diatomit 3gr+Selüloz18 gr.Ø:10cm. d:20 mm.m:32.1gr.p:204.4kg/m ³ .T _{oda} °C:19.4						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.1	49.9	51.2	0.506429	50.64293	2.954812
250	101.1	62.2	38.9	0.384768	38.47676	4.148016
500	101.1	67.1	34	0.336301	33.63007	4.732722
1000	101.3	78.2	23.1	0.228036	22.80355	6.419975
2000	103.2	91.8	11.4	0.110465	11.04651	9.567748
4000	101.5	72.8	28.7	0.282759	28.27586	5.485841
			NRC	0.264892	TL	6.217115

Çizelge A.99 : 4 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

Diatomit 4gr+Selüloz17 gr.Ø:10cm. d:20 mm.m:34gr.p:216.4kg/m ³ .T _{oda} °C:19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.2	49.1	52.1	0.514822	51.48221	2.883428
250	101.2	61.2	40	0.395257	39.52569	4.031205
500	101.3	71	30.3	0.299112	29.91115	5.241668
1000	101.4	79.8	21.6	0.213018	21.30178	6.715842
2000	103.4	93.7	9.7	0.09381	9.381044	10.27749
4000	101.7	47.4	54.3	0.533923	53.39233	2.725211
			NRC	0.250299	TL	6.566551

Çizelge A.100 : 5 gr, Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

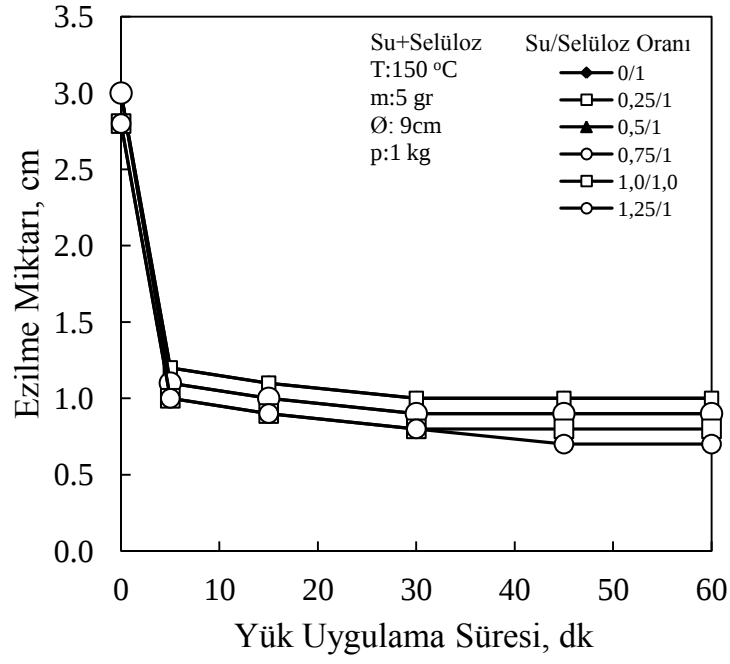
Diatomit 5gr+Selüloz16 gr.Ø:10cm. d:21 mm.m:36.1gr.p:229.9kg/m ³ .T _{oda} °C:19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	49.9	51.4	0.507404	50.74038	2.946463
250	101.3	62.4	38.9	0.384008	38.40079	4.156598
500	101.4	62.6	38.8	0.382643	38.2643	4.172062
1000	101.4	74.9	26.5	0.261341	26.13412	5.827921
2000	103.4	88.7	14.7	0.142166	14.21663	8.472032
4000	101.9	70.4	31.5	0.309127	30.91266	5.098636
			NRC	0.29254	TL	5.657153

Çizelge A.101 : 7.5 gr Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

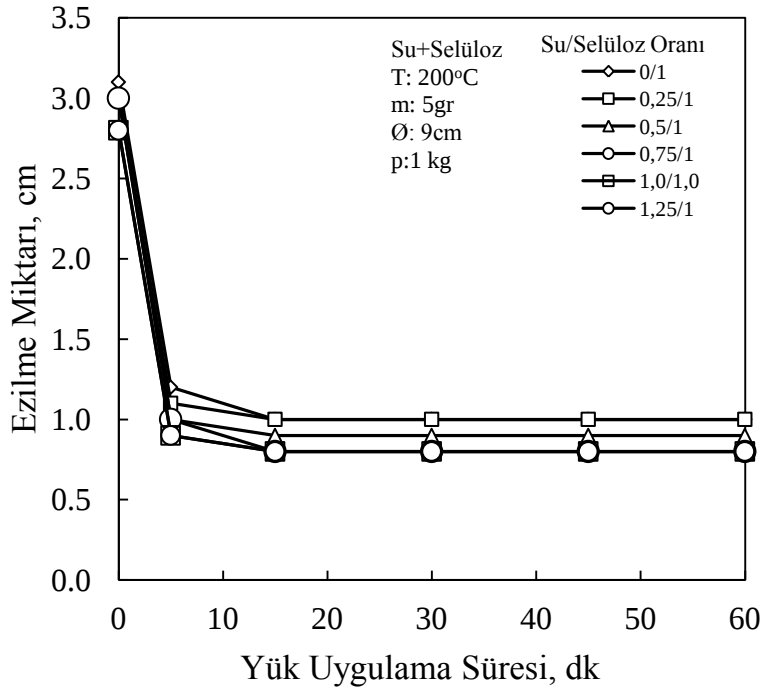
Diatomit 7.5gr+Selüloz16gr.Ø:10cm. d:21 mm.m:37.7gr.p:228.6kg/m ³ .T _{oda} °C:19.6						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	48.3	53	0.523198	52.31984	2.813336
250	101.3	58.7	42.6	0.420533	42.05331	3.761998
500	101.5	70.2	31.3	0.308374	30.83744	5.109217
1000	101.5	80	21.5	0.211823	21.18227	6.740276
2000	103.8	93.5	10.3	0.099229	9.922929	10.0336
4000	101.7	74.1	27.6	0.271386	27.13864	5.664119
			NRC	0.25999	TL	6.411273

Çizelge A.102 : 10 gr Diatomit katkılı numunenin ölçülen ses iletim değerleri.

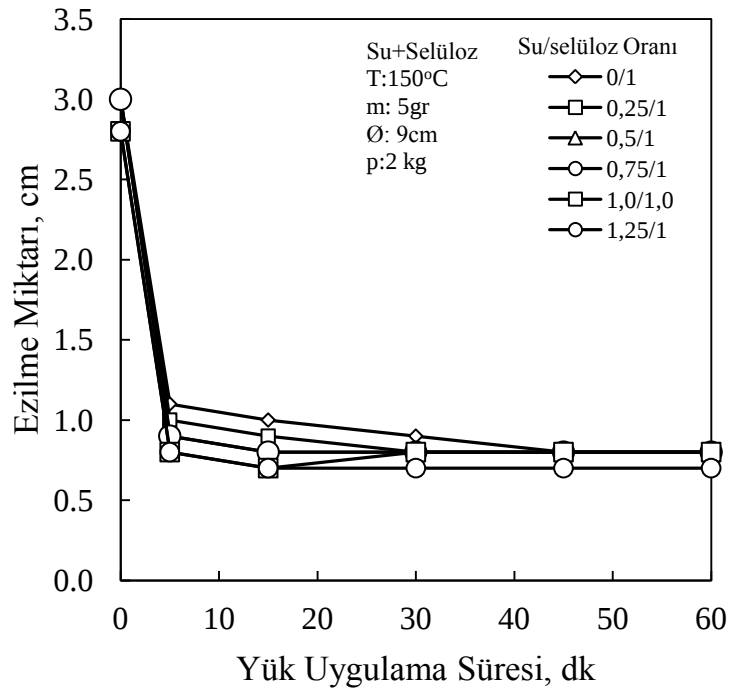
Diatomit 10gr+Selüloz16 gr.Ø:10cm. d:20 mm.m:41.5gr.p:251.7kg/m ³ .T _{oda} °C:19.8						
	P1	P2	P1-P2	T	%T	TL dB
125	101.3	48	53.3	0.52616	52.61599	2.788822
250	101.3	57.2	44.1	0.435341	43.53406	3.611709
500	101.4	66.3	35.1	0.346154	34.61538	4.607308
1000	101.5	78	23.5	0.231527	23.15271	6.353982
2000	104.2	92.4	11.8	0.113244	11.32438	9.459857
4000	101.7	59.5	42.2	0.414946	41.49459	3.820085
			NRC	0.281566	TL	6.008214



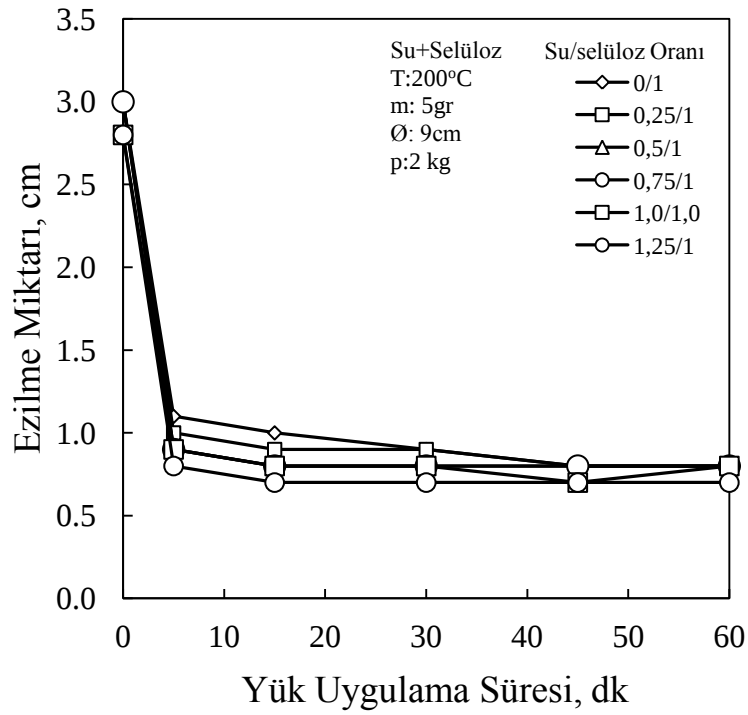
Şekil A.1 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).



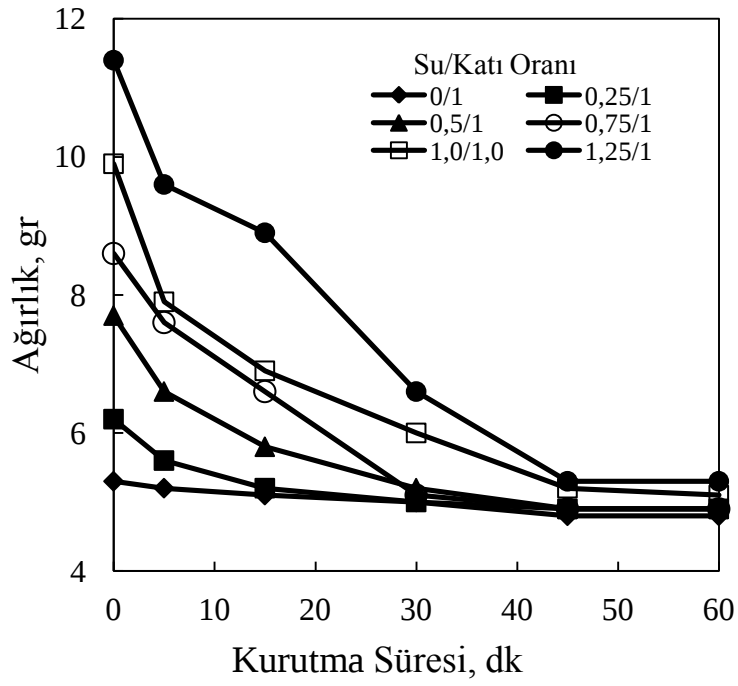
Şekil A.2 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).



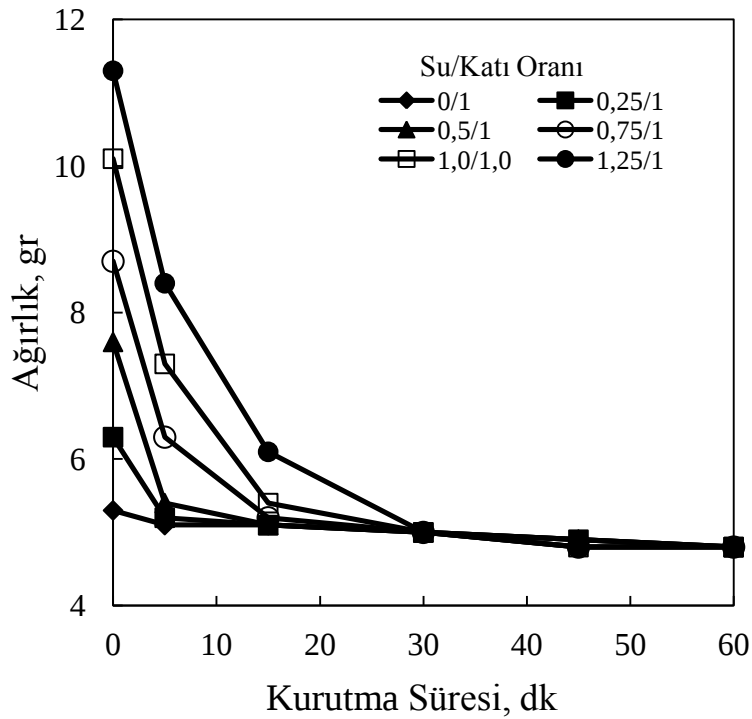
Şekil A.3 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).



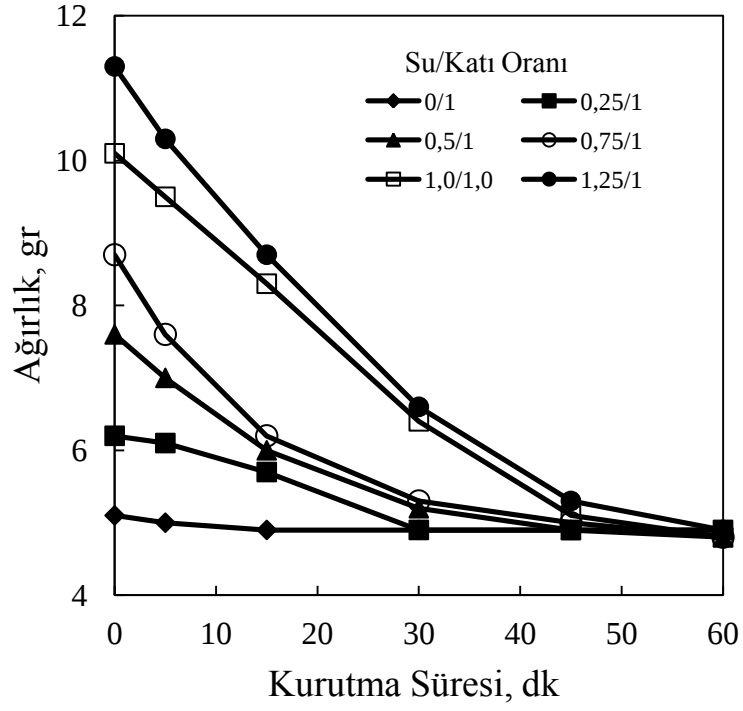
Şekil A.4 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında yük uygulama süresine bağlı ezilme miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).



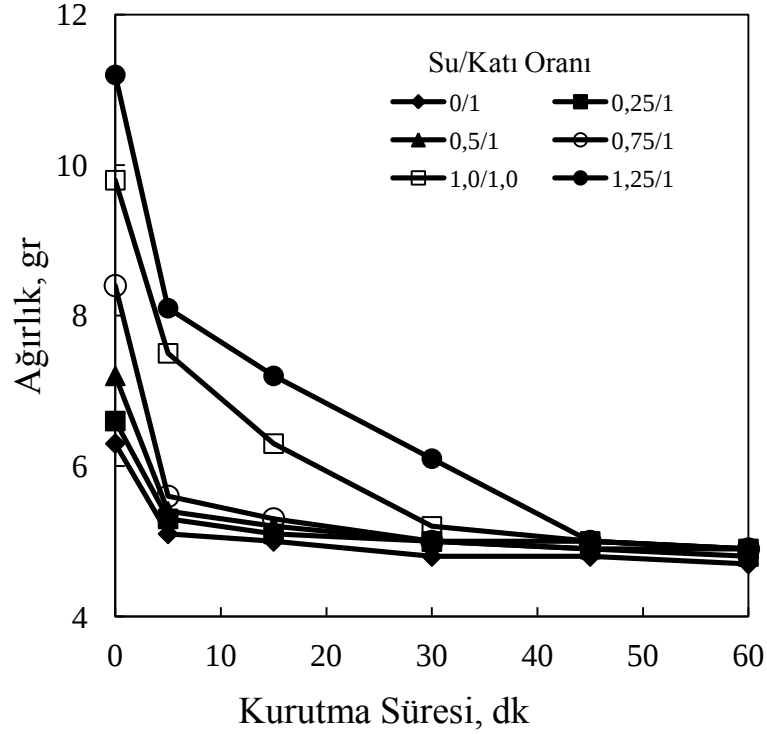
Şekil A.5 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).



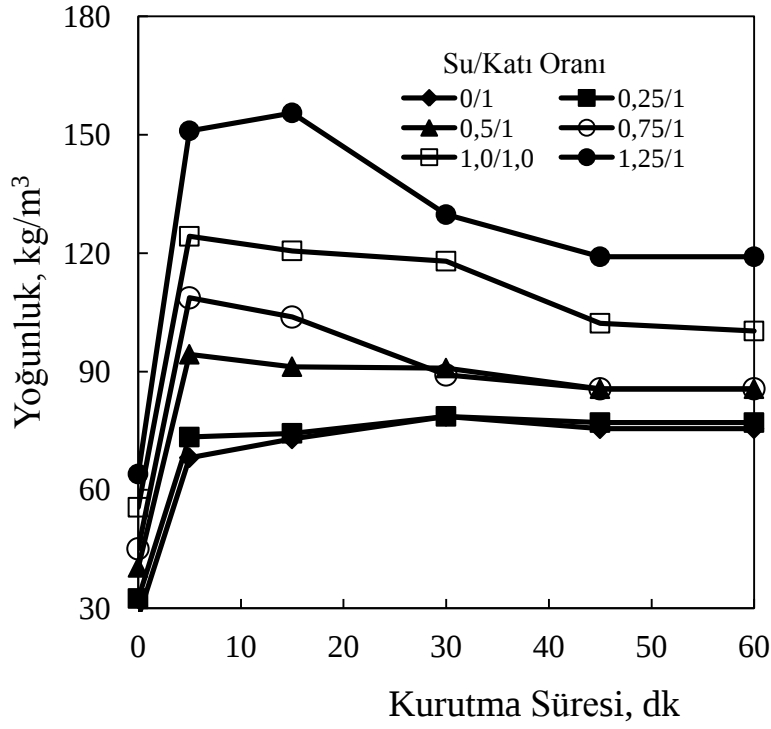
Şekil A.6 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).



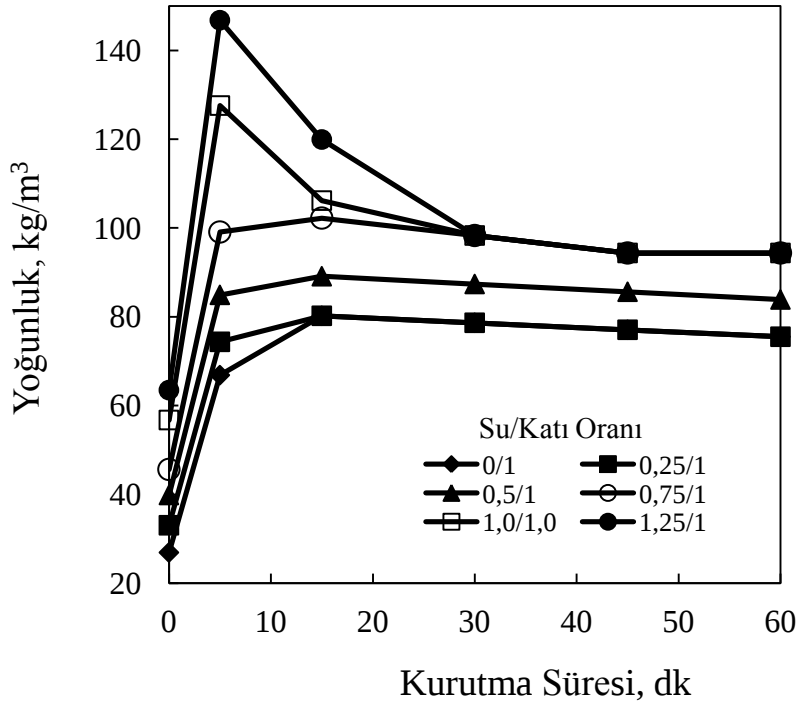
Şekil A.7 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).



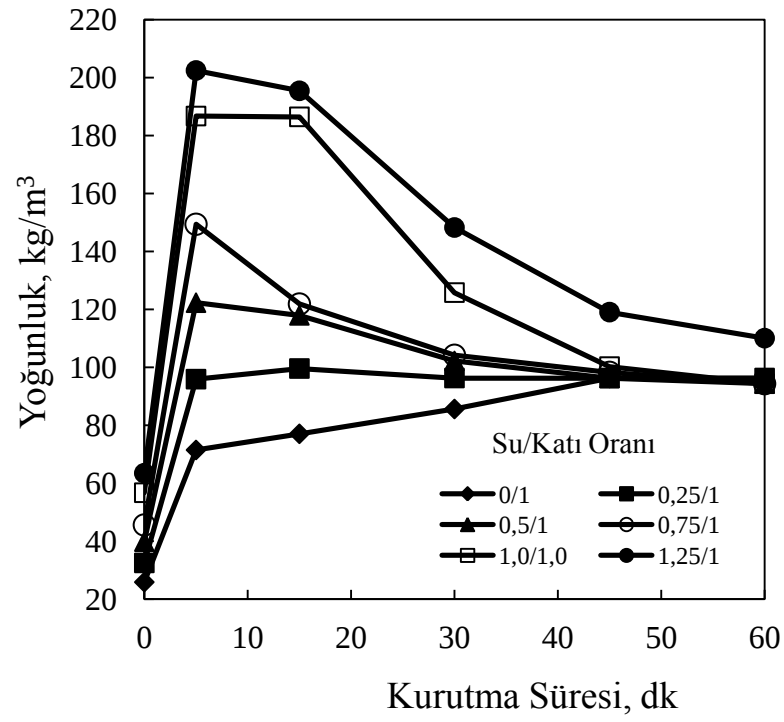
Şekil A.8 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, ağırlıkça değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).



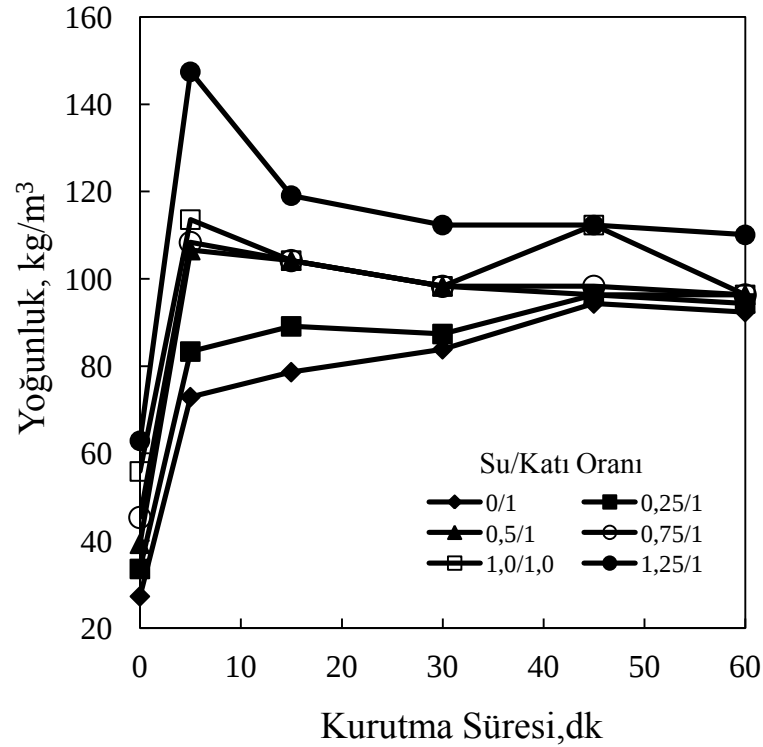
Şekil A.9 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).



Şekil A.10 : 1 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).

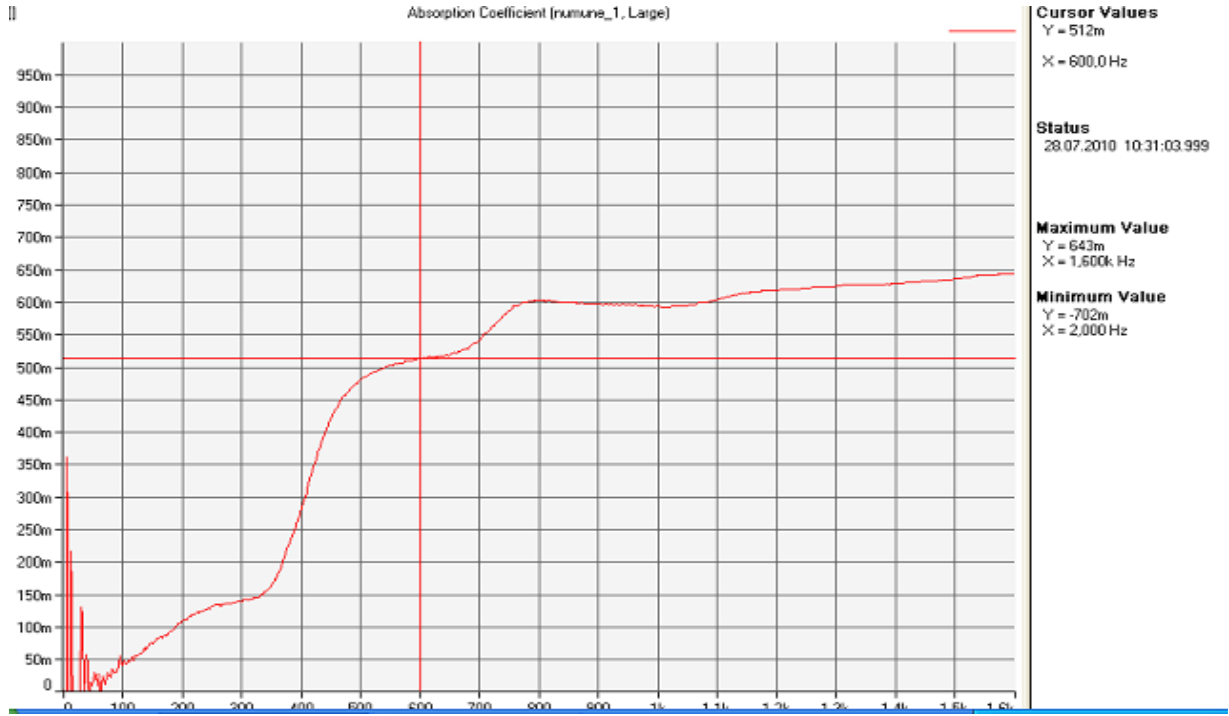


Şekil A.11 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı, yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 150 °C).

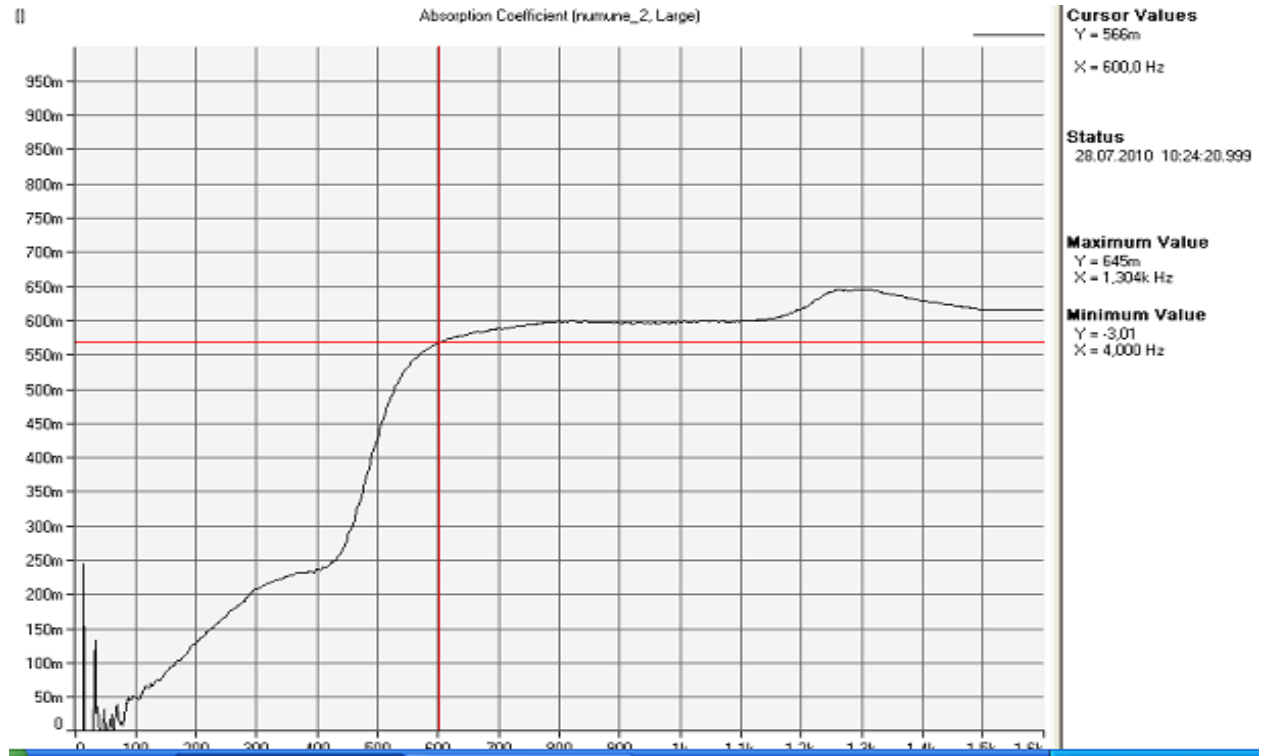


Şekil A.12 : 2 kg yükte ve farklı su/selüloz oranında kurutma süresine bağlı yoğunluk miktarındaki değişim (kurutma sıcaklığı 200 °C).

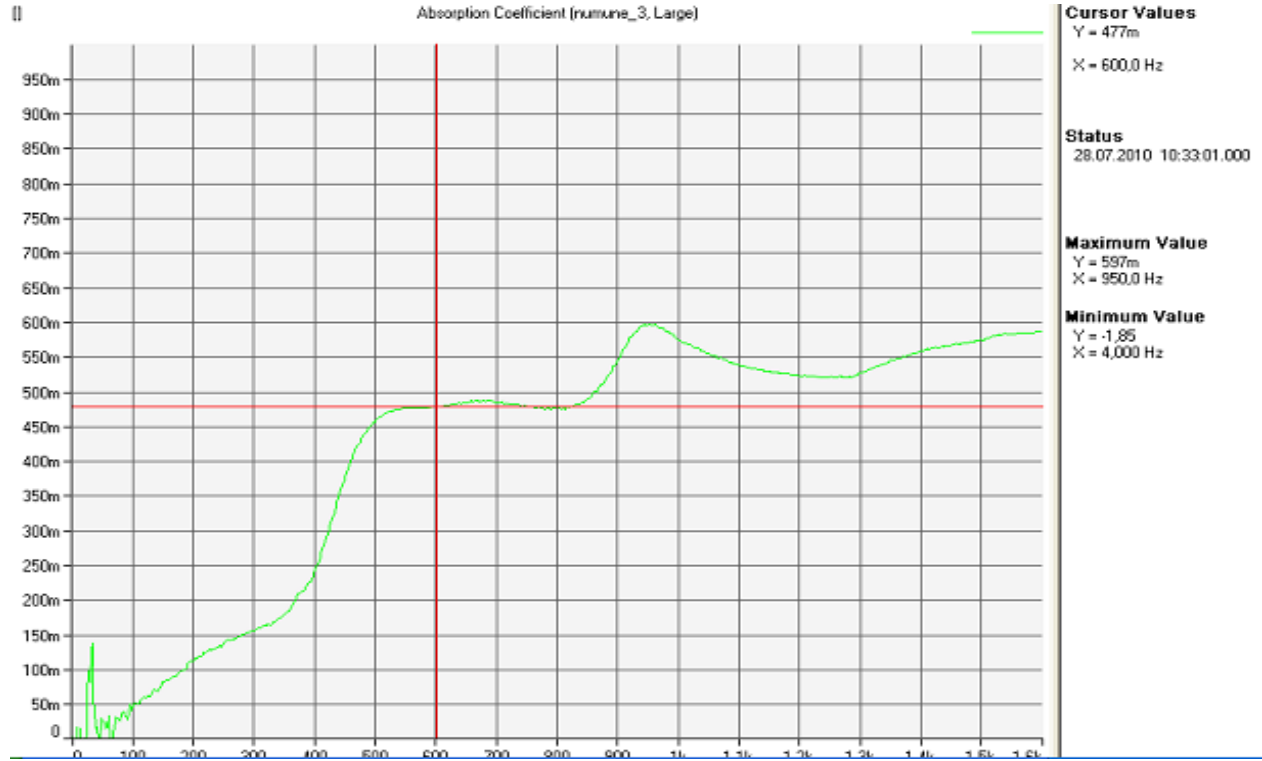
Şekil A.13 : İTÜ Makina Fakültesi Akustik Laboratuvarı Large Scale (0-1600Hz) ölçüm grafikleri



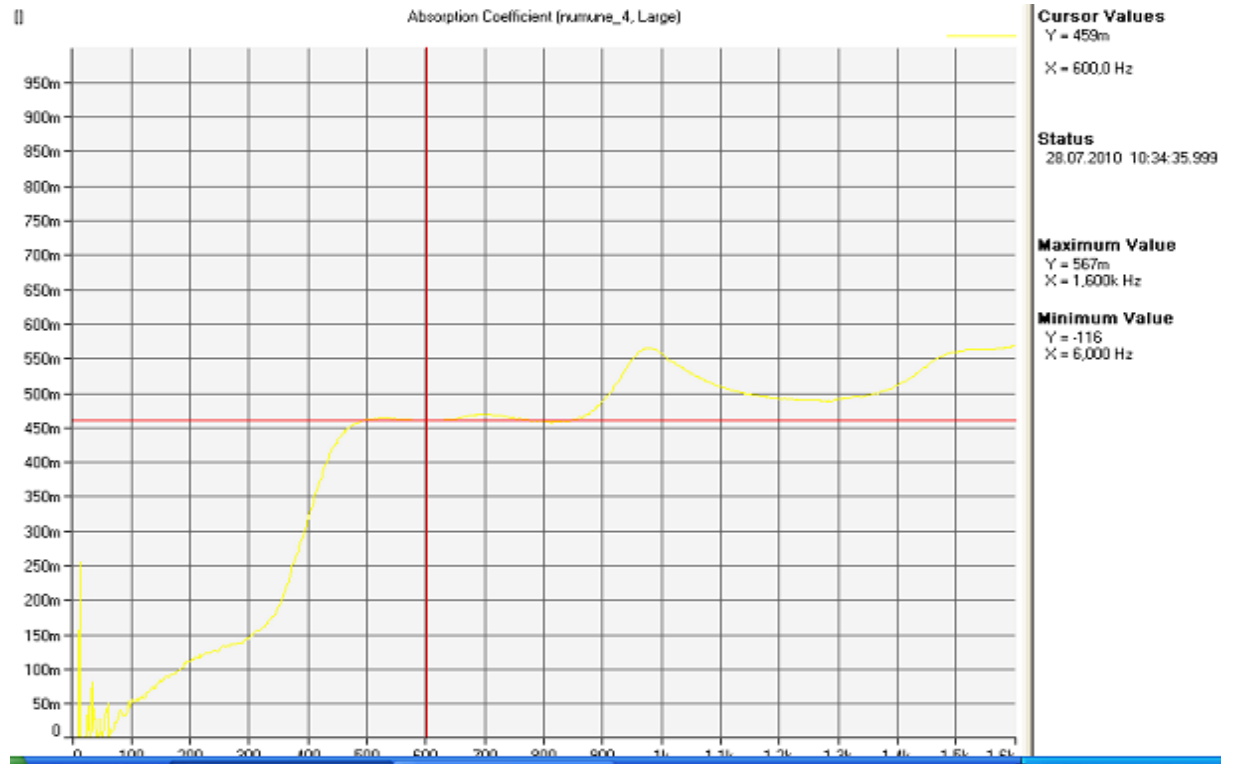
Şekil A.14 : Perlit No:12. (3 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



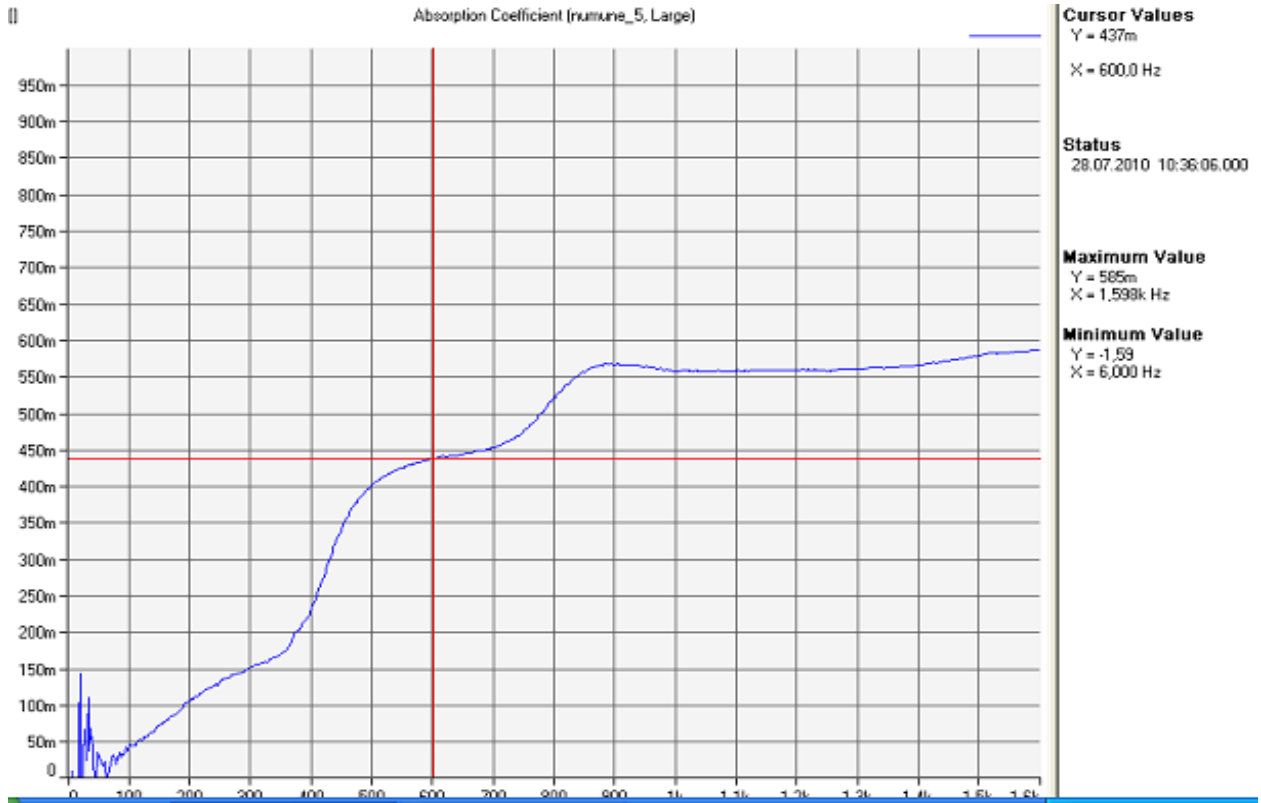
Şekil A.15 : Perlit No:12. (6 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



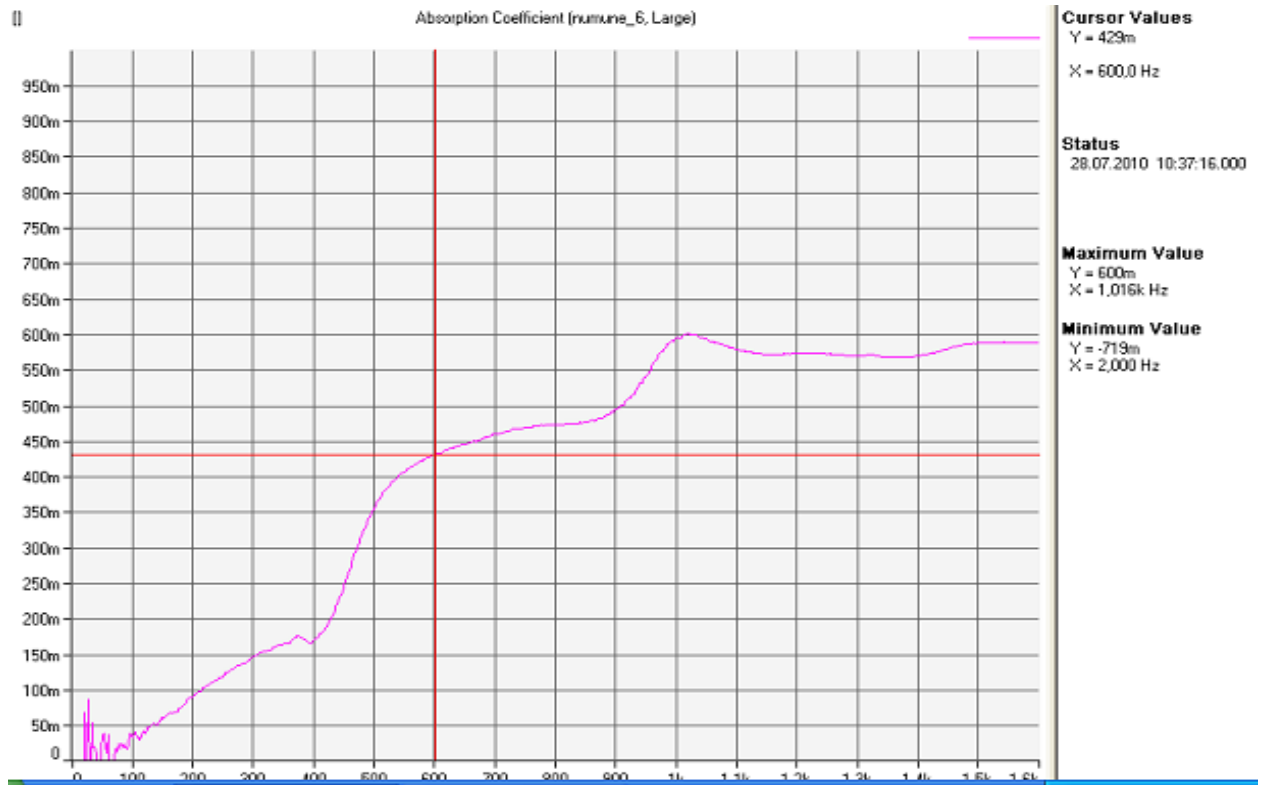
Şekil A.16 : Perlit No:2. (3 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



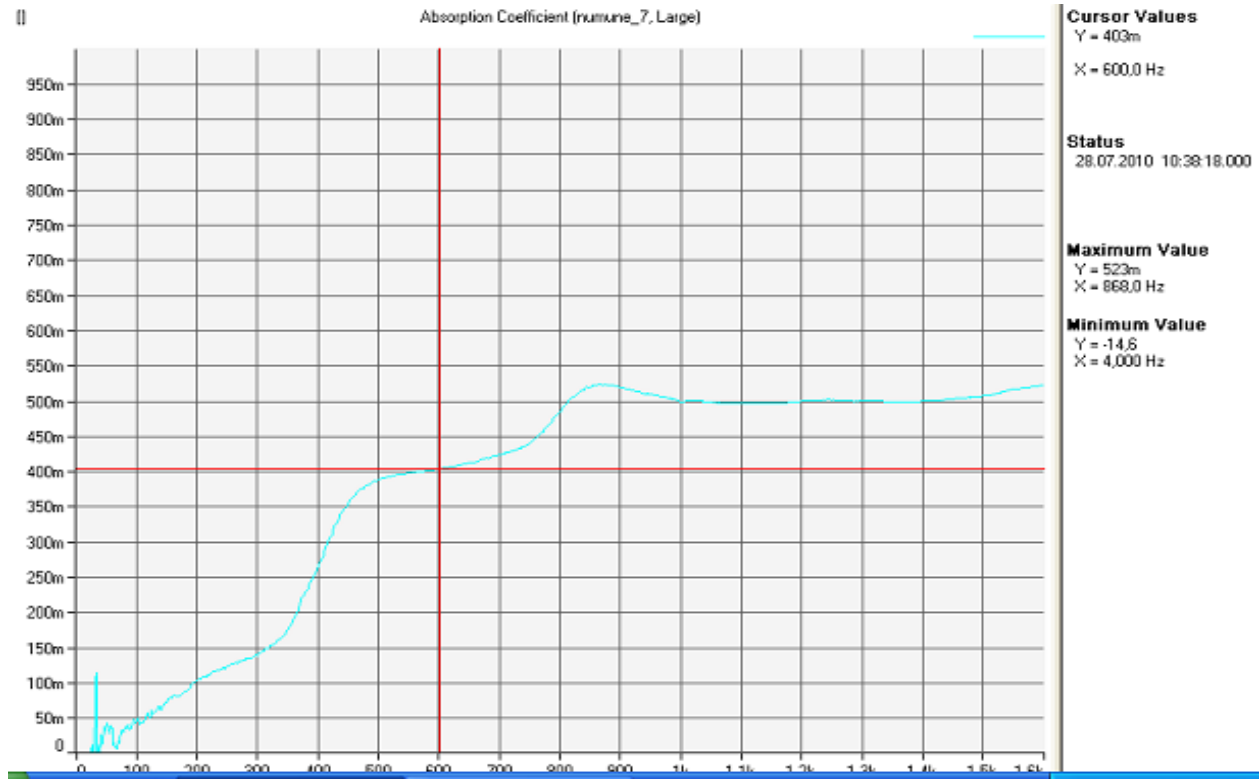
Şekil A.17 : Perlit No:2. (6 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



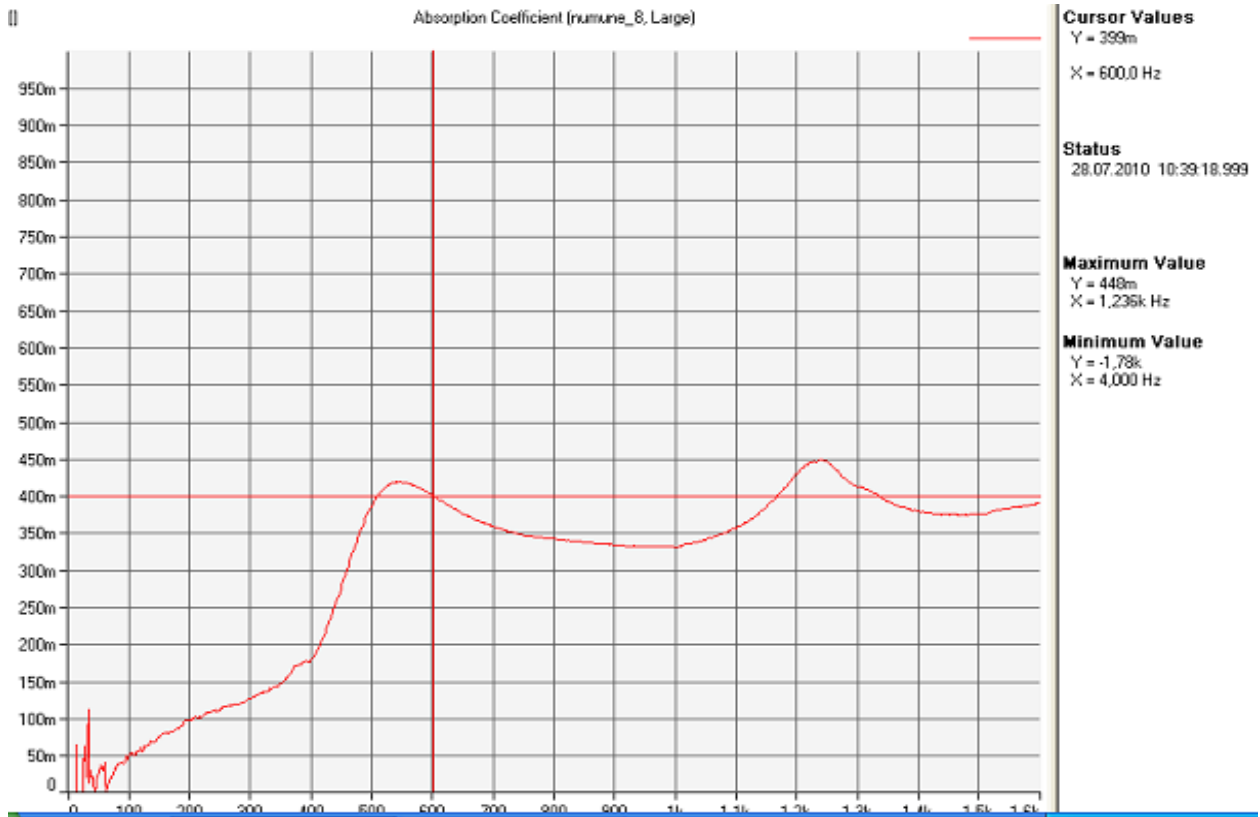
Şekil A.18 : Vermikülit. (6 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



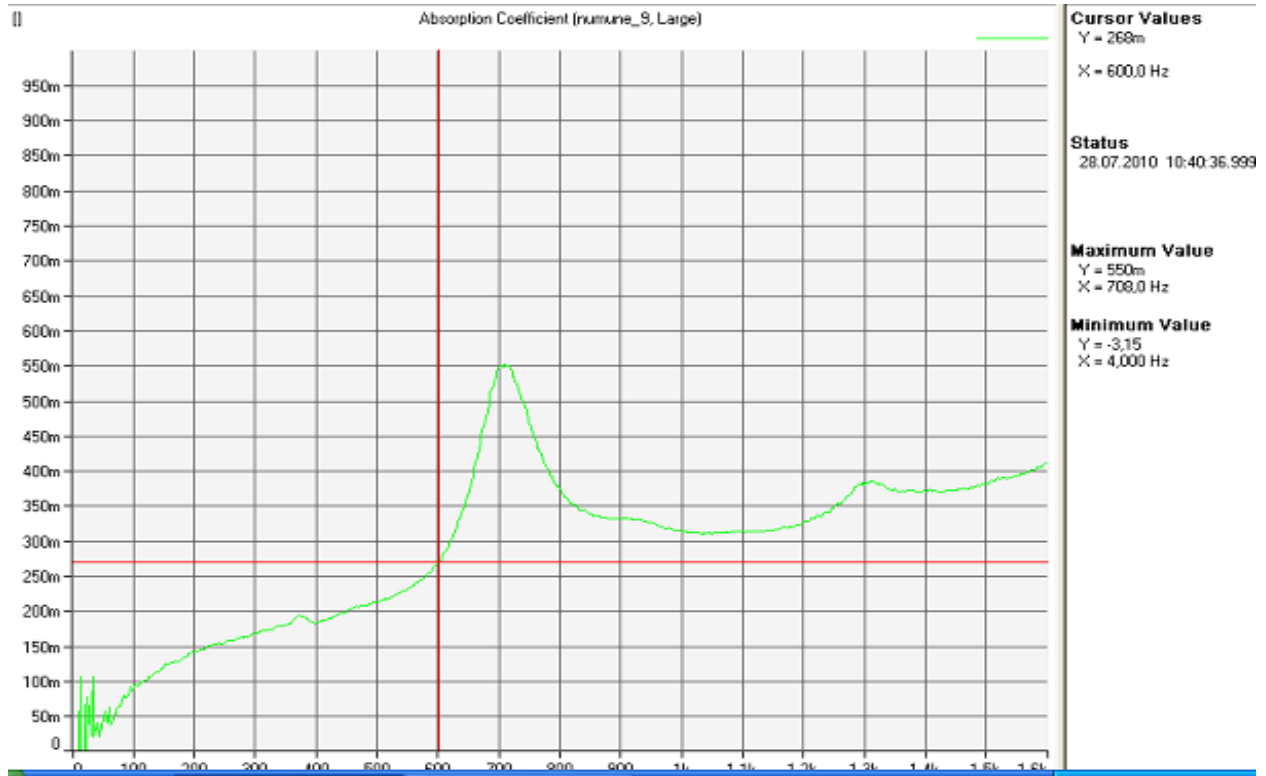
Şekil A.19 : Vermikülit. (8 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



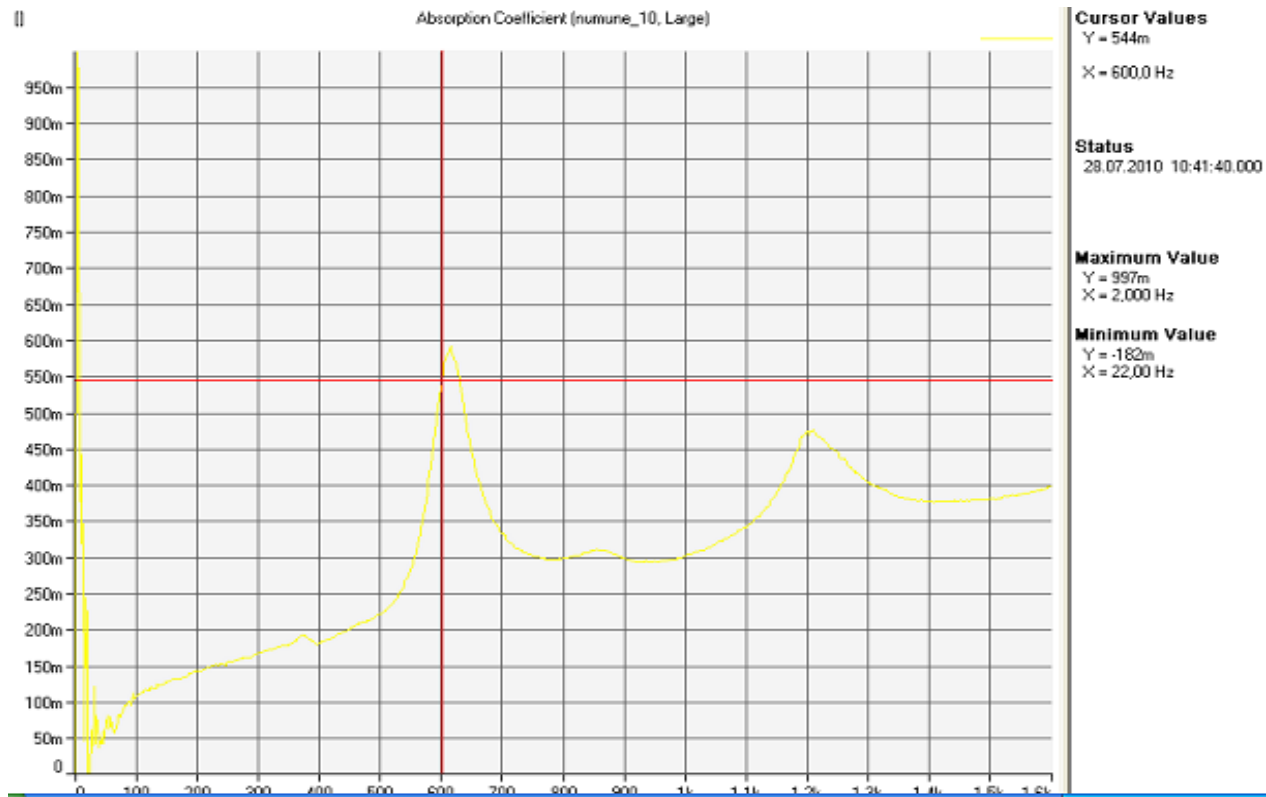
Şekil A.20 : Sepiolit. (10 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



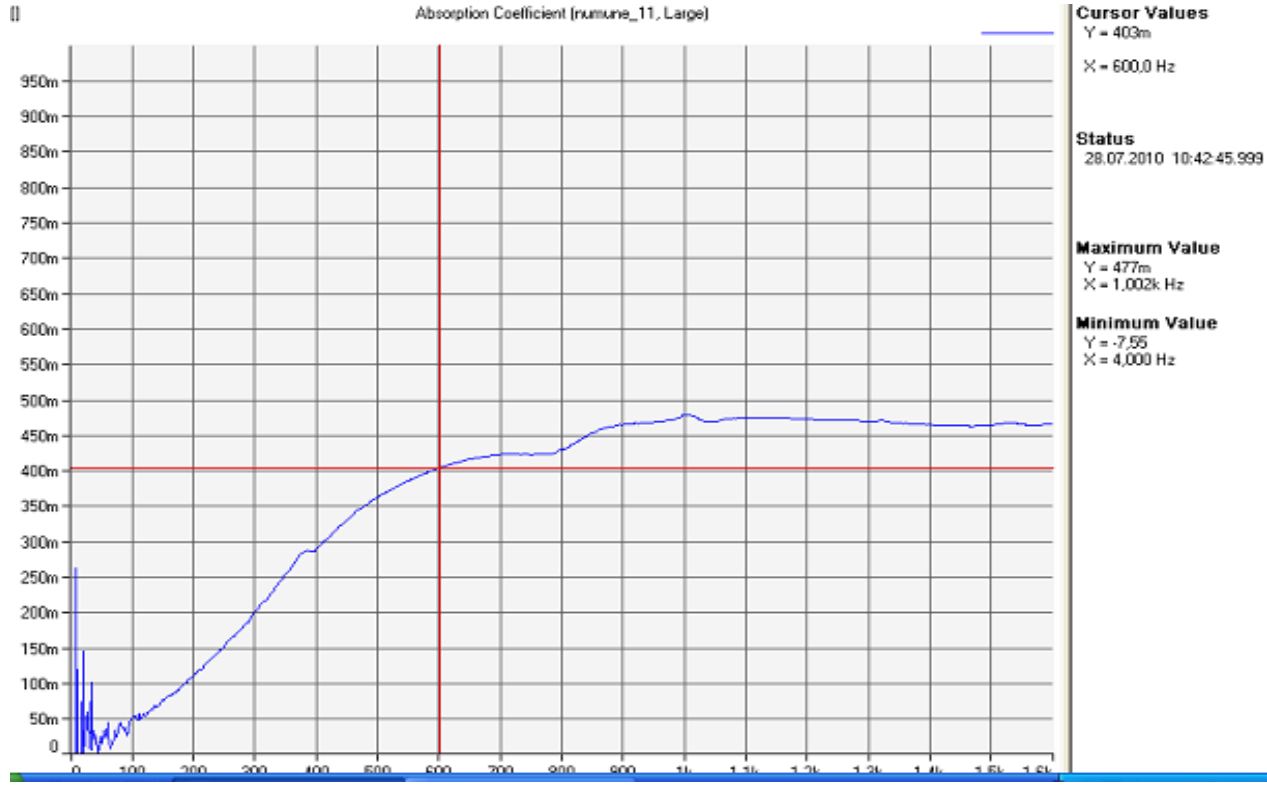
Şekil A.21 : Selüloz. (40 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



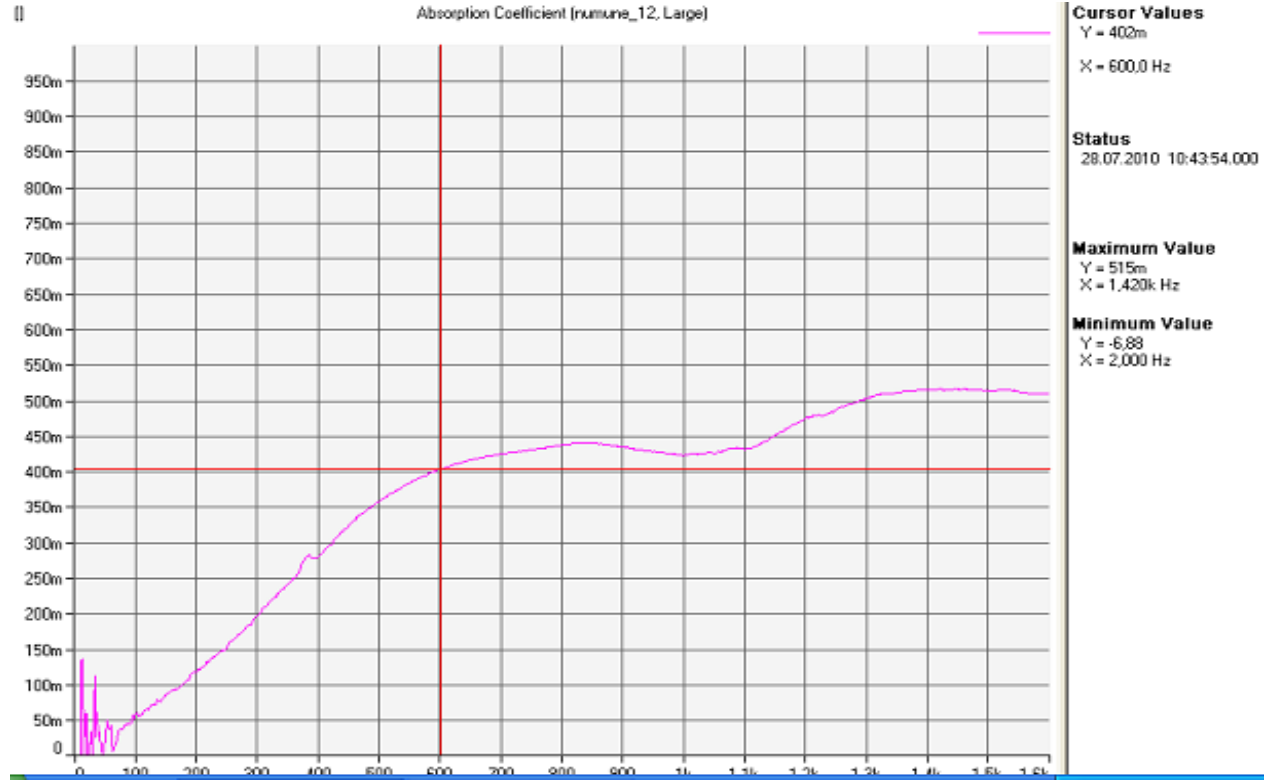
Şekil A.22 : Selüloz. (30 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



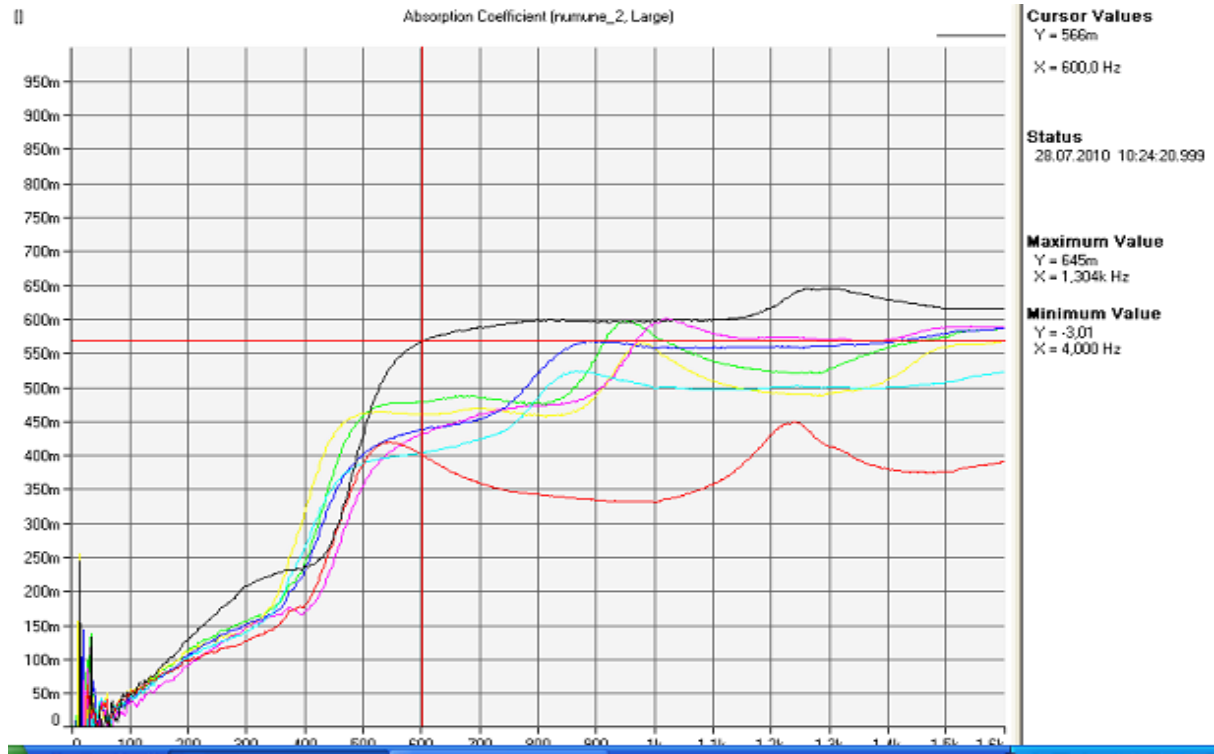
Şekil A.23 : Selüloz. (20 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



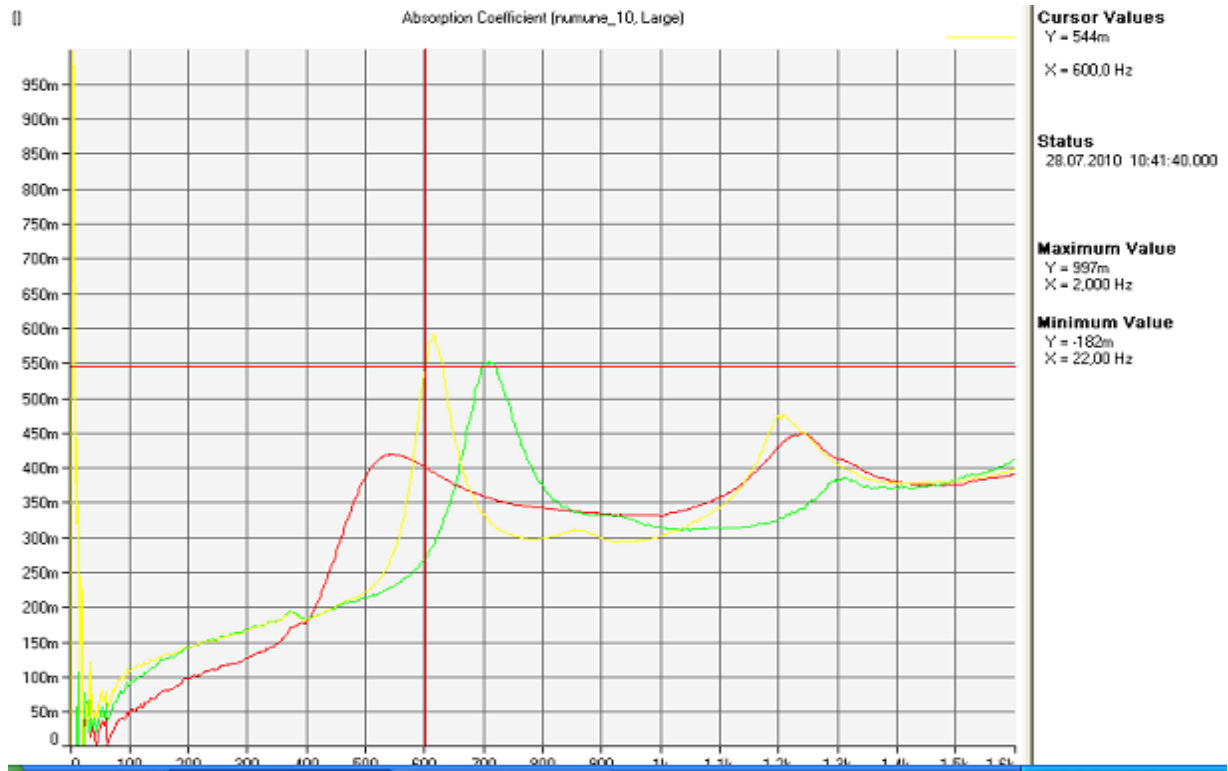
Şekil A.24 : Diatomit. (5 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



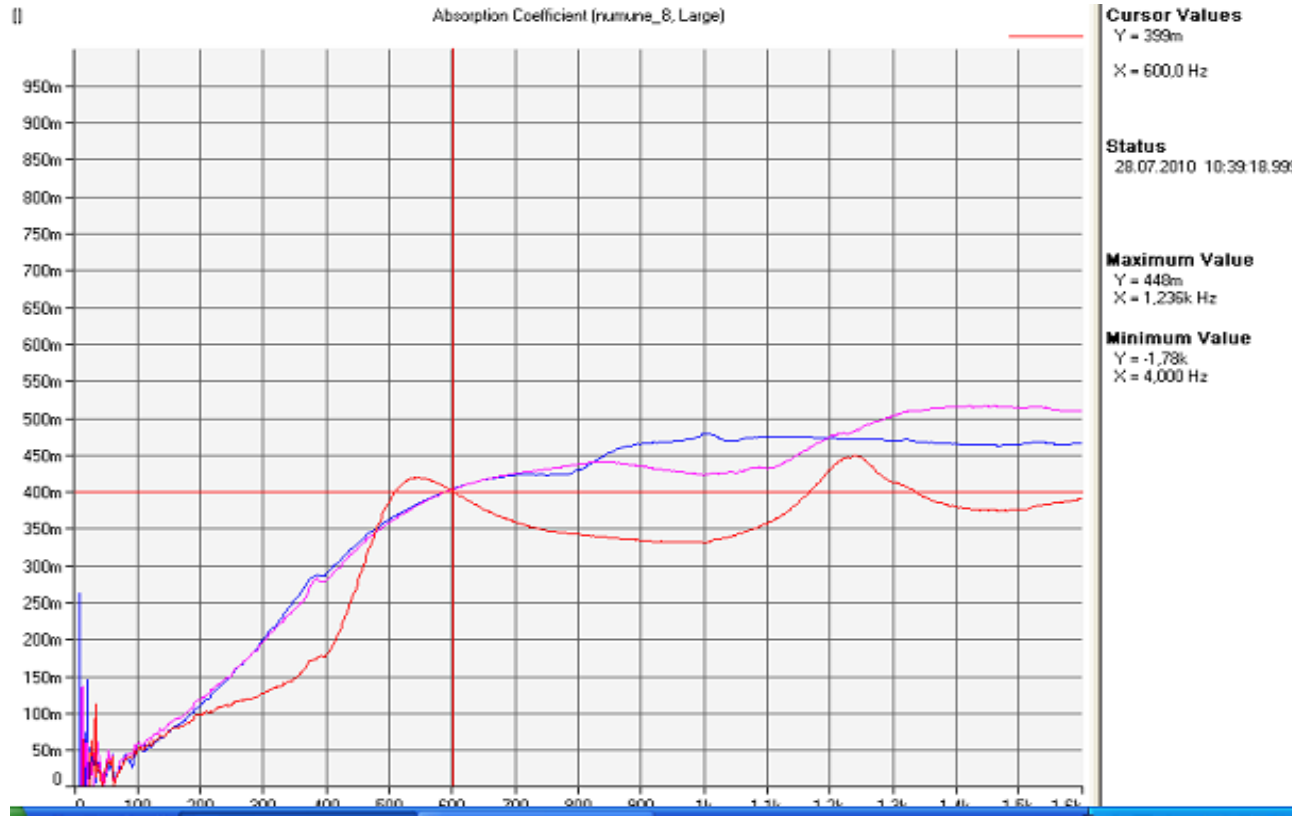
Şekil A.25 : Diatomit. (7 gr) numunenin LargeScale ölçüm grafiği



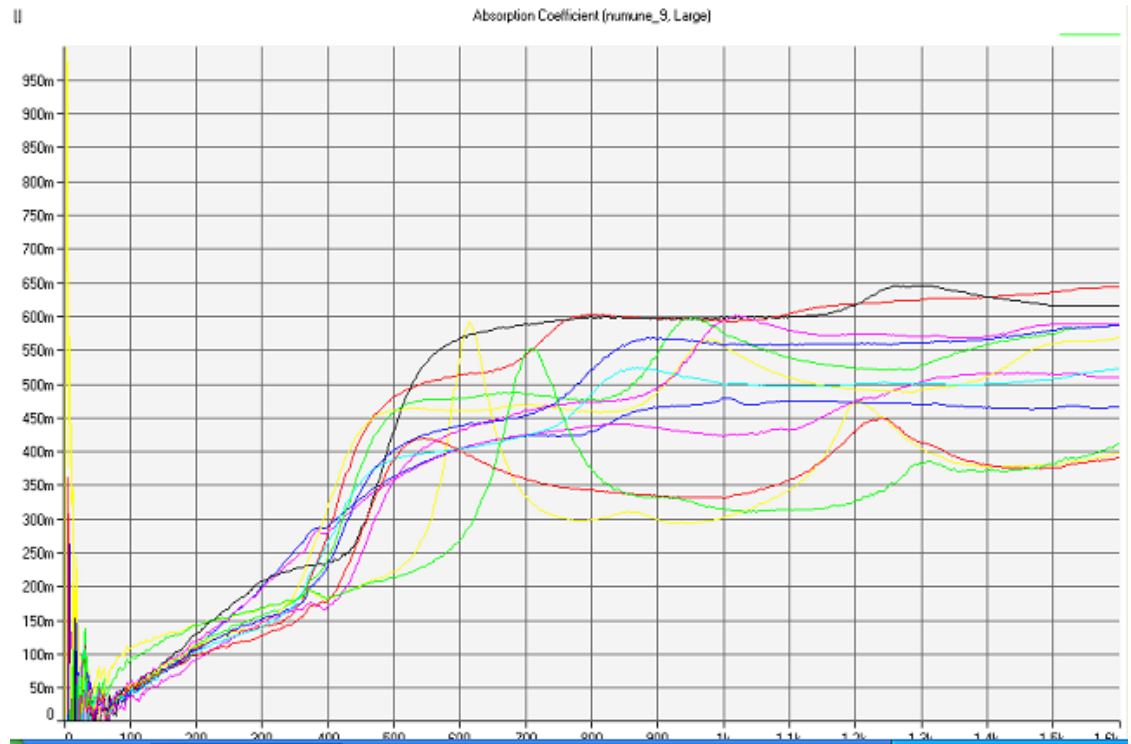
Şekil A.26 : 1-8 nolu numunelerin LargeScale ölçüm grafiği



Şekil A.27 : Selüloz. (20 gr).(30gr).(40gr)lık numunelerin LargeScale ölçüm grafiği

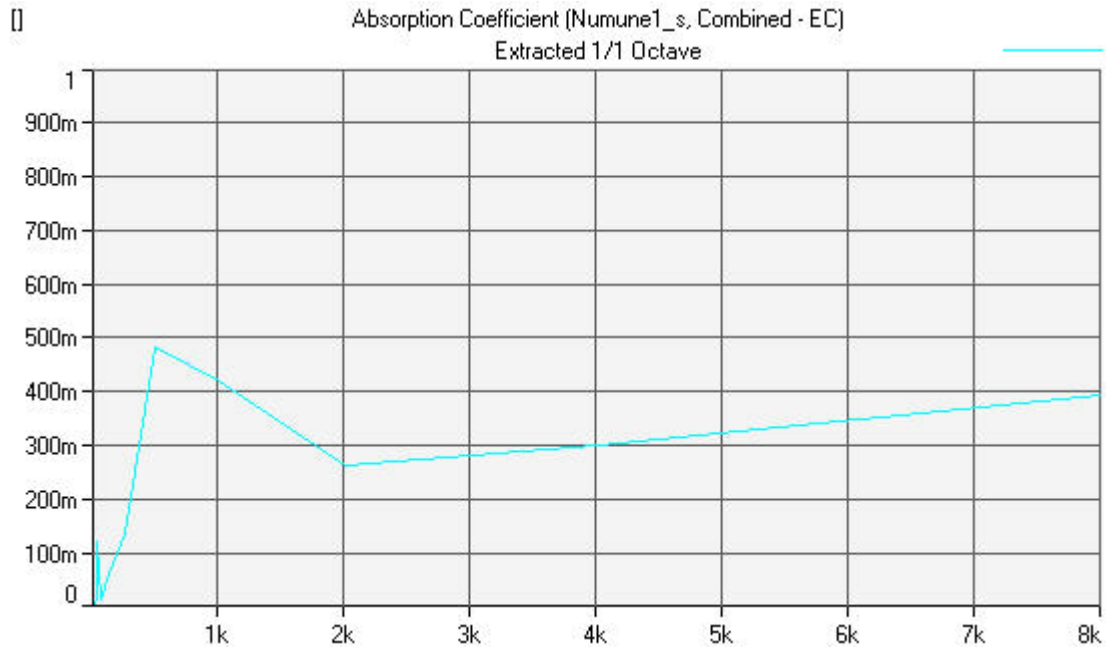


Şekil A.28 : 8.11 ve 12 nolu numunelerin LargeScale ölçüm grafiği

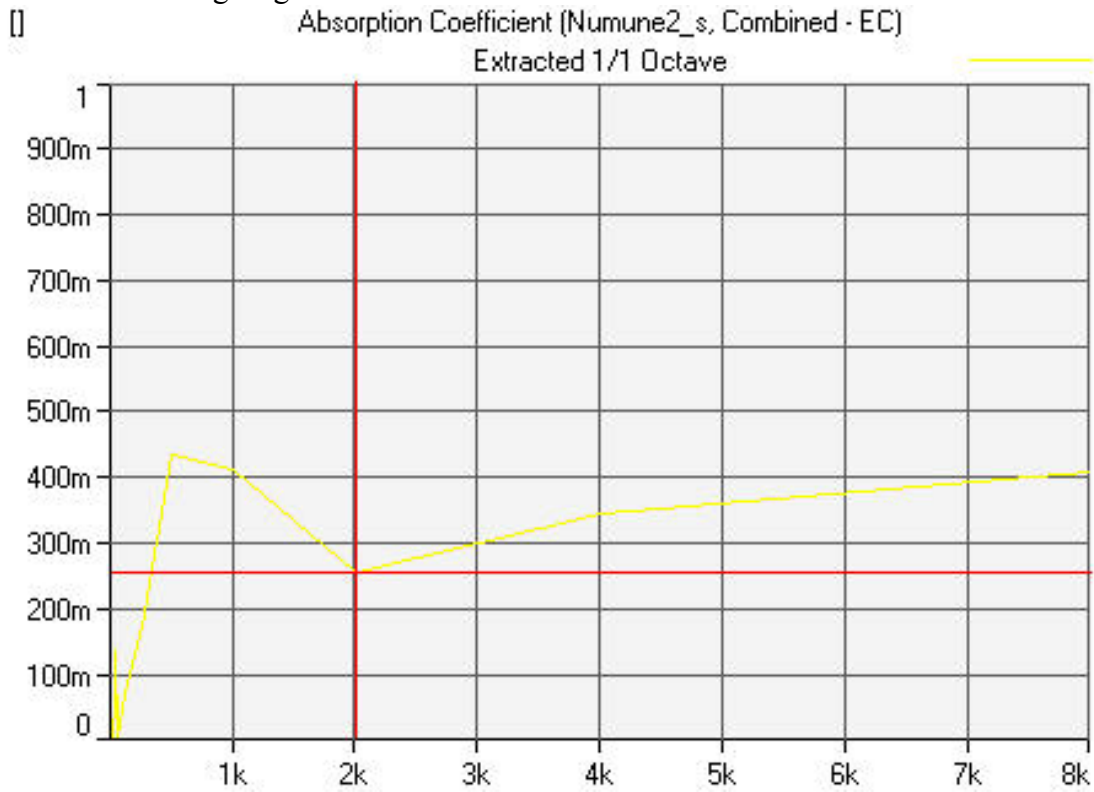


Şekil A.29 : Bütün numunelerin LargeScale ölçüm grafiği

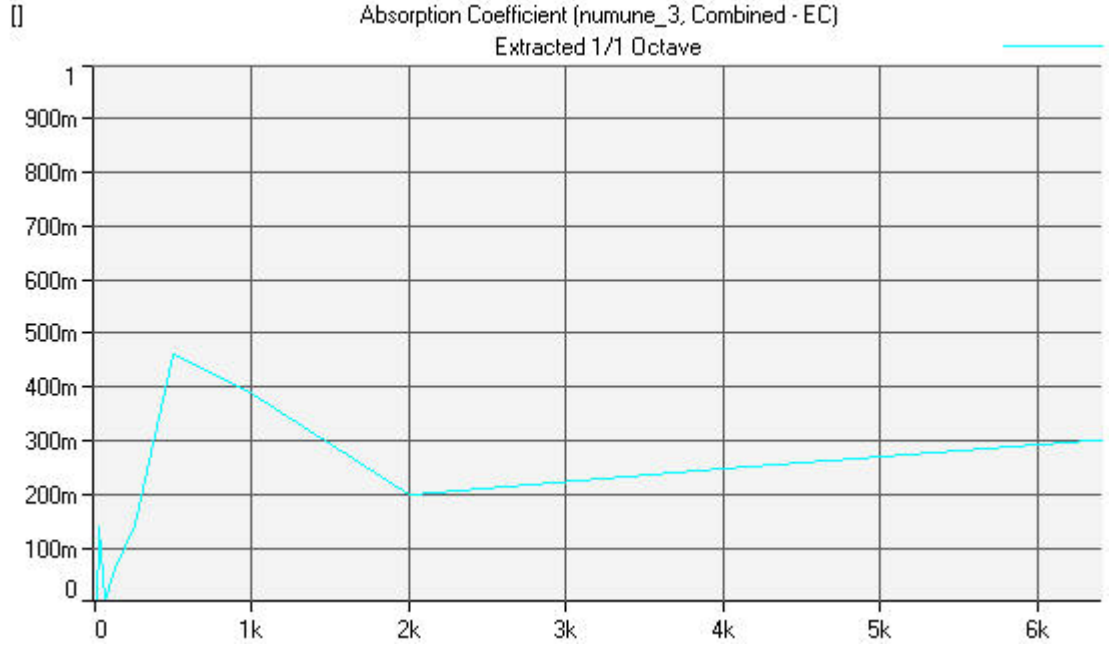
İTÜ Makina Fakültesi Akustik Laboratuvarı Large Scale (0-1600Hz) ve Small Scale (1600Hz- 8000Hz) ölçüm değerlerinin birleştirilmiş grafikleri



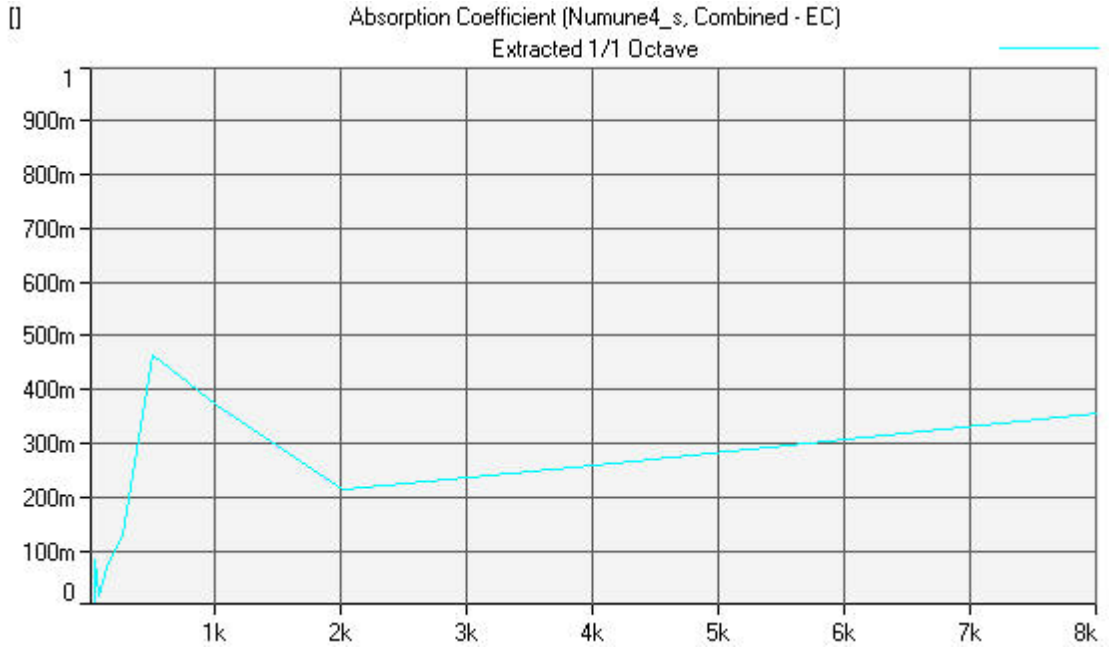
Şekil A.30 : Perlit No:12 (3gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



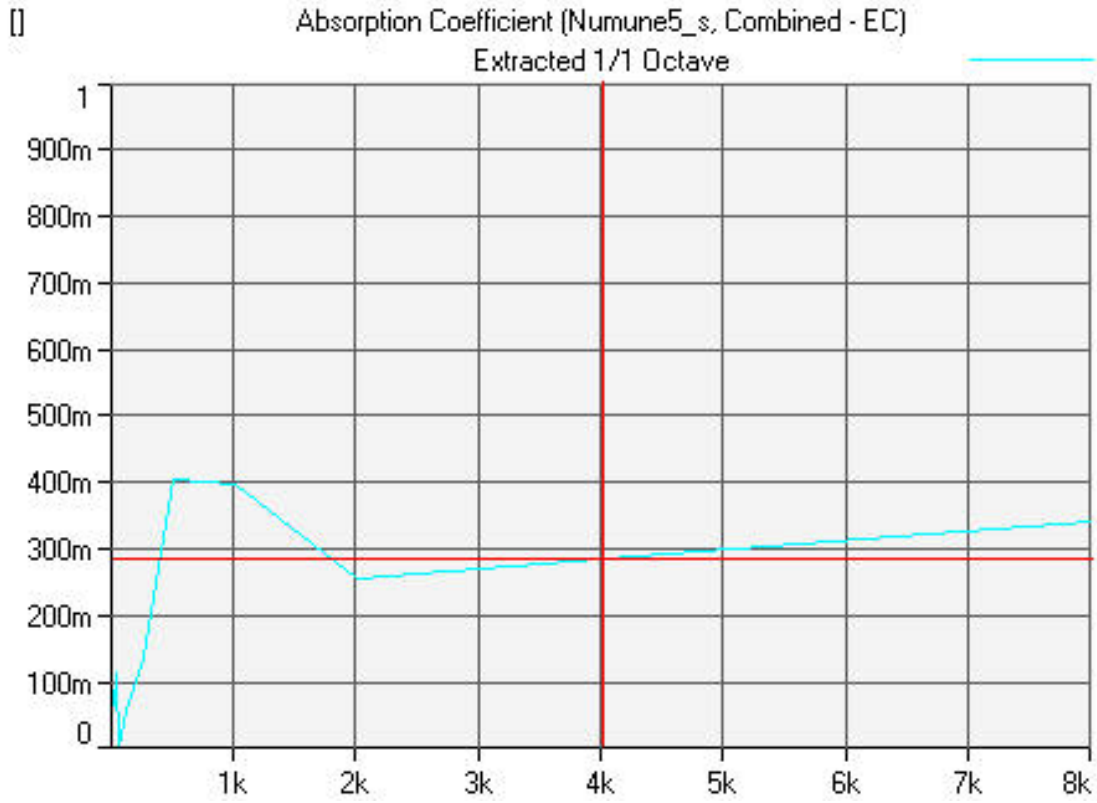
Şekil A.31 : Perlit No:12 (6gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



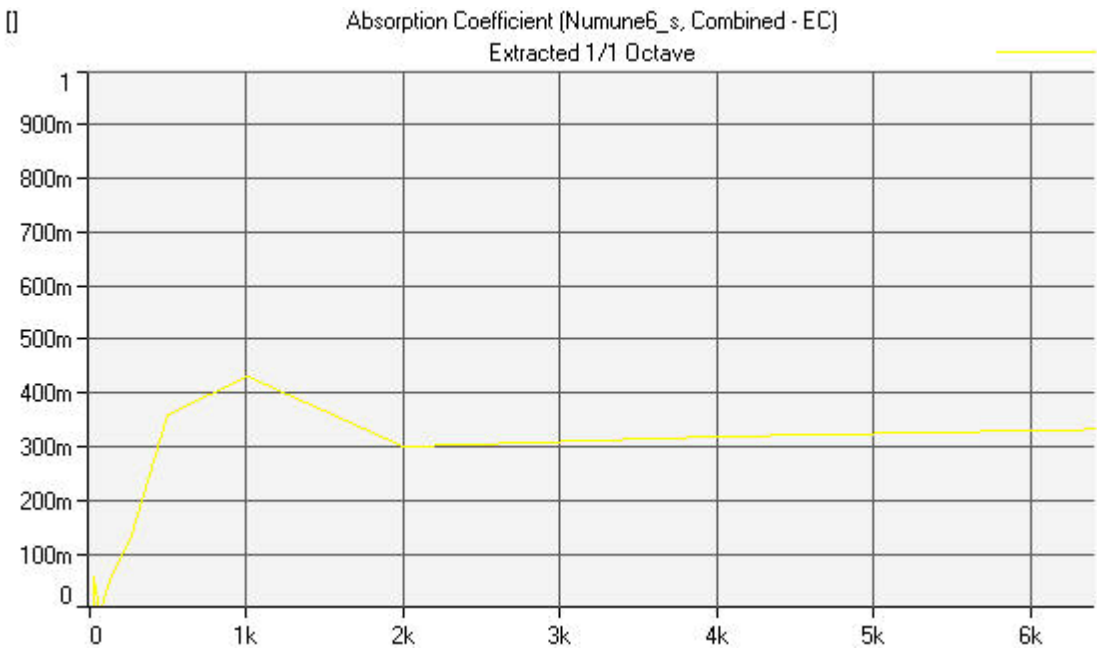
Şekil A.32 : Perlit No: 2 (3gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



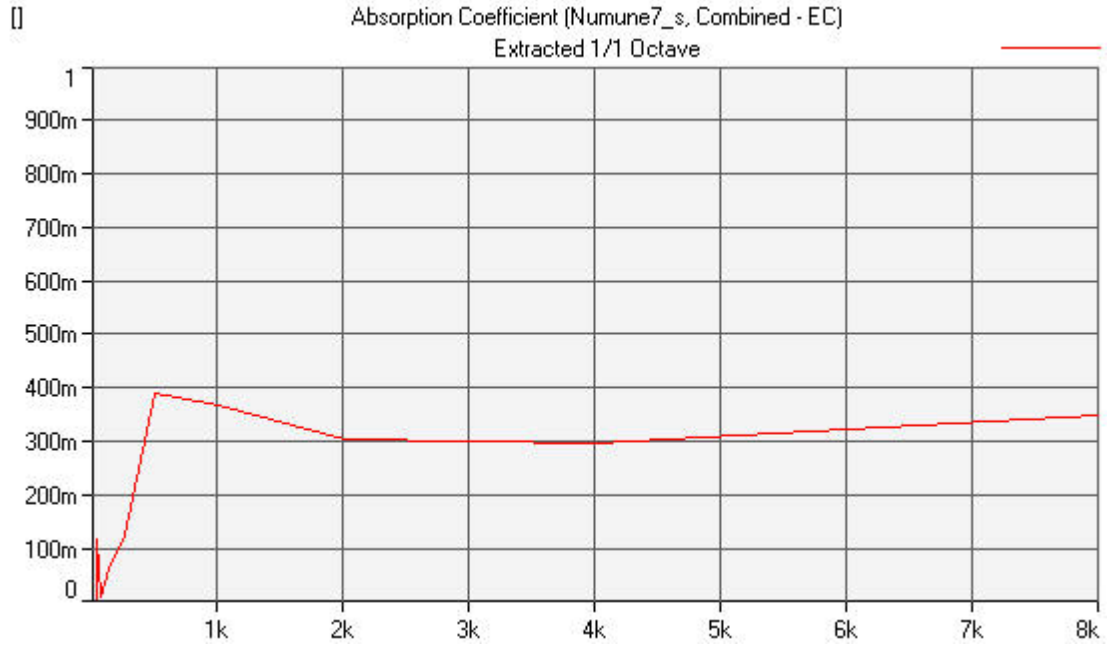
Şekil A.33 : Perlit No: 2 (6gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



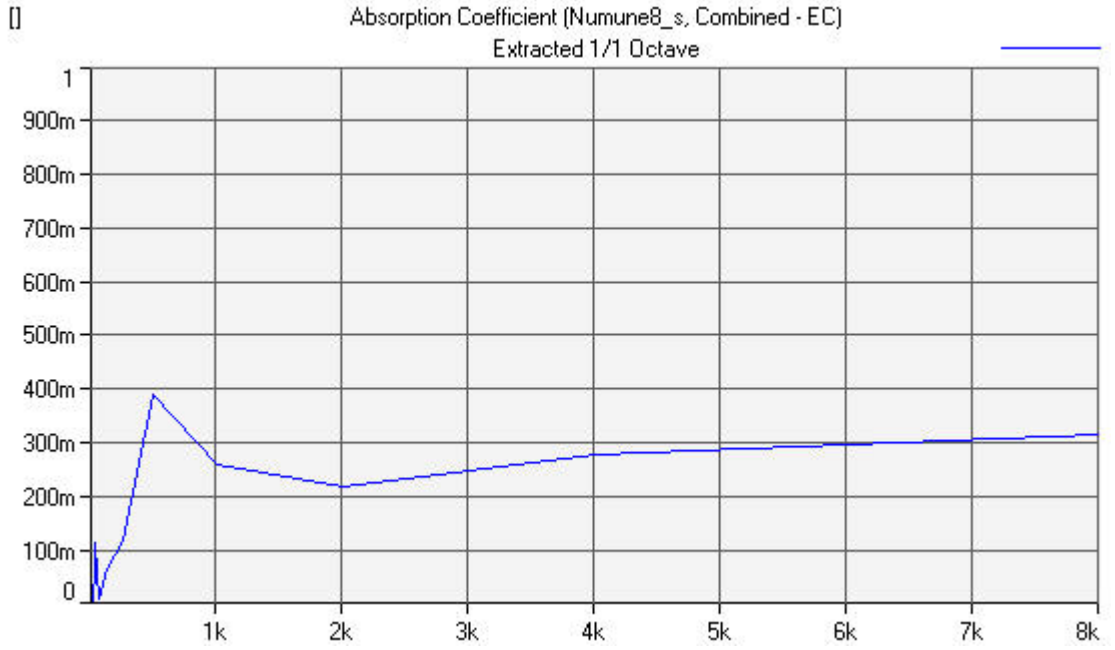
Şekil A.34 : Vermikülit (6gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



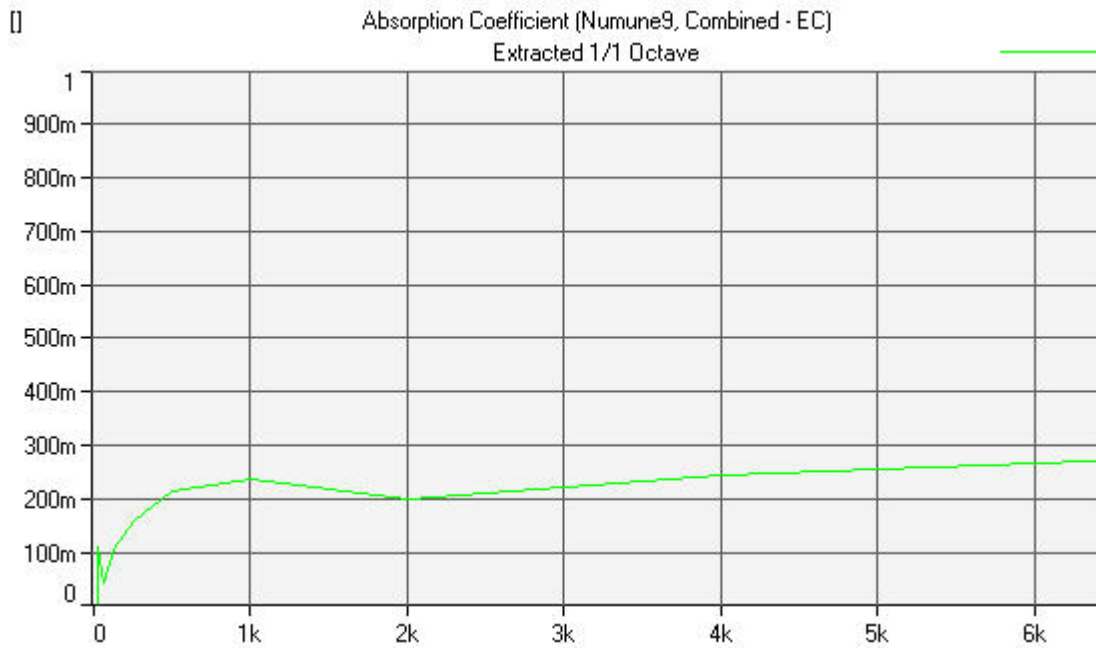
Şekil A.35 : Vermikülit (8gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



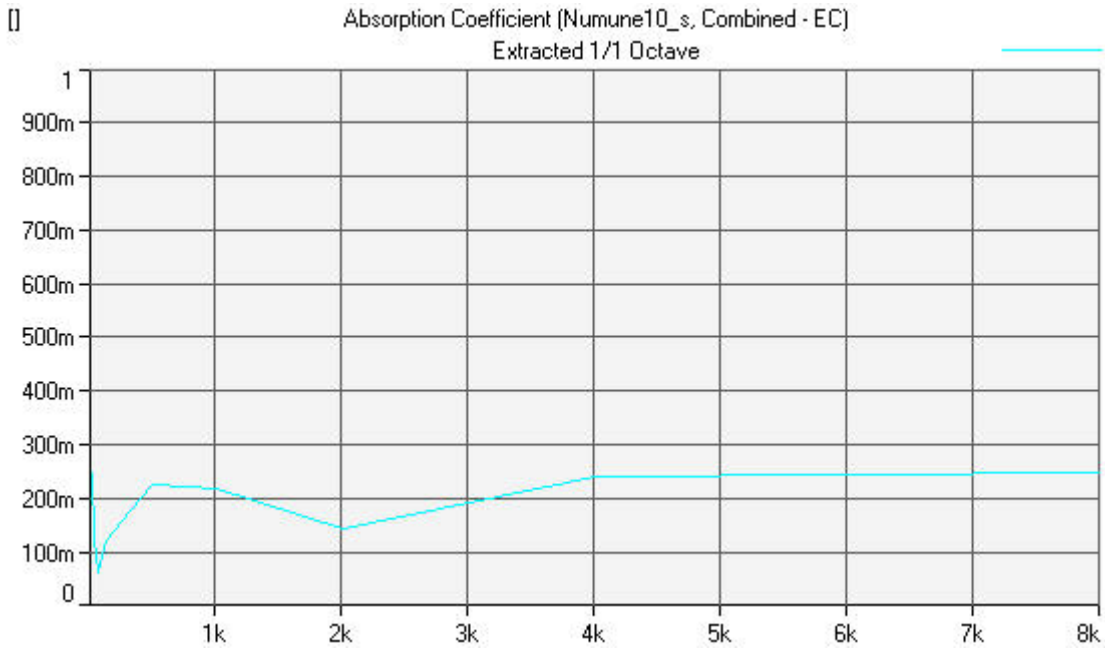
Şekil A.36 : Sepiolit (10gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



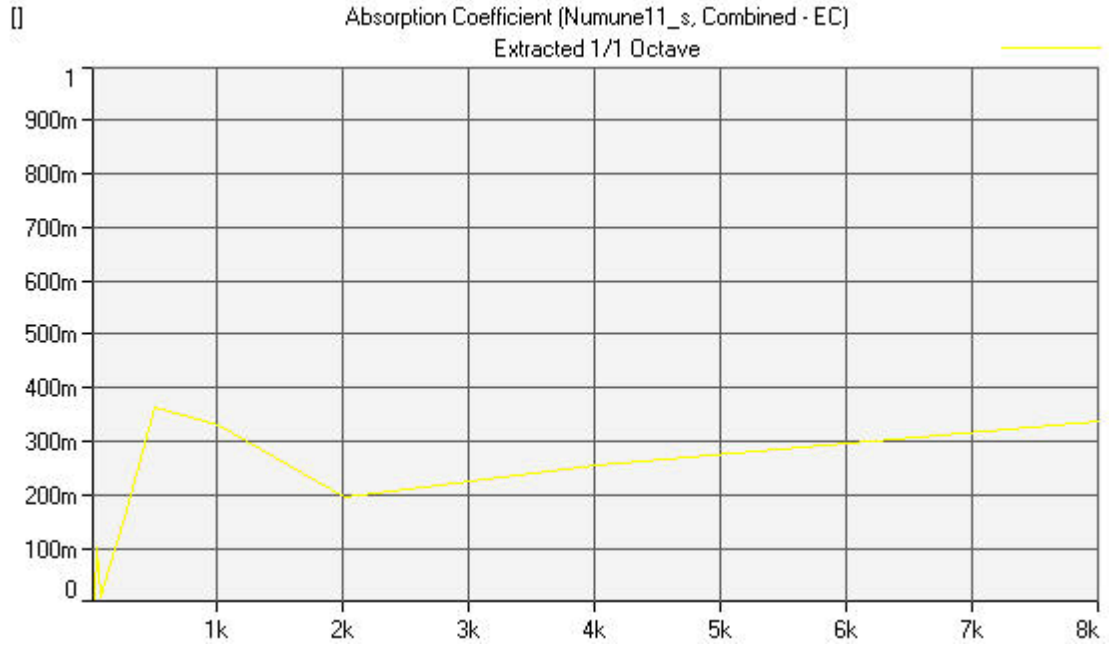
Şekil A.37 : Selüloz (40gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



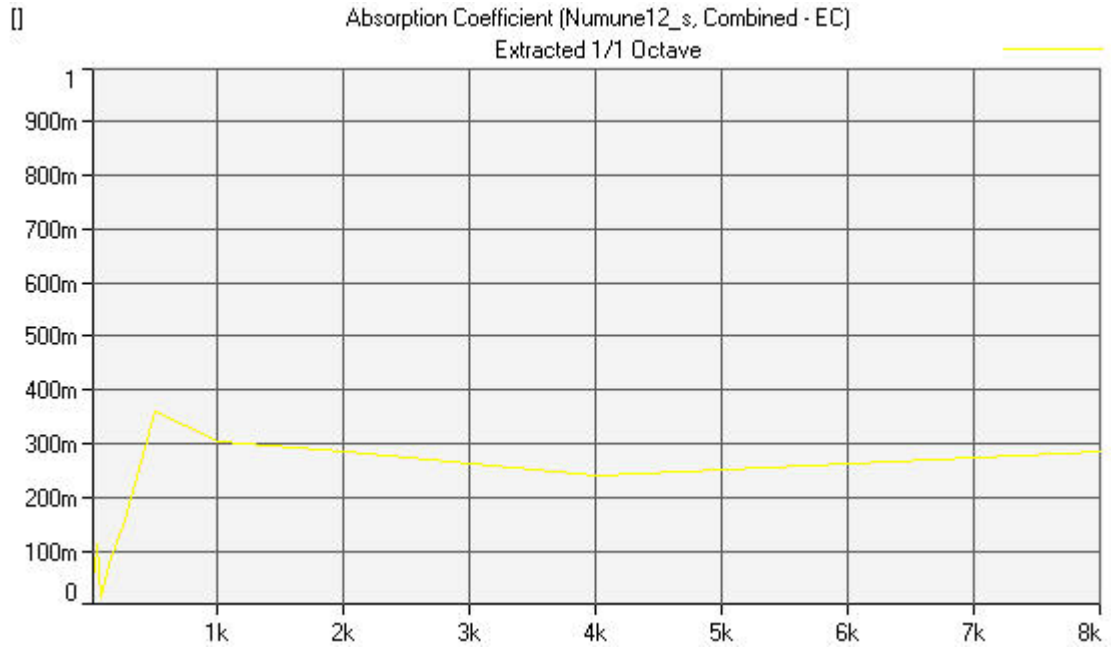
Şekil A.38 : Selüloz (30gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



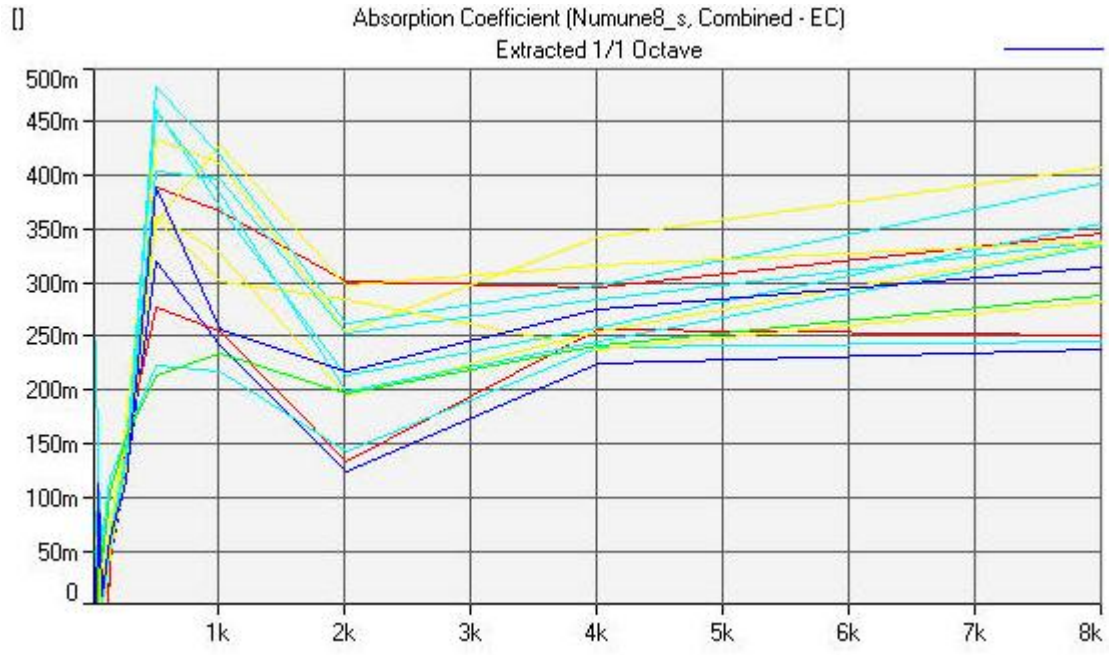
Şekil A.39 : Selüloz (20gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



Şekil A.40 : Diatomit (5 gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



Şekil A.41 : Diatomit (7 gr)'lık numunenin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği



Şekil A.42 : Bütün numunelerin birleştirilmiş ses yutum ölçüm grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İbrahim Ethem KARAAĞAÇLIOĞLU

Doğum Yeri/Tarihi: Diyarbakır, 15.10.1961

E-Posta: i_ethem@yahoo.com.tr

Lisans: İTÜ Maden Fakültesi Maden mühendisliği, 1984

Y.Lisans: İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği, 1990

(MBA) : İstanbul İşletme İktisadı Enstitüsü (Gece), 1997

Mesleki Deneyim: ETİBANK'ın farklı işletmelerinde görev , 1990-1999
Özel sektör, ticaret, 1999-2008

Yayınlar:

Karakaş, F., Boylu, F., **Karaağaçlıoğlu, İ. E.**, Çelik, M. S., (2010): Minerals in Paint Industry: Talc Utilization as an Extender Material and Its Effect on Paint Performance. *XIIth International Mineral Processing Symposium*, 6-8 Ekim, 2010, pp. 865-872, Nevşehir, Turkey.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Karaağaçlıoğlu, İ. E., Karakaş, F., Boylu, F., Çelik, M. S., (2010): Characterization and Production of Boron and Mineral Added Cellulosic Insulator, *XIIth International Mineral Processing Symposium*, 6-8 Ekim, 2010, pp. 1035-1042, Nevşehir, Turkey.

Karaağaçlıoğlu, İ. E., Karakaş, F., Boylu, F., Çelik, M. S., (2011): Development of Cellulosic Insulators with Various Mineral Additives, *2011 SME Annual Meeting and Exhibit, R.H.Yoon Symposium*, 2 Mart, 2011, Denver, Colorado, USA.

Karaağaçlıoğlu, İ. E., Çelik, M.S., (2011): Fire Retardant properties of various boron compounds in cellulosic insulators, *ISBB 2011, 17th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials*, 11–17, Eylül, 2011, Istanbul, Turkey.

