



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE ISI YALITIM
MALZEMELERİNİN ÖZELİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kadir ÖZGÜNDÜZ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Fahriye M. KILINÇKALE

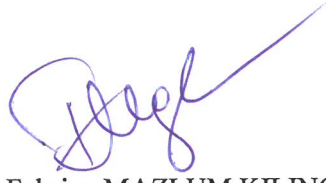
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 24.05.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak
kabul edilmiştir.

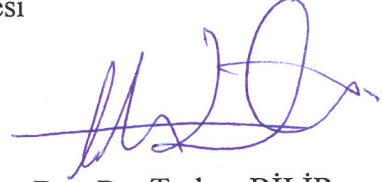
TEZ JÜRİSİ



Prof. Dr. Fahriye MAZLUM KILINÇKALE
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Fevziye AKÖZ
Hasan Kalyoncu Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Turhan BİLİR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Türkiye Cumhuriyeti'nin yetiştirdiği çok değerli bilim insanlarından lisans bitirme ve yüksek lisans tez hocam Prof. Dr. Fahriye MAZLUM KILINÇKALE'ye çalışmalarım boyunca verdiği desteği, olağanüstü bilgisi ve kıymetli yönlendirmeleri için sonsuz şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında ve her kararında benimle olan, bu süreçte desteklerini esirgemeyen biricik annem Gülay ÖZGÜNDÜZ ve babam Necdet ÖZGÜNDÜZ'e, beni teşvik eden ablama ve erkek kardeşime çok teşekkür ederim.

Ayrıca katkılarından ötürü kıymetli Prof. Dr. Neşet KADIRGAN'a, değerli tez jüri üyeleri; Prof. Dr. Fevziye AKÖZ ile Doç. Dr. Turhan BİLİR'e ve İZOCAM Ticaret ve Sanayi A.Ş. yetkililerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Kadir ÖZGÜNDÜZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. YALITIM GENEL.....	6
2.1.1. Su Yalıtımı.....	7
2.1.2. Isı Yalıtımı.....	8
2.1.3. Ses Yalıtımı.....	10
2.1.4. Yangın Yalıtımı.....	11
2.2. ISI TRANSFERİ VE YALITIMI.....	13
2.2.1. Isı Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri.....	18
2.2.1.1. Cam Yünü.....	21
2.2.1.2. Taş Yünü.....	22
2.2.1.3. EPS (Expanded Polystyrene - Genleştirilmiş Polistiren).....	22
2.2.1.4. XPS (Extruded Polystyrene - Ekstrüde Polistiren).....	23
2.2.1.5. Cam Köpüğü.....	23
2.2.1.6. Kalsiyum Silikat.....	24
2.2.1.7. Melamin Köpüğü.....	24
2.2.1.8. PVC Köpük.....	24
2.2.1.9. Fenol Köpüğü.....	24

2.2.1.10. Polietilen Köpük.....	25
2.2.1.11. Elastomerik Kauçuk Köpüğü.....	25
2.2.1.12. Poliüretan Köpük.....	25
2.2.1.13. Mineralize Ağaç Lifleri.....	25
2.2.1.14. Kenevir.....	25
2.2.1.15. Keten.....	26
2.2.1.16. Aerojel.....	26
2.2.1.17. Vakum Yalıtım Paneli (VIP - Vacuum Insulation Panels.....	26
2.3. YANGIN GENEL.....	26
2.3.1. Dünya’da Önemli Yangınlar.....	27
2.3.2. Yangının Aşamaları ve Deneylei.....	31
2.3.2.1. Tutuşmazlık Deneyi.....	33
2.3.2.2. Yangına Tepki Deneyi.....	34
2.3.2.3. Brüt Yanma Isısı Ölçme Deneyi.....	35
2.3.2.4. Tutuşabilirlik Deneyi.....	35
2.3.2.5. Eğilme Dayanımı Deneyi.....	35
2.3.2.6. Noktasal Yükleme (Basınç) Deneyi.....	36
2.3.3. Yangın Yalıtımı ve Önleme İlkeleri.....	36
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	39
3.1. ARAŞTIRILAN MALZEMELER VE ÖZELİKLERİ.....	39
3.2. YÖNTEM.....	39
4. BULGULAR.....	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: 1990 – 2040 arasında Dünya’da enerji tüketimi [1].....	1
Şekil 2.1: Örnek bir binada yalıtım uygulanan bölgeler [14].....	6
Şekil 2.2: Isı yalıtım malzemesi çalışma mekanizması.....	9
Şekil 2.3: Farklı durumlarda ses şiddetleri [22,23].....	10
Şekil 2.4: Sesin oluşumu [21].....	11
Şekil 2.5: Ses yalıtımı ve absorpsiyonu [24].....	11
Şekil 2.6: İletim (ing. Conduction), Taşınım (ing. Convection), Işınım (ing. Radiation) ile ısı transfer yöntemleri [31].....	14
Şekil 2.7: Moleküler aktivite sonucu enerjinin difüzyonla ısı iletimi [31].....	14
Şekil 2.8: İletimle ısı transferi örneği [27].....	15
Şekil 2.9: Konveksiyon Türleri: (a) Zorlanmış Konveksiyon, (b) Doğal Konveksiyon, (c) Kaynama, (d) Yoğunlaşma [31].....	15
Şekil 2.10: Taşınım ile ısı transferi örneği [27].....	16
Şekil 2.11: Işınım değişimi: (a) Bir yüzeyde ve (b) Bir yüzey ile büyük bir çevre arasında [31].....	16
Şekil 2.12: Işınım ile ısı transferi örneği [27].....	17
Şekil 2.13: Cam Yünü [35].....	21
Şekil 2.14: Taş Yünü [35].....	21
Şekil 2.15: EPS [35].....	23
Şekil 2.16: XPS [35].....	23
Şekil 2.17: Grenfell Tower'da cephe sistemi [54].....	30
Şekil 2.18: CCTV Tower yangından önce-sonra[53].....	31
Şekil 2.19: Yangın üçgeni [46].....	32
Şekil 2.20: Sıcaklık-Zaman ile Yangının Evreleri [56].....	32

Şekil 2.21: Tutuşmazlık deney aleti.....	34
Şekil 2.22: Yangına tepki deney aleti.....	34
Şekil 2.23: Patlamalı kalorimetre kabı.....	35
Şekil 2.24: Tutuşabilirlik deney aleti.....	35
Şekil 2.25: Maksimum yük F, iki mesnetin ortasına uygulanır.....	36
Şekil 2.26: Yük uygulandıktan sonra test elemanı.....	36
Şekil 3.1: Çok katmanlı yapı elemanında sıcaklık dağılımı[33].....	41
Şekil 4.1: Yoğuşma tahkikinde eleman kalınlıkları.....	43



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Yangın Zaman-Sıcaklık ilişkisi [27].....	11
Tablo 2.2: TS EN 13501-1 standardına göre yapı malzemelerinin yangın özellikleri [30].....	13
Tablo 2.3: Isı yalıtım malzemeleri sınıflandırılması [7].....	20
Tablo 2.4: Isı yalıtım malzemelerinde gerekli özellikler [37].....	20
Tablo 2.5: Kalsiyum Silikat ısı yalıtım malzemesinin 24 saat sonraki Rötne (%) - Sıcaklık ilişkisi [39].....	24
Tablo 2.6: Polimerlerin yanmasıyla çıkan gazlar [45].....	27
Tablo 2.7: 2014-2018 İstanbul'da ki yapısal yangınlar [48].....	28
Tablo 2.8: 2014-2018 İstanbul adrese dayalı nüfus verileri [49].....	28
Tablo 2.9: Dünya'dan bazı yangın örnekleri [50, 51, 52, 53, 54].....	29
Tablo 3.1: Cam yünü, taş yünü, XPS, EPS ısı yalıtım malzemeleri teknik özellikleri.....	39
Tablo 4.1: Cam yünü ve taş yünü özellikleri.....	42
Tablo 4.2: XPS ve EPS özellikleri.....	43
Tablo 4.3: Bazı ısı yalıtım malzemelerinin yanmasıyla çıkan gazlar ve miktarları [66].....	44
Tablo 4.4: Isı yalıtım malzemelerinin diğer özellikleri [67].....	44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

λ_h	: Isıl iletkenlik hesap değeri
μ	: Su buharı difüzyon direnç faktörü
α	: Ses yutma katsayısı

Kısaltmalar

Açıklama

BS	: İngiliz Standartı (ing. British Standard)
BTU	: British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi (ing. European Committee for Standardization)
CPD	: Yapı Ürün Direktifi (ing. Construction Product Directive)
EN	: Avrupa Standartları (ing. European Norm)
EPB	: Genleştirilmiş perlit
EPS	: Genleştirilmiş Polistiren (ing. Expanded Polystyrene)
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ing. International Organization for Standardization)
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
PUR	: Poliüretan
TS	: Türk Standartları
VIP	: Vakum Yalıtım Paneli (ing. Vacuum Insulation Panels)
XPS	: Ekstrüde Polistiren (ing. Extruded Polystyrene)

ÖZET

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN ÖZELİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir ÖZGÜNDÜZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Fahriye M. KILINÇKALE

Türkiye'de ve Dünya'da enerji tüketimi hızla artmaktadır. Enerji kaynaklarının büyük bir oranı binalarda ısı konforun sağlanması amacıyla ısıtma/soğutma için harcanmaktadır. Bu nedenle, binalarda harcanan enerjinin doğru bir yalıtımla minimuma indirilmesi gerekir.

Yalıtım malzemeleri yalıtım amaçlarına göre su, ısı, ses ve yangın olarak gruplandırılır. Isı yalıtımı yapılırken yangın gibi yüksek sıcaklık etkisi göz önüne alınmalıdır. Bina sayısının ve yoğunluğunun artması nedeniyle son yıllarda Türkiye'de ve Dünya'da yangın sonucu oluşan yapı hasarları önemli can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu etkilerle oluşabilen patlamalar betonda fiziksel ve mekanik özellikleri değiştirir. Bu sebeple yapı üretiminde ısı yalıtım malzemelerinin seçimi önem taşımaktadır. Yalıtım endüstrisinde en çok EPS, XPS, taş yünü ve cam yünü gibi ısı yalıtım malzemeleri kullanılır.

Bu çalışmada sektörde en çok kullanılan ısı yalıtım malzemelerinden dört tanesinde yoğunlaşma tahkiki yapılmıştır ve yanmasıyla çıkan gazlar araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, yanmaz nitelikteki ısı yalıtım malzemelerinin enerji tüketimini azaltırken yangının yayılmasını ve zehirli gazlarla can kayıplarını önlemesi için yapılacak çalışmaların önemli olduğu görülmüştür.

Mayıs 2019, 66 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yalıtım, Isı Yalıtımı, Yoğuşma, Enerji, Yangın Etkisi.



SUMMARY

INVESTIGATION OF PROPERTIES ON THERMAL INSULATION MATERIALS UNDER THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE

M.Sc. THESIS

Kadir ÖZGÜNDÜZ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Fahriye M. KILINÇKALE

The energy consumption is accelerating around in Turkey and in the World. A major part of energy resources is used for heating/cooling purposes in order to ensure thermal comfort in buildings. For this reason, the energy used to heat the buildings must be reduced to a minimum with a proper thermal insulation.

Insulation materials are grouped as moisture, thermal, acoustic and fire. When used for thermal insulation, high temperature effects like fire on the material must be considered. In the recent years, due to the increasing numbers and intensity of buildings the effects of fire in terms of damage result in loss of life and property in Turkey and in the World. Possible spalling and bursts that occur under these effects change the physical and mechanical properties of concrete. For this reason, the selection of thermal insulation materials are important. In the Insulation Industry, the most commonly used thermal insulation materials are EPS, XPS, rock wool and glass wool.

In this study, four of the most commonly used thermal insulation materials in the sector were tested for condensation calculations and the gases emitted by combustion were investigated.

The researches reveal that fireproof thermal insulation materials not only reduce the energy consumption but also reduce potential loss of life by preventing the spread of fire and the release of toxic gases. Therefore, next studies about this subject is very significant.

May 2019, 66 pages.

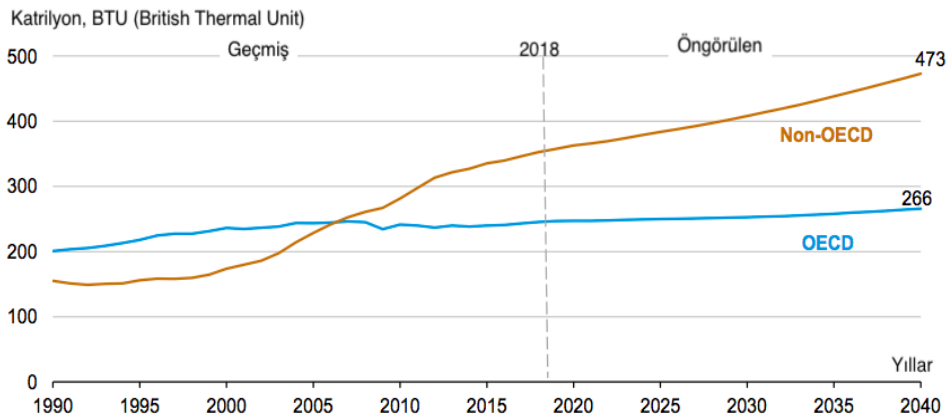
Keywords: Insulation, Thermal Insulation, Condensation, Energy, Fire Effect.



1. GİRİŞ

Türkiye’de, enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve verimliliğin Avrupa Birliği (AB) standartlarına yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Artan yapılaşma ve sektördeki büyüme ısı yalıtımının enerjide ki önemini ortaya koymaktadır. Isı yalıtım malzemelerinde; ısıl iletkenlik katsayısı düşük, yanmaz, kolay uygulanabilir ve ekonomik malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünya’da artan nüfusla enerji tüketimi yükselmektedir [1]. Enerji kaynaklarının hızla tüketilmesinden ötürü alternatif enerji kaynakları araştırmaları yoğun bir şekilde devam etmektedir. İnşaat sektöründeki enerji kullanımı, dünyada toplam tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü oluşturduğundan, yapıların enerji verimliliğini artırma çalışmaları önem kazanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 24 Haziran 2004 tarihinde onaylanan “Enerji Verimliliği Stratejisi” ile bu konuda önemli çalışmalar yapılmıştır. Avrupa Komisyonu Enerji ve Ulaşım Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalara göre, toplam enerjinin %32’si ulaşımda, %28’i endüstride ve %40’ı ise binalarda tüketilmektedir. Binalardaki enerji kullanımının ise %85’i ısıtmaya harcanmaktadır. Bu değerler, en büyük tasarrufun binalarda yapılabileceğini ve enerji tasarrufunun ısı yalıtımı ile sağlanabileceğini göstermektedir [2].



Şekil 1.1: 1990 – 2040 arasında Dünya’da enerji tüketimi [1].

Yalıtım teknolojileri sayesinde enerji kaybı %45-60 oranında düşürülebilmektedir [3]. Doğru yöntemlerle üretilen ısı yalıtım malzemeleri, eleman tasarımı ve uygulaması ile ısı yalıtım

performansı yüksek, ekonomik, çevre dostu, konforlu, sağlıklı ve sürdürülebilir koşulları sağlanmaktadır.

Son yıllarda Türkiye’de ve Dünya’da meydana gelen yangınlarda ısı yalıtım malzemeleri çok kısa sürede alevlenerek can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Ekonomik kayıpların yanı sıra, yüksek sıcaklıkla oluşan patlamalar betonda fiziksel ve mekanik özellikleri değiştirir. Bu sebeple doğru yöntemlerle üretilen ve seçilen ısı yalıtım malzemelerinin teknik şartnamelere uygun uygulamasının önemi ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın amacı, piyasada sık kullanılan binalardaki ısı yalıtım malzemelerinin yangın gibi yüksek sıcaklık etkisinde davranışını literatür taramasıyla değerlendirmek ve TS825’e göre yoğuşma tahkiki yapmaktır. Çalışma kapsamında 4 tane ısı yalıtım malzemesi; cam yünü, taş yünü, EPS, XPS ele alınmıştır; bu yalıtım malzemelerine TS 825 yoğuşma tahkiki yapılmıştır. Malzemelerden çıkan gazlar ve sağlığa etkisi incelenmiştir. Tartışma-Sonuç kısmında sonuçlar irdelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Yalıtım (ing. insulation), Latince “Insula” kelimesinden türetilmiştir ve ada (ing. island) anlamına gelmektedir. Yani yalıtım ile binanın bir ada gibi dışarıya karşı izole edilmesi istenir.

İlk insanlar soğuktan hayvan postlarıyla korunurken; taş, odun, toprak gibi malzemelerle de evler inşa ederek ısı yalıtımı sağlamışlardır. Ev inşasında kullanılan malzemeler ise coğrafik konuma ve iklim şartlarına göre değişmiştir. Kuzey Afrika yerlileri kil ve mantar karışımından evlerini inşa ederken; Mısırlılar toprakla inşa etmişlerdir. Gerçek anlamda ısı yalıtımı ise 19. yüzyılda Sanayi Devrimi ile ortaya çıkmıştır. Isı yalıtımı o dönemde buhar kazanları ve soğutma makineleri için kullanılırken, bazı ısı yalıtım malzemelerinin sanayinin gelişmesiyle ortaya çıkan gürültü problemini de engellediği görülmüştür. Bu yüzyılda parlak metalik yüzeylerin kullanıldığı yansıtıcı yalıtım malzemelerinin patenti alınmıştır. 1910’larda ise levha şeklinde yalıtım ürünleri piyasaya çıkmıştır. Ardından rijit yalıtım levhaları üretilmiştir. Cam elyafı ise 1930’larda üretime geçmiştir. II. Dünya Savaşı’yla birlikte Amerika Birleşik Devletleri’nde ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir. Yine bu tarihlerde Almanya’da ekstrüde ve genleştirilmiş polistiren malzemeler üretilmiştir [4, 5].

1973 Petrol Krizi, yalıtım açısından bir dönüm noktasıdır. Petrol ihraç eden ülkeler tarafından petrol arzının kısıtlanması ve fiyatının beklenmedik bir şekilde artırılması, enerji bakımından petrol ithal eden ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına ve var olan enerjiyi koruma arayışına itmiştir. Zamanla petrol fiyatlarının artmaya devam etmesi, enerji verimliliği çalışmalarını ülkeler açısından vazgeçilmez bir unsur haline getirmiştir. 21. yüzyıl başlarındaki Rusya-Ukrayna doğal gaz krizi, enerji krizlerinin hâlâ yaşanabileceğini göstermiştir [4, 5].

Yapılarda ve tesisatlarda iç ve dış ortamdaki ısı geçişinin sınırlandırılması için yapılan uygulamaya “Isı Yalıtımı” denir. Türkiye’de 1970’de yayımlanarak yürürlüğe giren “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” bu konudaki ilk mevzuattır. Binalarda ısı yalıtımı yapılmasını zorunlu hale getiren yönetmelik ise 08.05.2000’de yayımlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği”dir [6].

Literatür çalışması kapsamında SCI, Scopus, YÖK Ulusal Tez Merkezi, Google Scholar & Kitaplar'da yer alan makaleler, dergiler, tezler ve teknik kitaplardan faydalanılmıştır. TSE, BS, DIN Alman Şartname ve Yönetmelikleri, güncel yangın istatistikleri ile ilgili raporlar değerlendirilmiştir.

Yalıtımla ilgili yapılan çalışmalardan biri Karadayı ve Yüksek tarafından ısı yalıtımı seçimiyle ilgilidir. Bu çalışmada, enerji tüketiminde yapıların önemli bir payı olduğu ve malzeme seçiminin de bu pay da etkin olduğu saptanmıştır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartları kapsamında ısı yalıtım malzemeleri incelenmiş ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Çalışma sonucunda tasarımcıların çevreyle uyumlu ve dayanıklı, atık üretmeyen malzeme seçerek yapılarını oluşturmaları tavsiye edilmiştir [7].

Bayraktar, mevcut binalarda ısı yalıtımını yönetmelikler ve mühendislik bilimi çerçevesinde değerlendirdiği çalışmasında 2008'de yürürlüğe giren "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" ile standartlara uyumun yeni yapılarda uygulandığını, fakat mevcut binalarda yönetmeliğe uygun yapılaşmanın olmadığını tespit etmiştir. Yazarın bu konuda ki önerisi, basın-yayın ile kamuoyu oluşturulması ve enerji tasarrufu hakkında yapılan çalışmaların desteklenmesidir. Ayrıca mevcut yapı analiz çalışmasında, çoğu binada sadece mantolama olarak ısı yalıtımının yapıldığını; çatı, teras ve pencerenin bir bütün olarak ele alınmadığını saptamıştır [6].

Aditya vd. derleme çalışmasında, binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleriyle ilgili gelişmeleri araştırmış ve yaşam-döngüsü analizi yapmıştır. Isı yalıtım malzemelerinde amaç, bina ısı direncini artırarak enerji tüketimini azaltmaktır. Yalıtım kalınlığının artmasıyla, ısı iletkenlik azalır. Fakat bu maliyeti etkiler. Bu sebeple; fiberglass, taş yünü ve diğer ısı yalıtım malzemesinde optimum kalınlık önemlidir. Çalışmanın amacı, bina yalıtım uygulayıcıları ve geliştiricileri için referans teşkil etmektir [8].

Schiavoni vd. çalışmasında; çevre sorunlarını dikkate alarak, ticari, geleneksel ve alternatif yalıtım malzemelerinin ısı ve ses özelliklerini, yangına tepkisini ve su buharı difüzyon direncini göz önünde bulundurarak incelemiştir. Karşılaştırmalı analiz sonuçlarını, farklı yalıtım malzemeleri ve kurulum yöntemleriyle ortaya çıkarmıştır [9].

Wang vd. bu çalışmada, poliüretan ısı yalıtım malzemesinin yanıcılığını, koni kalorimetresinde deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Yangın geciktiricilerin tutuşma ve

yanıcılık üzerine etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, ilave alev geciktiricilerin kritik ısı akışını ve tutuşma sıcaklığını artırma eğiliminde olduğu bulunmuştur [10].

Özgünler vd. “Sürdürülebilir Binalarda Yangın Riskleri” analiz çalışmasında, Sürdürülebilir Binaların faydalarından, yönetmelik ve sertifika sistemlerinden ötürü binalara eklenen sistemlerin yangın durumunda nasıl davranacağını araştırmıştır. Sürdürülebilirlik kriterlerinin bina da yangın riskini artırdığını ve olabilecek yangının binanın ömrü boyunca salabileceği karbon ayak izinin yaklaşık %20’sini meydana getirdiğini çalışmasında ortaya koymuştur. Yeşil bina cephelerinde oluşabilecek yangın riskleri; kabukta kullanılan yalıtım malzemelerinden, sızdırmazlık ve yanmazlık katkılarından, atriumlar, yeşil çatı ve duvarlardan, iç mekân ve Güneş’ten faydalanmak amacıyla çatılarda kullanılan fotovoltaik panellerden kaynaklanabilmektedir. Bu çalışmada, yalıtım malzemelerinin kullanımında yanıcılık sınıfının, duman oranının, alevlenme hızının; yanmazlık katkılarında ise günlük kullanımda ve yangın anında zehirli etkilerinin bilinmesinin öneminden bahsedilmiştir [11].

Kılıç, “Türkiye’de Yüksek Binalar Güvenli mi?” isimli çalışmasında; “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik”e göre 51.50 metreden uzun olunca Yüksek Bina olarak tanımlanan, yazarın ifadesiyle “dikine yerleştirilmiş mahalle”leri yangın açısından güvenliğini incelemiştir. Türkiye’den ve Dünya’dan yangın örnekleri verdikten sonra yönetmeliğe göre bu tarz yapılarda bulunması gereken; otomatik yangın sistemleri, yangın merdivenleri ve asansörü, güvenlik holü, yangın dolapları, otomatik sulama sistemleri gibi zorunluluklardan bahsetmiştir. Türkiye’de ki binaları 3 kategoride toplamıştır. Bunlar; 2007’den önce yapılan ve yangın güvenlik önlemi olmayan yüksek binalar, 17 kata sahip yeni binalar, yangın tasarımı eksik ve periyodik bakımları ihmal edilen çok yüksek binalardır. Bu yapılar analiz edildikten sonra, önemli hatalardan bir diğerinin doğru malzemenin kullanılmamasından bahsetmiştir. Yüksek katlı yapılarda yangınların tamamının dış cepheden veya şaftlardan yukarıya doğru alevlenmeye başladığını, zor yanıcı malzemeler yerine normal alevlenici malzemelerin kullanıldığını ve bunların da büyük yangınlara sebep olabileceğini belirtmiştir [12].

Kılıç bir diğer çalışması “Cephe Kaplamaları ve Cephe Yangın Güvenliği”nde ise cephe yangınlarının fazlaşmasını malzeme çeşitliliğine bağlamıştır. Yangın yayılım hızının ise, cephe detayına ve geometrisine, yalıtım malzemelerinin yangın sınıfına bağlı olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonunda, yüksek katlı yapıların tasarımsal kusurları olmasa bile cephede

1. Tamamlanmamış çatı katı boşlukları.

(1A. Çatı erişim kapısı.)

2. Çatı katı odaları.

(2A. Diz duvarları (ing. Knee walls); 2B. Dış duvar ve çatı bağlantıları; 2C. Tavandaki soğuk alanlar; 2D. Hava akışını azaltmak için kiriş açıklığına yalıtım uzatması.)

3. Tüm dış duvarlar (3A. Yaşam alanları ve ısıtılmamış garajlar, çatılar veya depolama alanları arasındaki duvarlar; 3B. Yer seviyesinden yüksek temel duvarları; 3C. Isıtmalı bodrumlarda temel duvarlar, iç veya dış tam duvar.)

4. Soğuk alanların üzerindeki zeminler (4A. Konsolun ötesindeki dış duvar; 4B. Zemindeki döşeme plağı; 4C. Temel duvarları; 4D. Hava akışını azaltmak için kiriş açıklığına yalıtım uzatması.)

5. Grup kirişleri.

6. Pencere ve kapı çevreleri.

Birden fazla tipte ısı yalıtımı uygulaması yapılabilir. Yapı fiziği dikkate alınınca mantolamanın en uygun çözüm olduğu görülür. Çünkü dış yüzeyde sürekli yalıtım sağlanır; kolon, kiriş gibi elemanlarda ısı köprülerinin oluşması engellenmiş olur.

Yalıtım türüne göre dört grupta toplanabilir. Bunlar: Su, Isı, Ses ve Yangın Yalıtımıdır.

2.1.1. Su Yalıtımı

Yapıların yağmur, kar gibi yağış sularından; zeminden gelebilecek yeraltı sularından ve su buharından korunması amacıyla yapılan yalıtıma “Su Yalıtımı” denir. 25 m. taşıyıcı ayaklar üzerine oturtulan Babil’in Asma Bahçeleri, su yalıtımının ilklerindedir. Toprak dolgu terasa bitüm ve kurşun uygulanarak su geçişi engellenmiştir. Mısırlılar ise bitümden elde ettikleri parafini mumyalamada kullanmışlardır [15].

Baraj, havuz, tünel gibi yapıların çoğalmasıyla su yalıtımı uygulamaları daha yaygın hale gelmiştir. 20. yy. başlarında yapılan Berlin ve Paris metroları, okside bitümlü örtülerle kaplanarak su yalıtımı sağlanmıştır. Katmanlar arasına keçe, pamuk ve jüt (ing. jute) gibi

organik taşıyıcılar konulmuştur. Cam tülü gibi inorganik taşıyıcılı bitümlü örtüler ise 20. yy.'ın ikinci yarısından sonra üretilmiştir [15].

Fonksiyonlarına göre su yalıtım malzemeleri yüzeysel ve yapısal olarak gruplandırılırlar. Bunlar da kendi aralarında gruplandırılır. Doğru su yalıtımı malzemesi seçimi ve uygulaması, yapı hizmet ömrü boyunca konfor sağlar [16]. Su yalıtımı; suyun yapıya veya değdiği hacimlere zarar vermesini önler, toprakta bulunan ve yer altı sularıyla yapıya ulaşan her türlü malzemedan yapıyı korur [15].

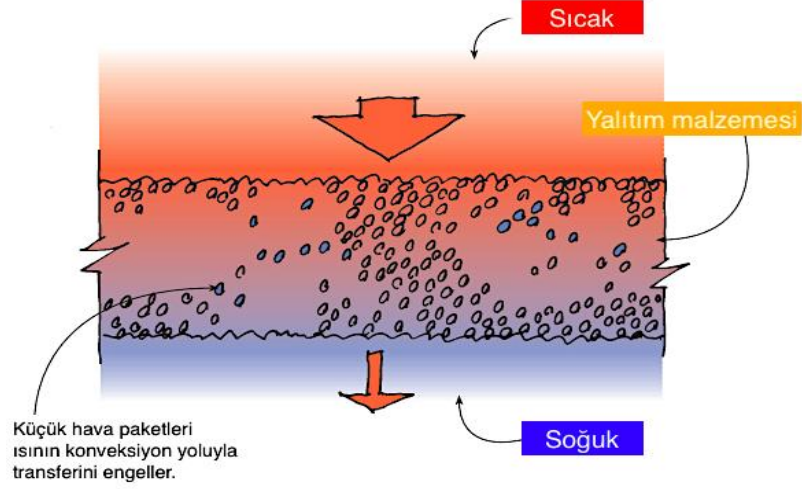
Türkiye'nin yüzölçümü bakımından topraklarının %92'si deprem kuşağındadır. Deprem sonrası yapılan araştırmalarda yapı hasarlarının önemli etkenlerinden biri de donatı korozyonudur. Yapının su almaması; nem, rutubet ve küf gibi problemlerinin olmaması korozyonu önleyebilir ve servis ömrünü uzatabilir. Bu da ulusal ve uluslararası şartnamelerden yararlanılarak yapılan doğru bir su yalıtımı ile mümkündür. [16, 17].

2.1.2. Isı Yalıtımı

Dünyada enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması üzerine gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler enerjiyi etkin kullanma ve alternatif enerji arayışı içine girmişlerdir. Yapılarda ısı kayıplarının azaltılması için çatıda, döşemede, bina kabuğunda hacimler arasında ve tesisatta yapılan işlemlere "Isı Yalıtımı" denir.

Isı, bir enerjidir ve sıcaklığın yüksek olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye geçmeye eğilimlidir. Doğru yapılmış, uygun kalınlıkta ve etkin ısı yalıtımı ise bu geçişi azaltarak enerjiden tasarruf amacıyla yapılır. Aynı zamanda ısı yalıtımı;

- Yapıda yakıt tüketimini azaltarak, ekonomiye katkı sağlar. Yapılan çalışmalar, yapıyı ısıtmak için gerekli enerjinin %45 - %60'ının doğru bir yalıtımla kurtarılabilceğini göstermektedir [3].
- Isıl konfor sağlar, ısı konfor hissi, yapı içindeki havanın ve çevresindeki yüzeylerin sıcaklığına bağlıdır. Isı yalıtımı olmayan yapılarda, hava sıcaklığı yüksek olsa dahi soğuk hissedilir. Bunun nedeni, hava akımı etkisidir [3]. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi yalıtım malzemesi, hava hareketini ve ısı transfer hızını azaltır ve mekândakiler ortamı konforlu bulur.



Şekil 2.2: Isı yalıtım malzemesi çalışma mekanizması.

- Duvar ve tavan yüzeylerinde yoğuşmayı önler. Malzemenin kendisinde yoğuşma olmaması için difüzyon tekniğine uyulması gerekir; yapı elemanının soğuk kısmına buhar kesici, sıcak kısmına yalıtım malzemesi konulmamalıdır [18].
- Yapı elemanlarını ısı farkından oluşacak gerilmelere karşı koruyarak, yüzeyde çatlak riskini azaltır.
- Etkin bir ısıtma sistemi tasarımı ile ortamda düzgün yayılmış bir sıcaklık sağlar.
- Yakıt tüketiminin azalmasıyla CO₂ gibi gazların %45'e kadar azalması hava kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynar [3].

Konutlarda yaklaşık olarak 7 kg/gün su buharlaşır ve bu sayı yapı içinde çamaşır kurulması halinde 15-20 kg/gün'e kadar çıkabilir. Bu sebeple yapı malzemelerinin su buharının yoğuşmasına izin vermemesi gerekir. Yapılan araştırmalarda, bina tasarımında 3 temel kusur saptanmıştır. Hatanın %47'sinin işçilik kusurlarından, %42'sinin yanlış tasarımdan ve %11'inin ön görülemeyen kullanım dışı hatalardan olduğu görülmüştür. Tüm bu hataları ise %50 oranında nem etkilemektedir [19].

Yoğuşma, atmosferdeki su buharının kendi sıcaklığından daha düşük sıcaklıkla karşılaşmasıyla gazdan sıvıya geçmesidir. Isı yalıtımı yapılmaması veya hatalı uygulama yoğuşmaya sebep olur. Yeterli kalınlığa sahip fakat μ değeri düşük malzemede yoğuşma

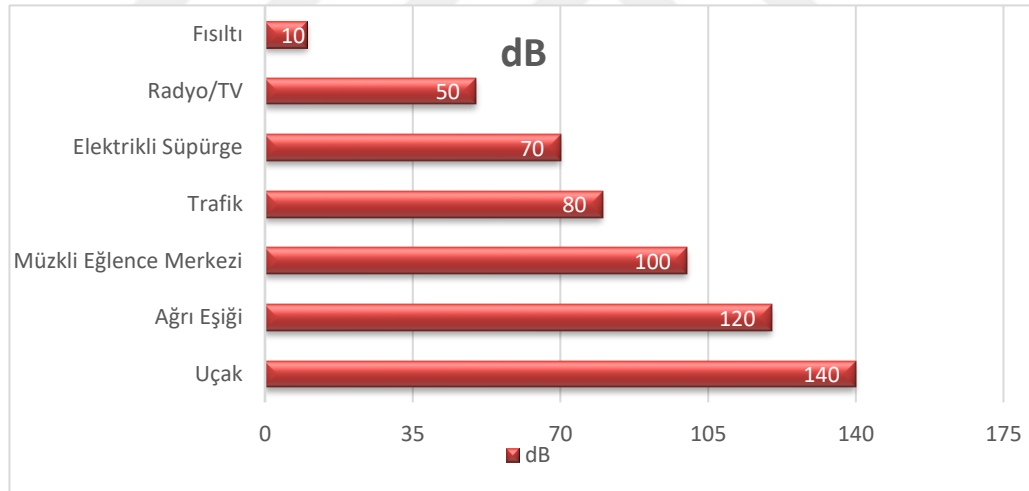
bünyede olur. Doğru kalınlık ve μ değerine sahip malzemede yoğuşma oluşması beklenmez. Yoğuşma, buna bağılı olarak terleme ve donma; doğru kalınlıkta, optimum μ değerine sahip ısı yalıtım malzemesiyle önlenabilir [20].

2.1.3. Ses Yalıtımı

Maddesel bir ortamda meydana gelen titreşimlere “Ses” denir. Ses, insanların algılayabildiği frekansta basınç dalgası olarak etkir. Basınç dalgasının enerjisi sesin şiddetini, frekansı da tonunu belirler. Havada titreşim oluştuğunda, bu titreşim Şekil 2.4’te görüldüğü gibi etrafındaki hava zerreciklerini hareket ettirir [21]. Ses enerjisi çok küçüktür ve desibel (dB) denen bir birimle ölçülür. Bir ses dalgasının şiddeti o sesin birim alana etkiyen E enerjisinin, başlangıç enerjisi E_0 ’a oranına bağılı olarak Denklem 2.1 ile tanımlanır [22].

$$\beta = 10 \times \log E/E_0 \quad (2.1)$$

Şekil 2.3’te farklı durumlardaki ses şiddetleri verilmiştir.

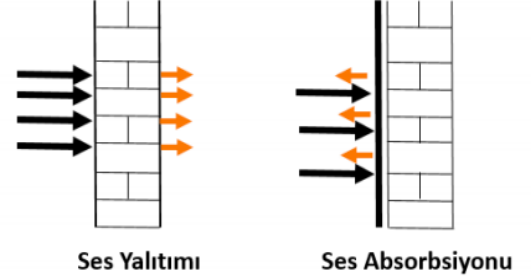
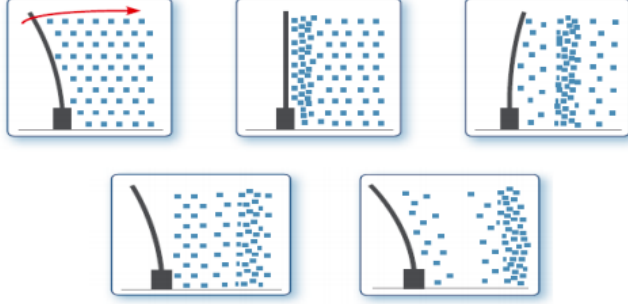


Şekil 2.3: Farklı durumlarda ses şiddetleri [22, 23].

Sesin şiddetinden başka frekansı da önemlidir. Ses dalgalarının 1 saniyedeki sayısına frekans denir. Birimi Hertz (Hz)’dir. İnsan kulağı 30-20000 Hz arasında kalan frekansları duyabilir. 250 Hz’den aşağısı düşük, 250-1000 Hz arası orta, 1000 Hz’den yukarı olanlar yüksek frekanslı sayılır [22].

Sesten korunmak için iki yöntem vardır; “Ses Absorbsiyonu (Emilmesi)” ve “Ses Yalıtımı”. Ses absorbsiyonunda ses kaynağından çıkan sesin bir kısmı yalıtım malzemesi içinde sürtünürken, diğer kısmı ısı enerjisine dönüşerek emilir. Ses yalıtımında ise, ses dalgalarının

ortamından farklı yoğunlukta olan ortamda bir engelle karşılaşırsa enerjinin bir bölümü yansıtılır, diğer bölümü de ısı enerjisine dönüşerek emilir [24].



Şekil 2.4: Sesin oluşumu [21].

Şekil 2.5: Ses yalıtımı ve absorpsiyonu [24].

Ses yalıtımı, iç ortam-çevre arasında gürültü geçişini azaltarak gürültü kirliliğini önler. Mevcut bir sistemde buna önlem alınmasının masraflı olması ve zaman kaybı oluşturması sebebiyle, planlama aşamasında gerekli önlemler alınmalıdır. Bu doğrultuda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" kurallarına uyulmalıdır. Yönetmeliğin amacı; her türlü yapı, bina, tesis ve işletmenin işletim ve kullanım safhalarında insanların maruz kalacağı gürültülerin, kişilerin beden ve ruh sağlığına olumsuz etkilerini en aza indirecek ortam koşullarının sağlanması için, tasarım, yapım, kullanım, bakım ve işletim bakımından uyulması gereken kuralların belirlenmesidir [25].

2.1.4. Yangın Yalıtımı

Yanıcı malzeme, oksijen ve ısı kaynağı bir yangının başlaması için birlikte bulunması gereken üç koşuldur. Yangın anında sıcaklık zamana bağlı olarak hızla yükselir. Tablo 2.1'de görüldüğü gibi en büyük sıcaklık artışı ilk 5 dakika içerisinde gerçekleşmektedir. İnsan vücudu 177°C sıcaklığa sadece 1 dakika dayanabilir, bu sebeple yangın anında saniyeler bile önemlidir [26, 27].

Tablo 2.1: Yangın Zaman-Sıcaklık ilişkisi [27].

Zaman (dakika)	5.	10.	15.	30.	60.
Sıcaklık (°C)	555	660	720	820	927

Bina yangınları, tüm yangın olaylarında ilk sırada yer almaktadır, bu sebeple “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” kurallarına göre tasarım yapmak ve yangın çıktığında dış cephelerde yangını hızlandırıp yayacak malzeme kullanımından kaçınmak yangın güvenliği bakımından çok önemlidir. Bunun gibi yangını sınırlandırıcı etkilere “Yangın Yalıtımı” denir [28].

Yapı malzemelerinin yangın olayında üstün performans göstermesi için aşağıdaki özelliklerin bilinerek malzeme seçilmesi gerekir [29]:

- Yanıcılığı ve yanıcılık grubu
- Isıl genişmesi
- Isıl iletkenlik hesap değeri ve ısıl difüzyon katsayısı
- Malzeme basınç dayanımı ve deformasyon yeteneği
- Yangın dayanımı
- Malzemenin elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi.

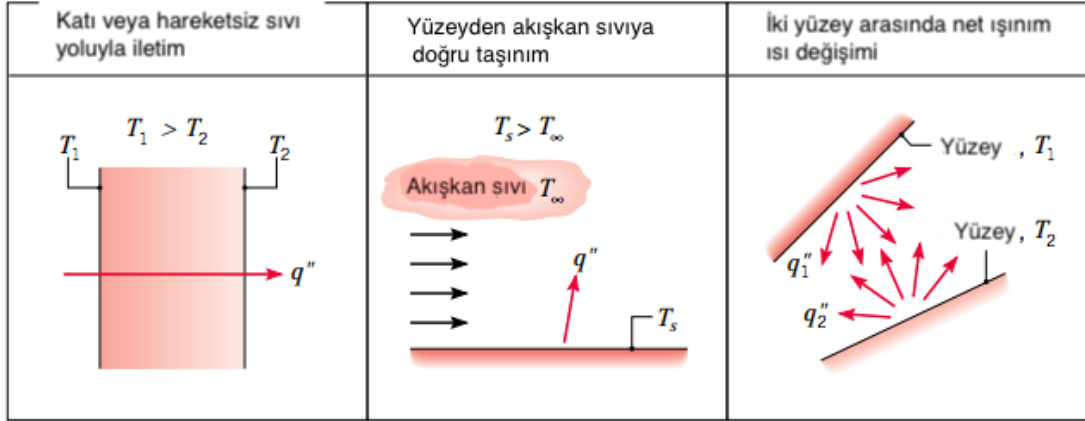
TS EN 13501-1standartında yapı malzemelerinin yangına tepki sınıfları, yangın durumundaki performansları ve örnek malzemeler Tablo 2.2’de verilmiştir. Standartta sınıflar A’dan F’ye kadar alfabetik olarak devam eder. Yanmaz sınıfı A harfi temsil ederken, F harfi en yüksek yanıcı sınıfı sembolize eder [30].

Tablo 2.2: TS EN 13501-1 standardına göre yapı malzemelerinin yangın özellikleri [30].

Sınıf	Performans	Örnek Malzemeler
A1	Yangına katkı yok (Hiç yanmaz)	Doğal taşlar, çimentolu ürünler, metaller ve alaşımları, seramikler.
A2	Yangına çok sınırlı katkı (Zor yanıcı)	Anorganik alüminyum kompozit levhalar, alçıpan levhalar.
B	Yangına çok sınırlı katkı (Zor alevlenici)	PU ve PIR dolgulu sandviç paneller.
C	Yangına sınırlı katkı (Zor alevlenici)	Yangın geciktiricili ahşap levhalar, fenolik köpükler.
D	Yangına kabul edilebilir katkı (Normal alevlenici)	Ahşap levhalar, polietilenli kompozit levhalar.
E	Yangına kabul edilebilir katkı (Kolay alevlenici)	EPS, XPS, polietilen köpük.
F	Yangına yüksek katkı	E sınıfı kriterlerine uymayan veya test edilmemiş malzemeler.

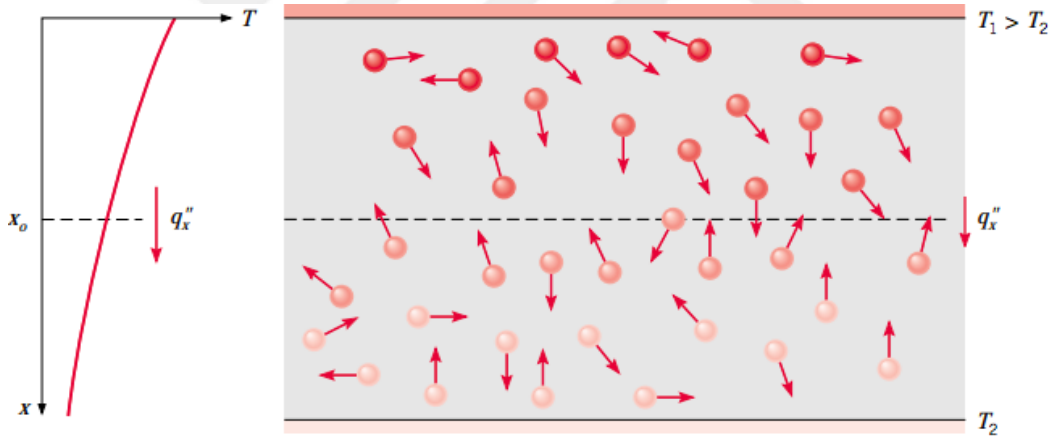
2.2. ISI TRANSFERİ VE YALITIMI

Isı, sıcaklık farkından ötürü bir sistemden diğerine transfer edilen enerjidir. Ortamlar veya maddeler arasında sıcaklık farkı varsa ısı transferi gerçekleşir. Yangınla birlikte oluşan alev ve sıcak gazların yaydığı ısı enerjisi ortama iletim, taşınım ve ışımla yayılır. Bu sebeple önce kavramlar genel olarak tanımlanmış, ardından yangın örneğiyle açıklanmıştır [31].



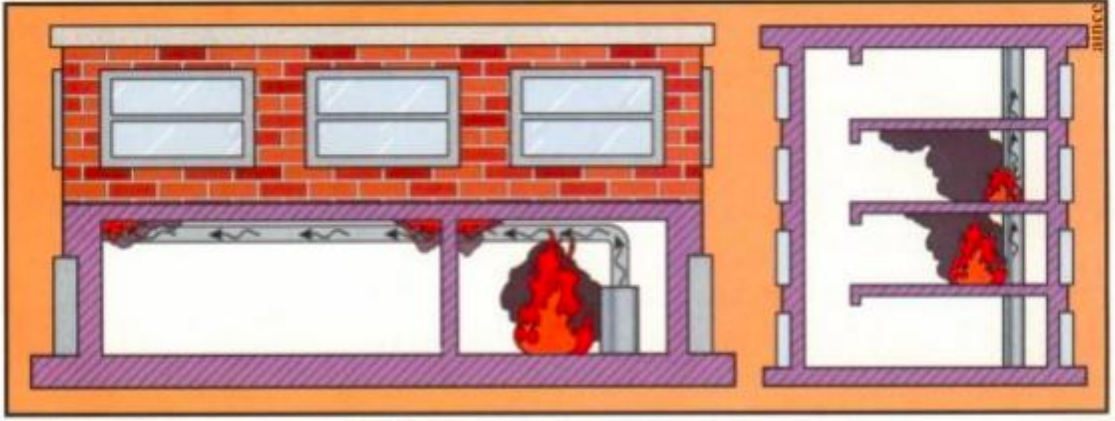
Şekil 2.6: İletim (ing. Conduction), Taşınım (ing. Convection), Işınım (ing. Radiation) ile ısı transfer yöntemleri [31].

İletim (Kondüksiyon) ile ısı transferi; moleküllerin kinetik enerjilerini, onlarla çarpışarak diğer moleküllere ilettiği bir yayılma işlemidir. Katılarda bu işlem, molekül titreşimi ve serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucu olur. Isı transferinin iletimle taşınımı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur.



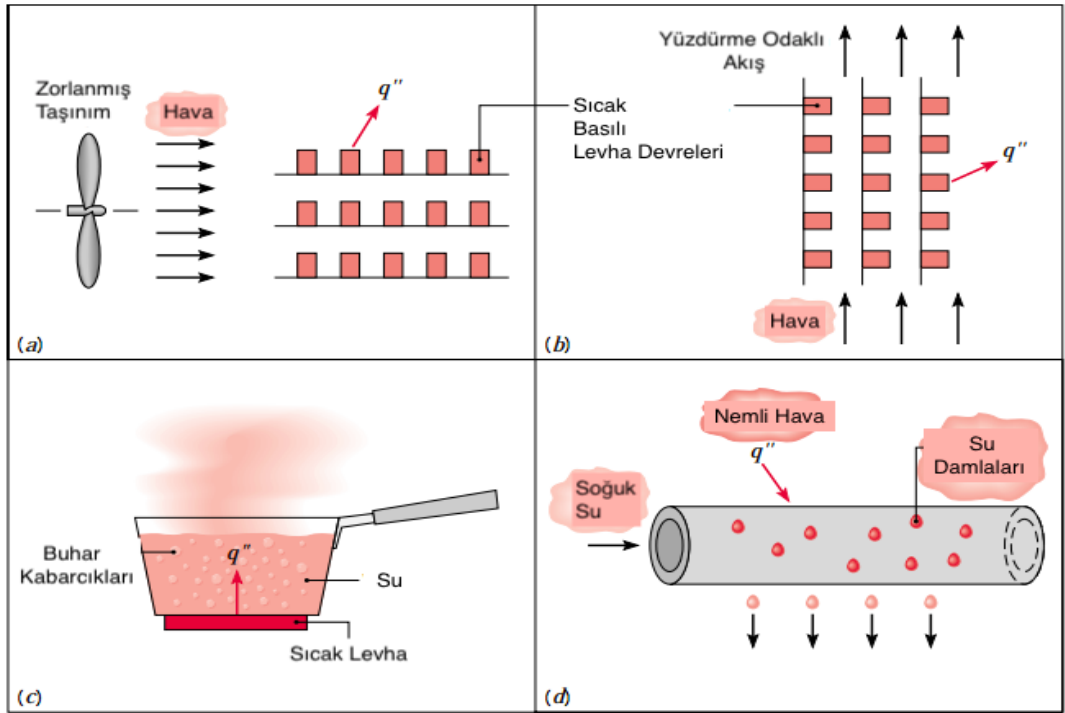
Şekil 2.7: Moleküler aktivite sonucu enerjinin difüzyonla ısı iletimi [31].

Şekil 2.8'de ise iletken metal borular, ısıyı uzak mesafelere aktararak yanıcı malzemelerin sıcaklığını tutuşma sıcaklığına yükseltir ve yanma olayı gerçekleşir.



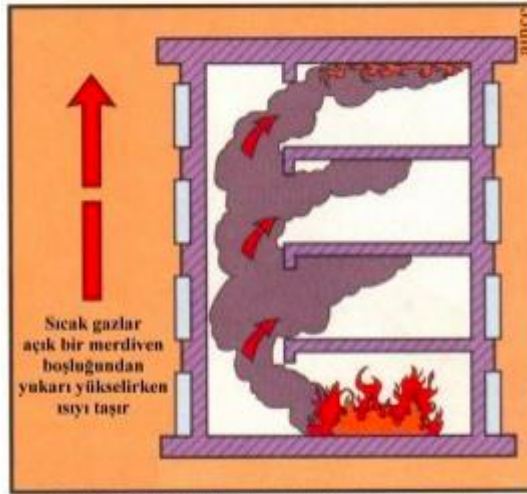
Şekil 2.8: İletimle ısı transferi örneği [27].

Taşınım (Konveksiyon) yoluyla ısı transferi; ısının gazlar ve sıvılar arasında hareket etmesinin birincil yoludur. Bu terim, farklı sıcaklıklarda bir katı yüzey ile hareketli bir akışkan arasında ortaya çıkacak ısı transferini ifade eder. Akışkan hareket hızı ile taşınım ısı aktarımı hızı doğru orantılıdır.



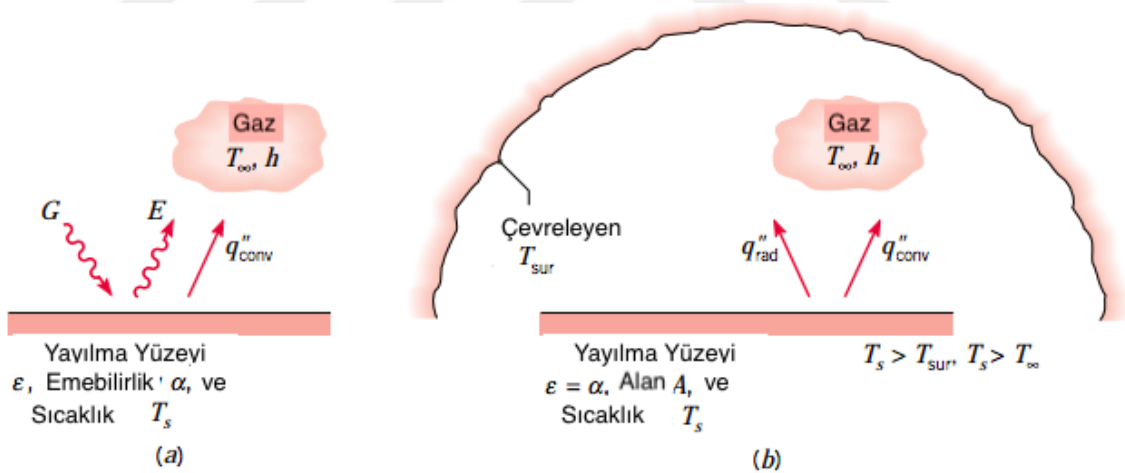
Şekil 2.9: Konveksiyon Türleri: (a) Zorlanmış Konveksiyon, (b) Doğal Konveksiyon, (c) Kaynama, (d) Yoğunlaşma [31].

Şekil 2.10'da gösterildiği gibi bu transfer yönteminde arada gaz veya sıvı akışkan vardır. Yangın sonucunda ortaya çıkan duman, baca etkisiyle yukarıya çıkarak ısıyı taşır.



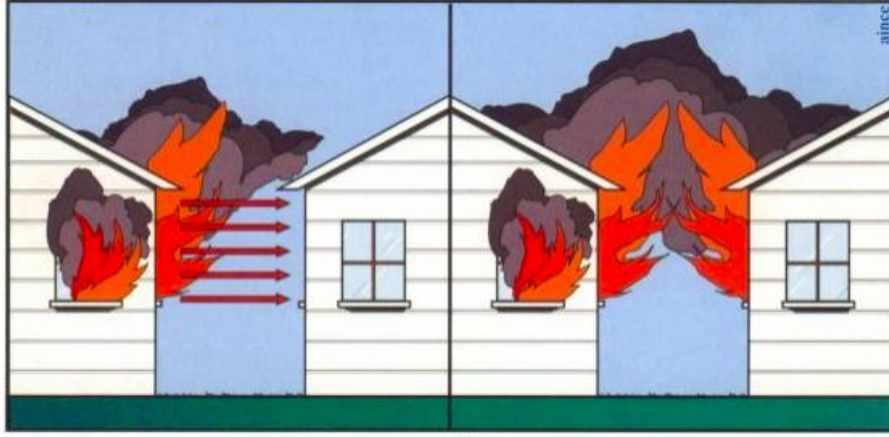
Şekil 2.10: Taşınım ile ısı transferi örneği [27].

Işınım (Radyasyon) ile ısı transferi ise; atom ve moleküllerdeki elektronik düzenin değişmesiyle elektromanyetik dalgalar (fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir. Diğer iki ısı transfer yönteminden farklı olarak aracı ortama gerek yoktur, güneş enerjisi Yerküre'ye bu şekilde ulaşır.



Şekil 2.11: Işınım değişimi: (a) Bir yüzeyde ve (b) Bir yüzey ile büyük bir çevre arasında [31].

Isı enerjisi, arada iletken veya akışkan olmayan Güneş-Yerküre örneğinden başka, Şekil 2.12'de görüldüğü gibi, ışın olarak yayılır ve karşısındaki malzemeyi tutuşma sıcaklığına çıkarır. Işınlar yayılırken yüzeye dik açıyla çarparsa etkili, yatay çarparsa etkisiz olur.



Şekil 2.12: Işınım ile ısı transferi örneği [27].

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kaybı ve kazançlarının azaltılmasında kullanılan yüksek ısı direncine sahip özel ürünlerdir. ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) 0,065 W/mK'nin altında olan malzemeler, ısı yalıtım malzemeleri olarak değerlendirilir [32].

Isı yalıtım malzemelerinde temel amaç, yapı elemanlarının ısı iletim direncini artırmaktır. Bu sebeple, ısı iletkenlik katsayıları yalıtma özelliğini gösteren değerdir. Katsayının düşük olması yalıtım özelliğinin o kadar yüksek olduğu anlamına gelir. TS 825 standartında ısı iletkenlik katsayıları 23°C sıcaklık ve %80 bağıl nem ortamında tanımlanmış değerlerdir [33].

Isı yalıtım malzemelerinin tercihinde bir hayli etmen vardır. En önemli etmen kullanım yeridir. Örneğin; bu çalışmada da yer alan yüksek sıcaklık etkisinde malzemenin deformasyona uğramaması istenir. Ağır yüklerin söz konusu olduğu durumda ise yeterli basınç mukavemetine sahip olması gerekir.

Isı yalıtım malzemelerinde bir diğer önemli parametre su buharı difüzyon direnç faktörü (μ)'dür. İç ortamda var olan su buharı, yapıya uzun vadede hasar verir. Su buharı; ısı akımı ile aynı doğrultuda hareket ederek dış ortamdaki iç ortama geçer. Yapı malzemelerinin gözeneklerinde gerçekleşen bu geçiş sırasında, buharın o sıcaklıkta doymuş hale gelmesi veya daha düşük sıcaklıkta bir yüzeye temas etmesi durumunda buharın bir kısmı yoğunlaşır ve su haline alır. Bu durum betona ve donatıya zarar verir [34]. Malzemenin μ değeri azaldıkça su buharı geçirgenliği artar, tam tersi durumda ise su buharı geçirgenliği azalır. Hava referans noktası olarak kabul edilir. Isı yalıtım malzemesi olarak yaygın olarak kullanılan cam yünü ve taş yünü gibi malzemelerin difüzyon direnç değeri $\mu=1$ 'dir. Bu malzemeler, su buharının dışarıya atılmasına direnç göstermezler. Isı yalıtım malzemesinde μ değeri düştükçe su buharı

geçirgenliği artar, yüzey sıcaklığının yoğuşma sıcaklığından yüksek olduğu durumda yoğuşma önlenir [35].

Isı yalıtım malzemelerinin seçimindeki başlıca hususlardan bir diğeri de yüksek sıcaklık etkisindeki davranışıdır. Yönetmelikte belirtilen sınıfa uygun malzeme seçimi ve uygulaması ile yangın güvenliği sağlanabilir. Burada ölçütler; malzemelerin tutuşması, malzemedan çıkan toksitise ve duman ile alevi yayıp yaymamasıdır. Toksitise; yangın anında çıkan duman içindeki gaz konsantrasyonudur. Dumanın içinde su buharı ve hidrokarbürlere bulunurken, yalıtım malzemelerinin yanmasından ise kükürtdioksit, siyanidrik asit, hidroklorik asit ve karbonmonoksit bileşimli gazlar açığa çıkar [7].

2.2.1. Isı Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri

Isı yalıtım malzemeleri teknik ve fiziksel gereklilik olmak üzere iki başlıkta incelenebilir:

- a. Teknik Gereklilikler
 - Uygulama

Isı yalıtım malzemelerinin sahada uygulamasının kolay olduğu düşünülür. Isı yalıtım ürününün tek bir işçi tarafından kullanılacak şekilde hafif olması gerekir. Yapıştırma işleminden sonra levhanın boyutları sabit olmalıdır. Yüzeyinin kolay düzleştirilmesinin yanı sıra testere ve/veya sıcak tellerle ürünün kolay kesilmesi gerekir [36].

Üretim ve montaj arasında geçen sürede plastik büzülme maksimum %0.15 olabilir. Isı yalıtım malzemesinin yüzeyi doğrudan güneşe maruz kaldığında, tabakaların ayrılması gibi bir bozulma (delaminasyon) olmamalıdır. Delaminasyon kalınlığı düşük ısı yalıtım levhalarında görülür; çünkü dış termal genişmeden kaynaklanan gerilmeler malzeme tarafından karşılanamaz. Günümüzde levhaların, kalınlığı daha yüksek ve ısıl iletim hesap değeri daha olduğu için delaminasyon önemli bir problem değildir. Bununla ilgili bir test yöntemi bulunmamaktadır [36].

Yağmur yağması durumunda, malzemenin su alımının düşük olması ve özelliklerinin değişmemesi gerekir. 24 saat suya batırma testinde, standart EPS yaklaşık 0.2 kg/m^2 su emer (Maksimum limit 1 kg/m^2 'dir), bu gibi düşük su içeriğinde malzeme özellikleri değişmez.

- Dayanım

Malzemenin, kayma mukavemeti 50 kPa veya üstü, kayma modülü ise 1000 kPa veya daha yüksek bir değerde olmalıdır. Dübellerin çekme dayanımlarının da 100 kPa veya daha yüksek olması gerekir [36].

- Üretim Süreci

Isı yalıtım malzemelerinin maliyetini ham madde tercihi, üretim sürecini; alınacak malzeme miktarı, ısı iletkenlik katsayısı ve saklama özellikleri belirler.

b. Fiziksel Gereklilikler

Yalıtım malzemesinde temel gereksinim ısı geçişini önlemektir. Isı iletkenlik hesap değeri, λ_h ne kadar düşük olursa malzemenin yalıtım performansı o kadar iyi olur. Uzunluk, genişlik, gönyeden sapma ve yüzey düzlüğünün belirtilmiş toleranslar içinde üretiminin yapılması gerekir. Buna ek olarak, malzemenin yoğunluğu ve morfolojisi de önemlidir. Duvarlarda kullanılacak malzemelerde minimum 25 kg/m³ yoğunluk istenirken, çatılarda ise 30 kg/m³ yoğunluk istenir [19].

Teknik ve fiziksel açıdan yeterli malzemelerde yangın dayanımı da önemlidir. Yapıların yangına maruz kalabileceği dikkate alınarak seçilen yalıtım malzemesinin yangına tepkisi ve yangını yayıp yaymaması önemlidir.

Isı yalıtım malzemelerinin kendi aralarında gruplaması çeşitli şekillerde yapılır. Tablo 2.3'te sınıflandırmalardan biri verilmiştir [7].

Bir diğer sınıflandırma ise ısı yalıtım malzemelerini; geleneksel, alternatif ve gelişmiş malzemeler olarak üç kategoride toplar. Cam yünü, taş yünü, XPS ve EPS gibi oldukça yaygın kullanılan malzemeler geleneksel grupta yer alırken; kenevir, keten vb. ısı yalıtım malzemeleri alternatif malzemelerde; arojel ve vakum yalıtım paneli gibi malzemeler de gelişmiş malzeme olarak kabul edilir [2]. Bu tez çalışmasında bazı ısı yalıtım malzemeleri ve özellikleri bu şekilde verilmiştir.

Tablo 2.3: Isı yalıtım malzemeleri sınıflandırılması [7].

		1.1.1. Bitkisel	Kenevir, keten vb.
1. Organik	1.1. Doğal	1.1.2. Hayvansal	Kıl, yün vb.
	1.2. Sentetik	EPS, XPS vb.	
2. İnorganik	Cam yünü, taş yünü vb.		

Tablo 2.4'te ısı yalıtım malzemelerinde gerekli özellikler özet olarak verilmiştir [37].

Tablo 2.4: Isı yalıtım malzemelerinde gerekli özellikler [37].

Fiziksel Özellikler	Durabilite	Ekolojik Özellikler	Uygulama Esnasında	Ekonomik Özellikler
Isıl İletim Hesap Değ. ↓	Su ve Nem Öz.	Sağlık Açısından Uygunluk	İşlenebilirlik	Maliyet ↓
Isı Tutuculuk ↑	Kimyasal Dayanıklılık	Enerji Tüketimi ↓	Sıva Tutuculuk	Kalite ↑
Buhar Geçirimsizliği ↔	Biyolojik Dayanıklılık	Çevre Dostu ↑	Üzerine Katman Uygulamasının Kolaylığı	Temin Edilebilirlik ↑
Basınç ve Çekme Dayanımı ↔	Yüksek Sıcaklığa Dayanıklılık - Yangın Emniyeti	Uzun Kullanım ↑		
Boyutsal Kararlılık	Yanmazlık ve Alev Geçirmezlik	Kokusuzluk		
Birim Ağırlık ↓	Bozulmazlık, Uzun Ömürlülük			
Yoğunluk ↔	Mekanik Dayanım Su Buharı Difüzyon Direnci			

2.2.1.1. Cam Yünü

Cam yünü inorganik kökenli silis kumunun 1200 °C - 1250 °C sıcaklıkta eritilip elyaf haline getirilmesiyle elde edilen ısı ve ses yalıtım malzemesidir. Yüksek sıcaklıkta üretildiğinden orta derecede enerji harcanır. Üretim esnasında toz ve partiküller etrafa saçılarak birtakım rahatsızlıklar yaratabilir. Almanya ve Kanada tarafından yapılan çalışmalarda kanserojen etkiye rastlanılmamasına rağmen, üretimde 30 seneden fazla çalışan işçilerin %25'inde akciğer kanseri ortaya çıkmıştır. Cam yünü liflerinin malzemeden ayrışması ve havaya saçılmasıyla kullanıcıyı etkileyebileceğinden, uygulama esnasında koruyucu önlemler alınmalıdır [2, 38].

Kullanım türüne göre farklı boyut ve yoğunluktadır; katkılarla dökme, boru, levha ve şilte şeklinde üretilebilir. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.035-0.050$ W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ ve kullanım sıcaklığı -50°C - +250°C arasındadır. -200°C - +450°C arasında kullanım sıcaklığına sahip özel cam yünleri de üretilebilmektedir [33, 34, 39].

Zamanla, özelliklerini kaybetmez ve TS EN 13501-1'e göre A1 (yanmaz) veya A2 (zor yanıcı) sınıfı yanmaz bir malzemedir [34, 39]. TS 901 EN 13162 10'ye uygun olarak üretilir [33].

Yoğuşma riskini önlemek için su buharı difüzyon direnç faktörü çok yüksek olan alüminyum folyo, cam yünü levha ve alçı plaka arasına konulur. Bu tip uygulamaya "Bir yüzü alçı plaka kaplı, aralarında alüminyum folyo bulunan cam yünü levha" denir. Levhalar, vidalanarak veya yapıştırılarak uygulanır [39].



Şekil 2.13: Cam Yünü [35].



Şekil 2.14: Taş Yünü [35].

2.2.1.2. Taş Yünü

İnorganik kökenli dolomit, bazalt ve diyabaz gibi taşların 1400°C - 1600°C’de eritilerek elyaf haline getirilen ısı, ses ve yangın yalıtım malzemesidir. Kullanımına göre levha, boru, şilte ve dökme şeklinde üretilir. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.035-0.050$ W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ ve kullanım sıcaklığı -50°C - +750°C arasındadır [2, 33, 34, 38, 39]. Suyun içerisindeki hava boşluklarına girmesiyle veya su buharının yoğuşmasıyla malzemedeki bakalit çözülür ve ısıl iletkenlik değerini artırır; malzemeyi bozar [2]. Kimyasal etkilere karşı davranışı cam yününe göre zayıftır [2]. Özelliklerini zamanla kaybetmez; A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir. Sıcaklıkla boyutunda bir değişim görülmez [34, 39]. TS 901 EN 13162 10’ye uygun olarak üretilir [33].

Taş yünüün uygulamalarından biri “Dış cephe levhası”dır. Bu uygulama ısı, ses yalıtımı ve havalandırılmalı cephelerde yangın güvenliğini sağlar. Bir yüzü alüminyum folyoyle veya cam tülüyle kaplanmış taş yünü levhalar, cephe kaplamaları ile betonarme yüzeye yerleştirilir [39].

2.2.1.3. EPS (Expanded Polystyrene - Genleştirilmiş Polistiren)

Almanya’da “Styropor” ismiyle 1950’li yıllarda geliştirilen EPS petrol bazlı, termoplastik bir ısı yalıtım malzemesidir [39]. Üretimde oldukça fazla enerji tüketilir ve toksik atıklar oluşur. Asit yağmuru oluşturabilecek salınımlar ve hidrokarbonlar gibi fotokimyasal aşındırıcıların meydana gelmesine sebep olabilir [2]. Hammaddesi olan polistiren, pentan gazıyla şişirilerek su buharı ile teması gerçekleştirilir. Pentan gazı, çok sayıda gözenek oluşmasını sağlar ve çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. EPS ısı yalıtım malzemesinin %98’inin hareketsiz kuru hava olması ekonomik özellik sağlar [34, 39].

Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.030-0.040$ W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=80 - 250$ ve kullanım sıcaklığı -50°C - +75°C arasındadır. Kapiler emiciliği yoktur. Kapalı gözenekli yapısından ötürü ıslanmaz [2, 33, 34, 39].

Performansını zamanla kaybetmez ve istenilen yoğunlukta üretilebilir. Basınca dayanıklıdır ve yoğunlukla birlikte basınç dayanımı da artar. Kırılgan bir malzeme değildir. 80°C üzeri sıcaklıkta yanarak özeliğini yitirir, yangına karşı D veya E sınıfındadır [34, 39].

Yapılarda ısı ve ses yalıtımının dışında; derzlerde, asmolen döşeme yapımında, kompozit levha üretiminde ve yalıtım sıvası üretiminde kullanılır.



Şekil 2.15: EPS [35].



Şekil 2.16: XPS [35].

2.2.1.4. XPS (Extruded Polystyrene - Ekstrüde Polistiren)

Ekstrüzyon yöntemiyle polistiren hammaddesinden üretilen XPS; ısı iletkenliği düşük, kapalı gözenekli, nefes alabilen, zamanla şekil değiştirme yapmayan, basınç dayanımı yüksek ve çürümeyen bir ısı yalıtım malzemesidir [34, 39]. XPS, EPS ısı yalıtım malzemesiyle benzer özelliklere sahiptir, fakat EPS %2-4 nem emerken, XPS %0.3 nem emer. Bu durum ısı iletimi olumsuz etkiler. Ayrıca XPS ısı yalıtım malzemesinde pentan gazı yerine hidroflorokarbon (HFC) ve karbondioksit (CO₂) gazları kullanıldığı için küresel ısınmayı tetikler [2].

Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.030-0.040$ W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=80 - 250$ ve kullanım sıcaklığı $-50^\circ\text{C} - +75^\circ\text{C}$ arasındadır [2, 33, 39]. Kapiler emiliciliği yoktur, bünyesine su almaz ve yangına tepki sınıfı D veya E'dir [34]. TS 11989 EN 13164'e uygun olarak üretilir [33].

2.2.1.5. Cam Köpüğü

Toz camın karbon ile birlikte ergitilmesiyle elde edilen cam köpüğü oldukça sert, basınç dayanımı yüksek, kolay kırılabilen, buhar geçirimsiz ($\mu=10000$) yalıtım malzemesidir. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.045-0.060$ W/mK, A1-A2 yangın sınıfında olan yanmaz bir malzemedir. Kullanım sıcaklığı $-260^\circ\text{C} - +430^\circ\text{C}$ arasındadır. Gözeneklerinin kapalı olmasından dolayı su almaz, kapiler değildir. Zamanla bozulma göstermez, kimyasal etkilere dayanıklıdır [19, 34, 39, 40]. TS EN 13167'ye uygun olarak üretilir [33].

2.2.1.6. Kalsiyum Silikat

Yüksek oranda silis içeren, ponza taşı ve kirecin birleşiminden oluşan bir yalıtım malzemesidir. Basınç dayanımı yüksek ve yangın yalıtımı için elverişlidir (1100°C'ye dayanan türleri mevcuttur) [39].

Sıcaklıkla birlikte rötre yüzdesinin 24 saat sonraki durumu Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5: Kalsiyum Silikat ısı yalıtım malzemesinin 24 saat sonraki Rötre (%) - Sıcaklık ilişkisi [39].

Sıcaklık (°C)	Rötre (Büzülme) %
500	0.3
750	1.0
900	1.7
982	2.0

2.2.1.7. Melamin Köpüğü

İyi bir ses yalıtımı (α , ses yutma katsayısı:0.30-1.20) ve ısı yalıtımı ($\lambda_h=0.034$ W/mK) sağlayan melamin köpüğü dekoratifliğiyle yapılarda kullanımı tercih edilen bir yalıtım malzemesidir. Kullanım sıcaklığı -60°C - +150°C arasında değişir [39, 40].

2.2.1.8. PVC Köpük

Polivinilklorid esaslı termoplastik bir malzemedir. İhtiyaca göre sert, yarı sert veya yumuşak olarak üretilebilir. Sert olanlar kırılğan, yumuşak olanlar elastiktir. Korozyona karşı dayanıklıdır, 50 - 60°C'de yumuşamaya başlar [39].

2.2.1.9. Fenol Köpüğü

Termoplastik bir malzeme olan fenol köpüğü, fenol-formaldehit bakalitine anorganik şişirici ve sertleştirici maddelerin katılmasıyla düşük (30-60 kg/m³) ve yüksek (80-120 kg/m³) yoğunlukta üretilebilir. Köpük malzemeler arasında sıcaklık dayanımı en iyi olanlardan biridir (150°C'ye kadar). Yüksek sıcaklıkta büzülür, basınç dayanımı düşüktür. Suya batırıldığında 14 günde hacminin %9'u kadar su alır. Küflenmez, metalleri korozyona uğratabilir. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.018-0.032$ W/mK'dir [2, 19, 34, 39].

2.2.1.10. Polietilen Köpük

Etilen ve propilenden oluşturulan plastik esaslı malzemedir. Elastiktir, su buharı difüzyon direncinin yüksek olmasından dolayı su geçirmez, düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Isı, darbe sesi ve su yalıtımında kullanılır [39].

2.2.1.11. Elastomerik Kauçuk Köpüğü

Kauçuk köpüğü esaslı elastomerik kauçuk köpüğü, yüksek buhar difüzyon değeriyle iyi bir ısı yalıtımı ve yoğuşma kontrolü sağlar. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.034-0.038$ W/mK arasındadır. Yapısında suda çözünen kısımlar belirtilen oralardan az olduğu için korozyon riski düşüktür [39].

2.2.1.12. Poliüretan Köpük

Poliol ve izosiyanüratın karıştırılması ve havanın yardımıyla köpürüp sertleşen plastik esaslı bir ısı yalıtım malzemesidir. Termoset bir plastik olduğu için geri dönüştürülemez, yeniden kullanılamaz. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.016-0.032$ W/mK, kullanım sıcaklığı da $-180^\circ\text{C}/+110^\circ\text{C}$ arasındadır [39].

Yangın esnasında hidrojen siyanür gazı ortaya çıkardığı için 1989'dan itibaren mobilya endüstrisinde kullanımı yasaklanmıştır. Buna rağmen, yapıda kullanımı serbesttir [2].

2.2.1.13. Mineralize Ağaç Lifleri

Ağaç malzemelere mineralizasyon işlemi yapılarak liflerin dış etkilere dayanımı artırılan ses ve ısı yalıtım malzemesidir. Mineralizasyon işlemiyle organik bileşikler, inorganik formlara dönüştürülür [41]. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.060-0.107$ W/mK'dir [2].

2.2.1.14. Kenevir

Kenevir ısı yalıtım malzemesi; hızlı büyüeyebilen, senede birden fazla mahsul veren, gübre gerektirmeyen hint kenevir bitkisine polyester elyaf ve yangın geciktirici katkılarla karıştırılarak kullanılır. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.038-0.060$ W/mK'dir. Nem artışıyla ısı iletkenlik katsayısının artmaması ve böcekler tarafından tahrip edilmemesi için korunması gerekir [2].

2.2.1.15. Keten

Keten lifleri, yüksek miktarda selüloz içeren ve eski bir bitki olan ketenden elde edilir. Keten liflerinin havayı iyi muhafaza etmesi ısı yalıtımı özelliğini, liflerin elastikliği ise ses yalıtımı özelliğini gösterir. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.038-0.075$ W/mK arasındadır. Yangına karşı dayanımını artırmak için bor tuzları kullanılır. İşleme esnasında zehirli gaz yaymaz [2].

2.2.1.16. Aerojel

1930’larda Samuel S. Kistler tarafından laboratuvarda geliştirilen nanoteknolojik malzeme, %95-99.9 hava içeriğiyle “Yeryüzündeki en hafif katı madde” olarak tanımlanmıştır. İçindeki hava molekülleri hareket edemedikleri için yüksek ısı ve ses yalıtımı sağlar. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.018$ W/mK’dir [42].

Hidrofobik olup, yapıyı neme ve küfe karşı korur; kullanım ömrünü tamamladığında sadece kum ortaya çıkar. Dolayısıyla sürdürülebilir bir malzemedir [42]. Yapılan çalışmalarda, 1300°C sıcaklığa 30 dakika kadar dayanabilmektedir [43].

2.2.1.17. Vakum Yalıtım Paneli (VIP- Vacuum Insulation Panels)

Yüksek performanslı Vakum Yalıtım Paneli, gözenekli çekirdeğe bağlı olarak, gaz giderici malzemeye ya da tek başına dış zarfa konularak vakumlanarak oluşturulur. Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h=0.004$ W/mK olup geleneksel ısı yalıtım malzemelerine göre 10 kata kadar daha verimlidir. Uzun seneler boyunca kullanılması avantajlarından bir diğeri iken; panellerin delinmeye müsait olması, şantiyede kolayca kesilip boyutlandırılmaması, su geçirmez olup yoğuşmaya sebep olması dezavantajlarından bazılarıdır [2,44].

2.3. YANGIN GENEL

Kontrolsüz ve istek dışı meydana gelen yanma tepkimelerine “Yangın” denir. Yanma reaksiyonu ise, yanıcı maddelerin O₂ veya diğer oksitleyici maddelerle birlikte uygun şartlarda ekzotermik reaksiyona girmesidir. Yanmanın başlaması için yanıcı madde ile (yapı malzemeleri ve eşyalar) O₂’nin ve tutuşmanın kaynağı olan ısı enerjisi (elektriksel, mekanik, solar, kimyasal vb.) ihtiyaç duyulur [32]. Genellikle O₂ ortam havasından sağlanır ve yangın

anında tüketilmesiyle; yangın mahallinde bulunanlarda kas hareketlerinin zayıflamasına, baş dönmesine, göz kararmasına sebep olur [19].

Polimer kökenli malzemelerin kısmi veya tam yanmasıyla birtakım gazlar çıkar ve genellikle kısmi yanma ürünleri tam yanma ürünlerine göre daha zararlıdır. Bu sebeple, yangın çalışmalarında dumanın özellikleri ve davranışı da incelenir. Tam yanmada malzemenin iyi ısınması ve havayla karışması önemlidir. Tablo 2.6’da malzemenin içeriğine göre kısmi veya tam yanması sonucunda çıkan bazı gazlar verilmiştir [45].

Tablo 2.6: Polimerlerin yanmasıyla çıkan gazlar [45].

Malzeme İçeriği	Tam Yanma Ürünleri	Kısmi Yanma Ürünleri
C, H, O	CO ₂ , H ₂ O	İs (karbon partikülleri), aldehitler, hidrokarbonlar, CO
+N	NO ₂ , N ₂ (azot gazı)	NH ₃ (amonyak), HCN (siyanür asidi), plastik malzemedden çıkan diğer organik ürünler
+S	SO ₂	H ₂ S, S _x
+Cl	HCl	Cl ₂ , (C ₂ H ₃ Cl) _n (PVC), COCl ₂ (fosgen gazı)

Malzemenin yangındaki davranışı, insanların oradan tahliyesini doğrudan etkiler. Yangının fark edilmesi ve tahliye ile başlayan süreçte malzemenin kolayca alevlenmemesi, yayılmanın da standartlara uygun düzeyde olması beklenir. Türkiye’de 13 Temmuz 2015’te güncellenen “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” her türlü yapıda çıkabilecek yangınları ve kayıpları en aza indirmeyi amaçlar [30, 46].

2.3.1. Dünya’da Önemli Yangınlar

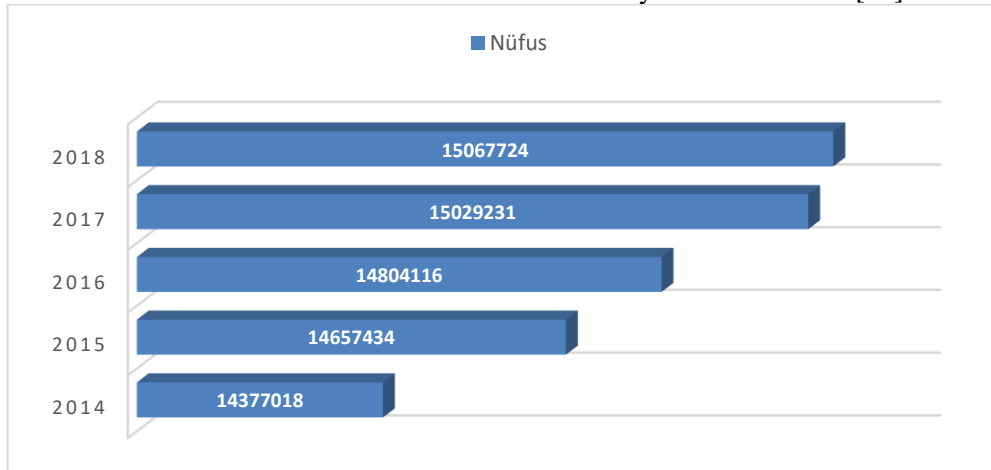
Geçmişten günümüze yapılarda meydana gelen her büyük yangınla malzemenin doğru kullanımı öğrenilmiş ve yönetmelikler geliştirilmiştir. Önemli yangınlardan biri olan 1666 Büyük Londra Yangını, ahşap ve düzensiz yapılaşmanın olduğu Londra’da 13.000’in üzerinde yapının zarar görmesine sebep olmuştur. Yangın sonucunda, dönemin kralı II. Charles’ın emriyle yapılaşmada düzene gidilmiştir ve binaların ahşap yerine taştan inşa edilmesi zorunluluğu getirilmiştir [47].

Tablo 2.7’de İstanbul’da 2014-2018’de meydana gelen yapısal yangın sayıları ve Tablo 2.8’de 2014-2018’de İstanbul nüfus verileri verilmiştir. Burada İstanbul nüfusunun her sene artarken, yapısal yangınların da 2017’ye kadar arttığı fakat 2018’de düşüş gösterdiği saptanmıştır. 2018 yılında 2014’e göre %6’lık bir düşüş olmuştur. Bu düşüşün; doğru malzeme kullanımı, alınan önlemler ve toplumdaki bilinçlenme sebebiyle olduğu tahmin edilebilir. Buna rağmen fabrika yangınlarının neredeyse her sene artması fabrikalar tarafından alınan önlemlerin yetersizliğinden ve şartnamelere uyulmamasından kaynaklı olduğu düşünülmüştür [48, 49].

Tablo 2.7: 2014-2018 İstanbul’da ki yapısal yangınlar [48].

Yıl	Konut	Fabrika	Diğer Binalar	Toplam
2014	5261	123	7869	13253
2015	5869	157	8957	14983
2016	5910	153	8887	14950
2017	5762	166	9224	15152
2018	4875	164	7377	12416

Tablo 2.8: 2014-2018 İstanbul adrese dayalı nüfus verileri [49].



Tablo 2.9’da Türkiye’de ve Dünya’da çeşitli sebeplerle çıkan ve bir şekilde ısı yalıtım malzemesinin alev almasıyla büyüyen yangınlar hakkında özet bilgi verilmiştir.

Tablo 2.9: Dünya'dan bazı yangın örnekleri [50, 51, 52, 53, 54].

Yapı Adı	Tarih	Konum	Açıklama
T.C. Avrasya Üniversitesi	12.03.2019	Trabzon, Türkiye	Dış cephe (EPS)
Sultangazi Huzurevi	28.09.2018	İstanbul, Türkiye	Dış cephe
Küçükbakkalköy İş Merkezi	15.08.2018	İstanbul, Türkiye	Dış cephe
Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi	05.04.2018	İstanbul, Türkiye	İki yangın (2011, 2018).
Grenfell Tower	14.06.2017	Londra, Birleşik Krallık	Polietilen çekirdekli alüminyum kompozit panel (72 ölü).
Keşan Devlet Hastanesi İnşaatı	23.03.2016	Edirne, Türkiye	Dış cephe
Polat Tower	17.07.2012	İstanbul, Türkiye	Alucobond kompozit cephe kaplaması (Alman DIN 4102-1'e göre B2 sınıfı yangın dayanımı), iç yüzey alüminyum ile ara yüzeyindeki polistren kaplama.
Wanxin Complex	03.02.2011	Shanghai, Çin	EPS ve XPS
28 Katlı Yapı	15.11.2010	Shanghai, Çin	Poliüretan köpüğü(58 ölü).
Apartman	14.11.2010	Dijon, Fransa	EPS (7 ölü).
Apartman (9 katlı)	15.08.2009	Miskolc, Macaristan	Yangın geciktiricili polistiren (3 ölü).
CCTV Tower	09.02.2009	Beijing, Çin	XPS (1 ölü).
Apartman	25.04.2005	Berlin, Almanya	Yangın geciktiricili EPS (2 ölü).
Düsseldorf Havalimanı	11.04.1996	Düsseldorf, Almanya	Polistirenin alev almasıyla yangın başlamıştır. Alman Ulusal Yangın Koruma Birliğinin (NFPA - National Fire Protection Association) 1996'da ki raporuna göre havalimanında meydana gelen en kötü yapısal yangındır.
Sun Valley Poultry Fabrikası	01.09.1994	Hereford, Birleşik Krallık	EPS ve poliüretan (2 ölü).

Tablo 2.9'daki yangınlardan; 2017 Grenfell Tower ve 2009 CCTV Tower yangınları şu şekilde özetlenebilir:

- 2006'da Birleşik Krallık'ta enerji verimliliği hedefleri sebebiyle yanıcı malzemelerin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanımı hakkındaki kısıtlamalar gevşetildi. 2016'da Grenfell Tower'ın havalandırma boşluklu bina cephe sistemine yanıcı poliizosiyanürat (PIR) köpük yalıtımı ve alüminyum-polietilen kompozit malzemedan oluşan ısı yalıtımı uygulanmıştır. 14 Haziran 2017'de 72 kişinin ölümüne sebep olan yangın dördüncü kattaki buzdolabının arızalanmasıyla başlamış, hızlı bir şekilde tüm cepheye yayılarak kuleyi etkisi altına almıştır. Kulenin kompozit cephe sistemi yangın güvenliği testlerinden geçmesine rağmen, 2016'da ki yenileme çalışmalarında standartlara uyulup uyulmadığı henüz netlik kazanmamıştır. Şekil 2.17'de cephede kullanılan yalıtım malzemesi ve yangın güvenliği için genelde tercih edilen malzeme verilmiştir. Grenfell Tower'da gerçekleşmiş yangında yangınla beraber yoğun bir duman ortaya çıkmıştır. Yangında duman kaynaklı ölümler Amerika ve Birleşik Krallık'ta en büyük ölüm-yaralanma sebebidir. Bu sebeple duman toksisitesi önemlidir [54].



Şekil 2.17: Grenfell Tower'da cephe sistemi [54].

- 2 itfaiye erinin öldüğü ve 7 insanın yaralandığı 159 metre uzunlukta 32 katlı CCTV Tower (China Central Television) veya yangından önceki ismiyle TVCC (Television Cultural Center), 9 Şubat 2009 Çin yeni yıl kutlamalarının son gecesinde yandı. Kule strüktürel olarak üç kısımdan oluşur; merkezdeki ana kule, kulenin doğu ve

batısındaki iki blok. Kulenin kuzey ve güney cephelerinde cam perde duvar, doğu ve batı kaplamalarında ise metal paneller ve titanyum-çinko alaşımlı pervazlar kullanılmıştır. Havai fişeklerden çıkan yüksek sıcaklıktaki parçacıkların çatıya düşmesiyle yangın başlamıştır. Uygulamada metal panel ve yalıtım malzemesi arasında boşluk bırakılır. Çatının batı cephesindeki metal panelin altındaki boşluklara giren parçacıklar, XPS yalıtım malzemesinin ateş almasına sebep olmuştur. Şiddetli rüzgârla birlikte alevler 20 dakikada tüm kuleyi kuşatmıştır [53].

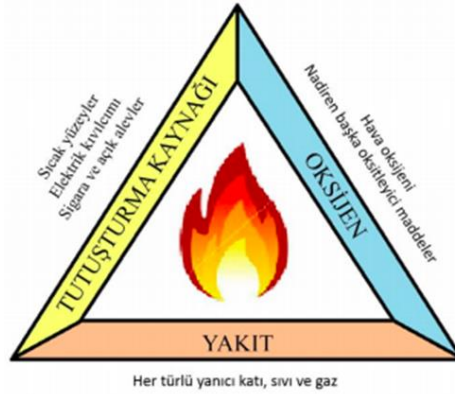
- Yapısal yangınlar alttan yukarıya, içerden dışarıya doğru başlar ve gelişir. CCTV’de ise tamamen farklı bir yayılım düzeni gerçekleşmiştir. Yangın çatıdan başlayarak alt kısımlara, cepheden iç kısımlara doğru gelişti. Yanıcı ısı yalıtım malzemesinin kullanılması ve cephe mimarisindeki büyük boşlukların yangının hızla yayılmasına sebep olduğu saptanmıştır [53].



Şekil 2.18: CCTV Tower yangından önce-sonra [53].

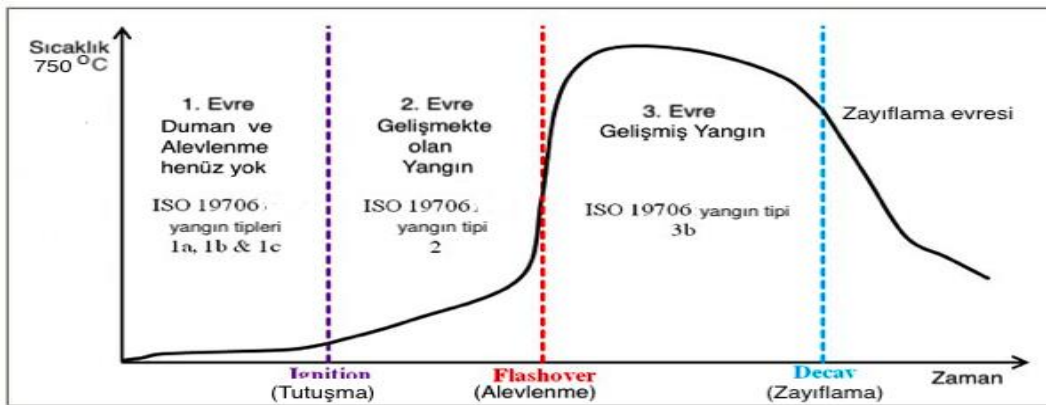
2.3.2. Yangın Aşamaları ve Deneyleri

Normal sıcaklıkta yapıda, yanıcı madde ile oksijen arasında doğal bir denge vardır. Fakat ortamda ki yanıcı madde yeterli miktarda enerjiyle temas ettiğinde bu denge bozulur. Şekil 2.19’da gösterilen yangın üçgeni, yangının başlaması ve devam etmesi için gerekli olan üç faktörü gösterir. Üçgenin herhangi bir parçası olmadığında yangın olayı başlamaz, eksildiğinde ise yangın söner.



Şekil 2.19: Yangın üçgeni [46].

Şekil 2.20’de gösterildiği gibi yangın olayı dört fazdan meydana gelir. Bunlar: tutuşma, alevin büyümesi, tam olgunlaşma ve zayıflamadır. Katı maddeler doğrudan yanmazlar, buna karşılık yanıcı gazlar çıkarılırlar. Yangının ilk aşamasında, sıcaklık nispeten düşükken yanıcı gazlar oluşur ve gelişir. Bir süre sonra hızlı bir gelişme ile alevlenme/genel kavuşum (ing. flashover) meydana gelir. Bu evrede ortamdaki cisimler tutuşma sıcaklıklarına ulaşarak aniden tutuşurlar. Sıcaklık hızla 100°C’den 750°C’ye kadar yükselir ve biriken gazların tutuşmasıyla yangın tüm odaya yayılır. İnsanlar için 45°C’nin üzerindeki sıcaklıklar rahatsız edici, 65°C’nin üzerinde bir ortamda uzun süre kalmak ise akciğerlere zarar verebilir ve insanın yaşama şansı düşer. Alevlenmeden sonra yangın tam boyutuna ulaşır ve bu durum oksijenin mevcudiyeti ile sınırlıdır; yangının yayılmasıyla yanma reaksiyonuna katılan oksijen süratle azalır. Oksijen %15’in altına düştüğünde hafif bir tütmeye yangın sönmüş gibi görünür. Bu esnada alçak seviyedeki cam, kapı vb. cisimlerin kırılarak delik açılması durumunda ortama O₂ girer ve eksik yanmış gazların tekrar alevlenmesine sebep olur. Bu duruma alev kapanı (ing. back draft) denir. Zayıflama evresiyle yangın çöküşe geçer ve uygun şartların ve malzemelerin tükenmesiyle yangın söner [19, 55].



Şekil 2.20: Sıcaklık-Zaman ile Yangının Evreleri [56].

Isı yalıtım malzemelerinden EPS, insanların hayatta kalma şansının sınırlı olduğu 100°C sıcaklıkta yumuşamaya başlar. Yangının bu aşamasında neredeyse hiç oksijen kalmaz ve yüksek miktardaki karbondioksit ile karbonmonoksit seviyelerinden ötürü hava toksiktir. O halde, insanlar ve malzemeler yangının ilk aşamasında korunabilir ve bu durum yalıtım malzemesinden bağımsızdır. Alevlenmeden sonra ise içerideki insanlar kurtarılamaz ve malzemenin büyük bir çoğunluğu yok olur. Alevlenme sonrası durum sadece doğru yangın yalıtımı ile mümkündür [55].

“Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik”te yapı malzemelerinin yangına tepki sınıfları ve bina yüksekliğine göre kullanımı belirtilmiştir. TS EN 13501-1 standartında malzemelerin yanıcılık sınıfları, Tablo 2.2’de görüldüğü gibi A1, A2, B, C, D, E ve F olarak gösterilir. Bu harfler; “Hiç Yanmaz, Zor Yanıcı, Zor Alevlenici, Normal Alevlenici ve Kolay Alevlenici” anlamına gelir. Malzemelerin yangına tepki sınıflarını gösteren bu harfler TS EN 13501-1’de belirtilen testler ile belirlenir [57].

Malzemenin aleve maruz kalmasıyla ilk tutuşmanın ne zaman ve ne kadar sürede kaydedildiği, yangının ilerleme geometrisi, yangınla birlikte zamanla çıkan dumanın ve ısı enerjisinin miktarı ve hızları gibi birçok önemli veri yangın deneyleriyle elde edilir.

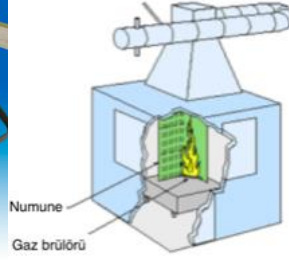
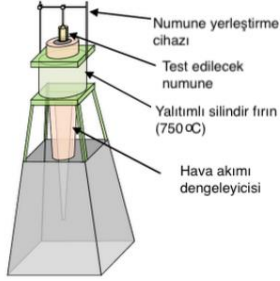
2.3.2.1. Tutuşmazlık Deneyi

BS EN ISO 1182’de bu deney; 750°C sıcaklıktaki fırında, kontrollü laboratuvar koşullarında yapı malzemelerinin tutuşmazlık performansını saptar [58].

Deneyin yapıldığı çevre doğrudan Güneş ışığı almamalı, yapay ışıklandırmalar ise fırındaki test numunesinde meydana gelecek yanma kaynaklı parlamayı gözlemlemeyi etkilememelidir. Yüksekliği 50 (± 3)mm, çapı 45 ($+0-2$)mm olan silindirik 5 test numunesi yanma odasına alınır. Fırındaki test sıcaklığı numune yüzeyinde ve merkezinde 30 dakika boyunca kaydedilir. Test numunesinin sıcaklığı zamanla artmaya başlar ve başarılı bir deneyde malzemenin sıcaklıkla parlaması gözlemlenmelidir ve bu sürenin 20 saniyeyi geçmemesi gerekir. Ayrıca numunenin maksimum sıcaklığı ile son sıcaklığının 30°C’yi geçmemesi gerekir [58].

30 dakika sonunda, boyutları ve kütlesi bilinen silindirik test numunesi fırından çıkarılır ve numune soğuduktan sonra kütle kaybı yüzdece belirlenir, bu değer %50’yi geçmemelidir [58].

Deney sonunda; numunede ki kütle kaybı (%), numunede kalıcı kızgın parlaklığın saniye olarak süresi, fırın ve numunedeki sıcaklıkların değişimi (°C) elde edilir [58].



Şekil 2.21: Tutuşmazlık deney aleti.

Şekil 2.22: Yangına tepki deney aleti.

2.3.2.2. Yangına Tepki Deneyi

BS EN 13823’de bu deneyle yapı ürünlerinin yangına tepki performansları belirlenir. Köşe numunenin kısa ve uzun olmak üzere iki kanadı vardır. Numunenin maksimum kalınlığı 200mm’dir. Numune, gerçekteki kullanımına benzer bir şekilde montajlanmalı ve hava boşlukları gibi durumlar göz önüne alınmalıdır. Her bir test süresi 21 dakika olmak üzere üç test yapılır [59].

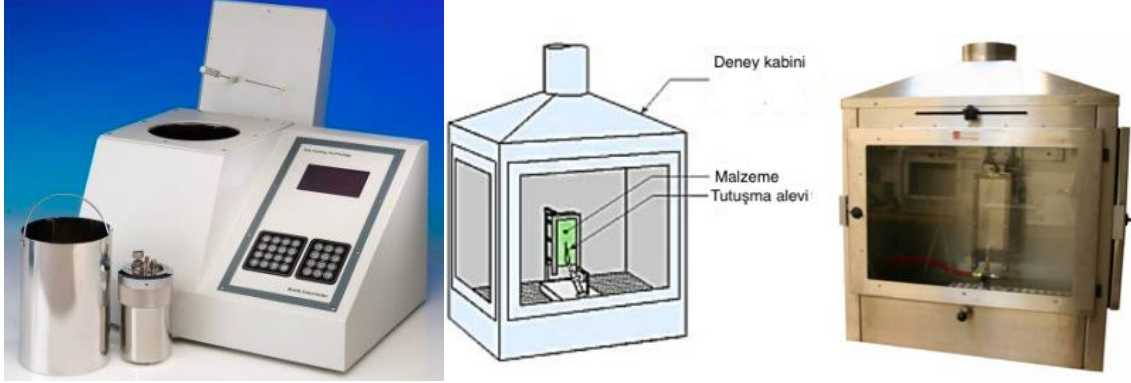
Testte, büyük ve küçük kanat doğru açıyla konumlandırılır ve bir köşe oluşturulur. 30 kW ısı salım hızına sahip gaz brülörü köşeye yerleştirilir. Malzemenin ısı salım hızı (kW), toplam ısı salımı (MJ) ve duman üretim hızı (mg/s) ölçülür. Alevin yayılması ve yanma damlalarının oluşup oluşmadığı gözlenir. Isı salım hızı, deney boyunca yanmakta olan malzemenin zamana bağlı açığa çıkardığı enerjidir. Birimi Watt’tır ve birim zamanda ölçülen enerji birimi “Joule” ile gösterilir [59].

Avrupa sisteminde yangına dayanım A1, A2, B, C veya D olarak isimlendirilir. Deney sonucunda, A2-s1 d0 gibi bir sınıflandırma yapılır. Burada A2 yangın davranışını, s1 duman oluşumunu ve d0 ise alevli damlacıkları tanımlar [59].

2.3.2.3. Brüt Yanma Isısı Ölçme Deneyi

BS EN ISO 1716, sabit hacimde patlamalı kalorimetrede (ısıölçer) malzemelerin brüt yanma ısısını tayin etme yöntemini açıklar. Deney numunesi olarak seçilen malzeme homojen veya çok katmanlı olabilir. Test için, minimum 250 mm x 250 mm boyutlarında 50 g ağırlığında numune gereklidir. Belirli bir ağırlığa sahip numune, sabit hacim ve O₂ altında yüksek

basıncılı patlamalı kalorimetre kabında tamamen yanar. Yanma esnasında numune suyun ısınmasına sebep olur ve sudaki sıcaklık artışı numunenin ısı potansiyeli ölçümünü verir [60].



Şekil 2.23: Patlamalı kalorimetre kabı. Şekil 2.24: Tutuşabilirlik deney aleti.

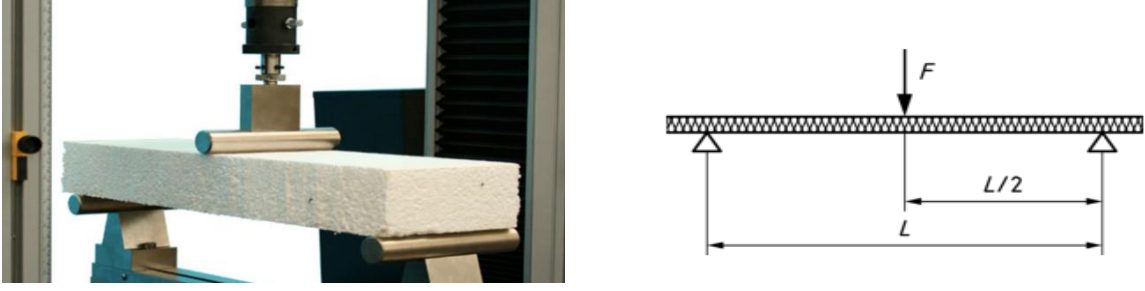
2.3.2.4. Tutuşabilirlik Deneyi

BS EN ISO 11925-2, küçük bir aleve maruz kalan yapı malzemelerinin tutuşabilirliğini ölçme yönteminden bahseder [61]. Benzer bir yöntem DIN 4102 Alman şartnamesinde de vardır.

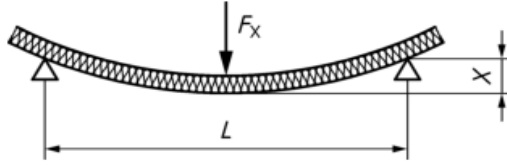
Deneyde 18 adet numune kullanılır, 9 numune bir yönde, diğer 9 numune ise bu yöne dik olacak şekilde konumlandırılır. 90 mm x 250 mm boyutlarındaki numunelerin yatay ve dikey olarak monte edildiği test odasında deney gerçekleştirir. Numune kenarından ve/veya yüzeyinden aleve maruz bırakılır. Deney boyunca; tutuşma süresi, yanan damlacıklar ve alevlerin belirlenen zamanda numunenin en yüksek noktasına ulaşip ulaşmadığı kaydedilir [61].

2.3.2.5. Eğilme Dayanımı Deneyi

Binalar için kullanılan ısı yalıtım malzemelerinde üç noktadan yapılan eğilme etkisi altında malzemenin eğilme davranışını inceleyen bu deney BS EN 12089'a göre yapılır. Test numunelerinin boyutlarına karar verilmesinde iki yöntem vardır. Yöntem A'da kalınlık orijinal numune kalınlığı, uzunluğu maksimum 1300 mm ve genişlik ise en az 300 mm olmalıdır. Yöntem B'de kalınlık maksimum 100 mm, uzunluk maksimum 550 mm ve genişlik 150 mm'dir. Numuneler en az 6 saat boyunca 23 ± 5 °C'de $\%50\pm 5$ bağıl nemli ortamda tutulur. Yükleme hızı 10 mm/dk'dır. En az üç deney yapılır. Deney sonunda eğilme mukavemeti ve yük verilen noktadaki deplasman değeri hesaplanır [62].



Şekil 2.25: Maksimum yük F, iki mesnetin ortasına uygulanır.



Şekil 2.26: Yük uygulandıktan sonra test elemanı.

Eğilme mukavemeti kPa cinsinden denklem 3.1'deki formüle göre hesaplanır [62].

$$\sigma = \frac{3 \times 1000 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (3.1)$$

Burada;

F= Uygulanan maksimum kuvvet (N),

L= Mesnetlet arası açıklık (mm),

b= Test numunesinin genişliği (mm),

d= Test numunesinin kalınlığı.

2.3.2.6. Noktasal Yükleme (Basınç) Deneyi

Basınç deneyi BS EN 12430'a göre, ısı yalıtım malzemelerinin bilinen hızda noktasal yük altında davranışlarını analiz etmek için uygulanır. Test numunesi orijinal kalınlığında 300 x 300 mm boyutlarında olmalıdır. 50±5 mm/dk. hızla test numunesine yükleme yapılır deney üç kere tekrarlanır. Deney sonucunda basınç dayanımı cebirsel olarak bulunur [63].

2.3.3. Yangın Yalıtımı ve Önleme İlkeleri

Yapıları yangının yıkıcı etkilerinden korumak amacıyla alınan yapısal önlemlere “Yangın Yalıtımı” denir. Yangın yalıtım malzemesi seçiminde; birçok ölçüt vardır. Yanmazlık ve yük taşıma özeliği bunlardan ikisidir. Cam yünü, taş yünü, alçı panolar, kalsiyum silikat, özel

üretimli boyalar, yangın dayanımlı camlar ve perlit en çok kullanılan yangın yalıtım malzemelerindendir [32].

Yangının tamamen önlenmesi mümkün değildir. Fakat yangın engelleyici sistemlerin maliyeti ile yangının sonuçları arasında bir denge ilişkisi vardır. Yönetmelikler bu sürecin bir yansımasıdır; modern yönetmelikler performansa dayalı düzenleme yönünde eğilim göstermektedir. Avrupa Birliği'nde 1988 yılında başlatılan Yapı Ürün Direktifi (Construction Product Directive - CPD) ile performansa dayalı kriterler kabul edilmiştir [55].

Performansa dayalı yaklaşım, daha düşük maliyetle daha iyi yangın güvenliği sağlar. Bu yaklaşıma en iyi örnek Hollanda'dır [37]. Uluslararası Yangın Birliği ve Kurtarma Servisi'nin 2015 Dünya Yangın İstatistiklerine göre yangına dayalı ölüm oranı Hollanda'da %0.5'tir. Bu oran Amerika'da %1 iken Rusya'da %6.4'tür [64].

Yangın önleyici tedbirler; kurum, kuruluş ve iş yerlerinde yapısal ve organizasyon bakımından olmak üzere iki kısımda ele alınır [65]:

-Yapısal Bakımdan

- Yanmaz, yanması güç yapı malzemelerinin seçilmesi.
- Yangın bölümlerinin yapılması, böylece yangının yayılması önlenebilir.
- Dumanın yayılmasını önleyici tedbirler.
- Kısa sürede ve güvenli yangın çıkışlarının yapılması.

-Organizasyon Bakımından

- Yangına karşı iyi bir yönetim.
- Tesisatların sık sık kontrolü.
- Gereksiz yangın yüklerinin kaldırılması.

Özetle; yangına karşı alınacak önlemler başlangıç veya gelişme evresinde yakalamayı, eğer bu evreler geçildiyse onu hapsedmek üzerine kuruludur. Önlemler aktif ve pasif olarak ayrılır. Aktif önlemler yangını baskılamayı, sebepleri ortadan kaldırmayı ve /veya yangın olayından önce fark edilmesini sağlayacak tasarımları kapsar. Yangın söndürme sistemleri, duman dedektörü gibi uyarı sistemleri bunlardan birkaçıdır. Yangın güvenliğinde önemli bir role sahip olmasına rağmen; mekanik arızalar, yangın başladıktan sonra devreye girmesi

dezavantajlarından bazılarıdır. Pasif önlemler ise temelde tasarımla ilgilidir ve malzeme bilimi ile mimari tasarımı aynı çatıda birleştirir. Malzemelerin yangında nasıl davranacağı malzeme biliminin, yangını belirli bir süre geciktirici yapı elemanı tasarımı ise mimarinin konusudur. Ayrıca, pasif önlemler yapının ömrü boyunca; aktif önlemler sadece yangın anında hizmet verir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında; “Cam Yünü”, “Taş Yünü”, “XPS” ve “EPS” ısı yalıtım malzemeleriyle alakalı literatür çalışması yapılmıştır. Tablo 3.1’de bu malzemelerin bazı özellikleri verilmiştir.

3.1. ARAŞTIRILAN MALZEMELER VE ÖZELİKLERİ

Çalışmadaki ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Cam yünü, taş yünü, XPS ve EPS ısı yalıtım malzemeleri teknik özellikleri.

Özellikler	Cam Yünü (EN 13162-901)	Taş Yünü (EN 13162-901)	XPS (EN 13164-11989)	EPS (EN 13163-7316)
Yoğunluk (kg/m ³)	8-500	8-500	>25	8-500
Basınç Dayanımı (MPa)	0,0005-0,5	0,0005-0,5	0,1-1	>0,03-0,5
Isı iletkenlik Hesap D. (W/mK)	0,035-0,050	0,035-0,050	0,030-0,040	0,035-0,050
Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ)	1	1	50-300	20-100
Boyut Kararlılığı (%)	<1	<1	<2 - 5	<2 - 5
Yangın Dayanım Sınıfı	A1/A2	A1/A2	D/E	D/E

3.2. YÖNTEM

Yapı elemanının iki yüzünde farklı sıcaklık ve bağıl nemden ötürü farklı kısmi buhar basınçları gelişir. Bunlar yapı elemanı gözeneklerinden geçer ve doyma sıcaklığında ya da daha düşük sıcaklıkta bir yüzeyle temas ederek yoğuşur ve su haline geçer. Yapı elemanında yoğuşma sonucunda siyah lekeler, küf, mantar vb. oluşumlar gerçekleşir; bu durum malzemenin işlevini ve ortam konforunu olumsuz etkiler [33].

TS 825’de “EK F - Yapı Elemanlarından buhar geçişinin tahkiki ve sınırlandırılması” hükümlerine göre yapıda yoğuşma analizi yapılır. Bu metotta malzemenin homojen, izotrop, kalınlığının sabit ve ara yüzeylerinin kusursuz olduğu kabul edilir. Isı akışında ise ısının tek doğrultuda vektörel hareket yaptığını, tabakaların homojen olduğunu ve sıcaklığın iç ve dış

ortamda sabit olduğunu kabul eder. İhmal edilen olgular ise; ısı iletkenlik-nem ilişkisi, serbest kalan ve emilen gizli ısı, nem miktarı-malzeme özeliği değişimi, kapiler emme ve malzemedeki sıvı geçişi, çatlaklar veya hava bölümleri arasındaki hava hareketi ve malzemenin higroskopik nem kapasitesidir [33].

Yapı elemanı katmanının su buharının geçişinin direncine su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı denir [33].

$$S_d = \mu \times d \quad (3.1)$$

S_d : su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı (m), μ : su buharı difüzyon direnç katsayısı, d ise malzeme kalınlığıdır (m).

$$\text{Bağıl nem ise ; } \varphi = \frac{P}{P_s} \quad (3.2)$$

P : Kısmi su buharı basıncı (Pa); P_s : Θ sıcaklıktaki doymuş su buharı basıncı (Pa).

$$\Theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C için } P_s = 610,5e^{(17.269.\Theta)/(237.3+\Theta)} \quad (3.3)$$

$$\Theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C için } P_s = 610,5e^{(21.875.\Theta)/(265.5+\Theta)} \quad (3.4)$$

$$q, \text{ yapının ısı akış yoğunluğu olmak üzere; } q = U(\Theta_i - \Theta_e) \quad (3.5)$$

U : Isıl geçirgenlik katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$); Θ_i : iç ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$); Θ_e : dış ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)'dir.

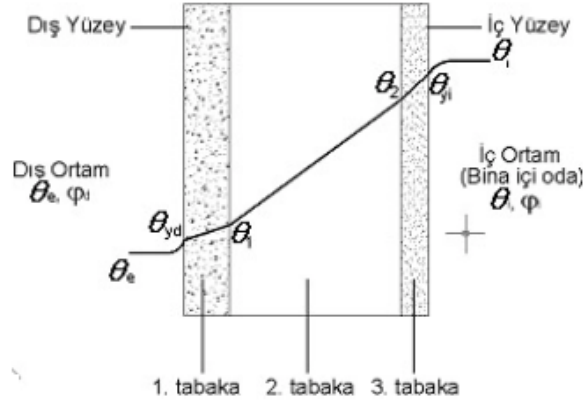
\dot{Q} , dış ve ara yüzey sıcaklıkları sırasıyla Denklem 3.6, 3.7 ve 3.8'deki gibi hesaplanır [33].

$$\Theta_{yi} = \Theta_i - R_i \times q \quad (3.6)$$

$$\Theta_{yd} = \Theta_e + R_e \times q \quad (3.7)$$

$$\Theta_n = \Theta_e + \frac{R_n}{R_t} \times (\Theta_i - \Theta_n) \quad (3.8)$$

R_i , R_e , R_n : iç/dış/ara yüzeyin yüzeysel ısı geçirgenlik direncidir.



Şekil 3.1: Çok katmanlı yapı elemanında sıcaklık dağılımı [33].

Her bir malzeme katmanı arasındaki sıcaklığa göre su buharı doyma basıncı hesaplanır [33].

$$g = \delta_0 \times \frac{P_i - P_d}{S_d \cdot T} \quad (3.9)$$

$$m_y = g \times t \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (3.10)$$

m_y : Yoğuşan ve/veya buharlaşan su kütlesi; g : 1 saniyede yoğuşan ve/veya buharlaşan su kütlesi; t : saniye cinsinden 1 ay (86400x30).

4. BULGULAR

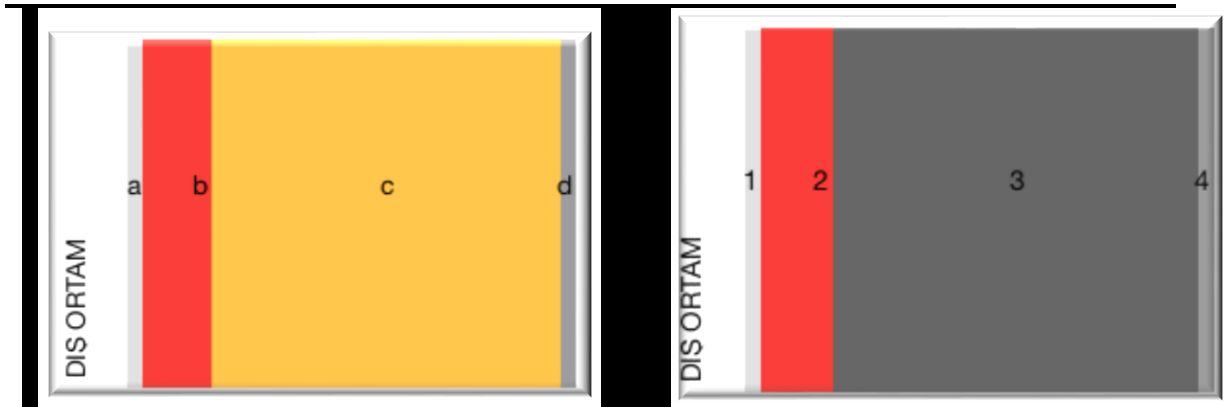
Bu çalışmada incelenen cam yünü ve taş yününün özellikleri Tablo 4.1’de; XPS ve EPS’nin özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablolardaki değerler İZOCAM’a aittir.

Tablo 4.1: Cam yünü ve taş yünü özellikleri.

Malzeme	Cam Yünü	Taş Yünü
İçerik Ve Ağırlıkça (%)	Cam elyaf (92-96)	Taş yünü (95-100)
	Termopolimer (3-8)	Fenol-üre
	Formaldehit ($<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formaldehit (0-5)
		Mineral Yağ (0-0,5)
Bileşenler	SiO ₂ , CaO, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , B ₂ O ₃	SiO ₂ , CaO, MgO, MnO, Na ₂ O, TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , SO ₃ , K ₂ O
Ergime Sıcaklığı (°C)	1000	>1000
Yoğunluk (kg/m ³)	10-120	30-200
Diğer Bilgiler	<p>WHO’a göre elyaf tozları/ camsı elyaf yünleri kanserojen değildir.</p> <p>Yangın anında; su, köpük, CO₂ ile söndürülür.</p> <p>Toksik etkisi yoktur, üretim esnasında çıkan atıklar geri dönüştürülebilir.</p> <p>Reçine, plastik ve kağıt kaplanması durumunda dumanla yanar.</p> <p>Reçine, plastik ve kağıt kaplanması durumunda dumanla yanar.</p> <p>Bağlayıcısı 200°C’de buharlaşacağından koku oluşur (Taş yünü).</p>	

Tablo 4.2: XPS ve EPS özellikleri.

Malzeme	XPS	EPS
İçerik ve Ağırlıkça (%)	Polistren-Etilbenzen polimeri (<90) Şişirici gaz – DME, CO ₂ veya HFC (<10)	Polistren-Etilbenzen polimeri (95-98) Pentan-C ₅ H ₁₂ (2-5)
Ergime Sıcaklığı (°C)	94	>155
Yoğunluk (kg/m ³)	20-52	10-30
Diğer Bilgiler	<p>İçerisindeki serbest gazlardan dolayı malzemenin kesilmesine ve korunmasına dikkat edilmelidir.</p> <p>Yangında; su, köpük, CO₂ veya kuru kimyasal ile söndürülür.</p> <p>Yangın sınıfı: DIN4102: B1 / EN 13501-1: E</p> <p>Yeniden kullanılabilir; atık ürün olarak plastik oluşur.</p> <p>Yangında CO, CO₂, stiren, HF, Florin gibi zehirli gazlar çıkarır; siyah duman oluşur. Toksikitesi vardır (XPS).</p> <p>Yangında CO, CO₂, stiren gibi gazlar çıkarır; siyah duman oluşur (EPS).</p>	

**Şekil 4.1:** Yoğuşma tahkikinde eleman kalınlıkları

a: Kireç-çimento harcı (0.02m); b: Isı yalıtım malzemesi (0.04m); c: Yatay delikli tuğla duvar (0.19m), d: Çimento harcı (0.02m).

1: Kireç-çimento harcı (0.02m); 2: Isı yalıtım malzemesi (0.04m); 3: Betonarme duvar (0.20m), 4: Çimento harcı (0.02m).

Tablo 4.3: Bazı ısı yalıtım malzemelerinin yanmasıyla çıkan gazlar ve miktarları [66].

Malzeme Adı	Yanma Ürünleri (mg/g)					HBr
	CO ₂	CO	NO ₂	HCN	HCl	
Cam Yünü	7.594	1.753	0.885	0.392	0.471	
Taş Yünü	5.687	0.573	0.429	0.067	0.635	
Fenol Köpüğü*	35.743	11.063	0.685	0.232	ND	
EPS	ND	ND	ND	0.003	1.078	Tespit edilebilir değerin altında (ND).
Poliüretan Köpük*	19.324	1.672	0.673	0.056	2.368	
Poliizosiyanürat*	25.390	2.171	0.328	0.083	2.277	

*Hesaplamalarda bu malzemeler kullanılmamıştır.

Tablo 4.4: Isı yalıtım malzemelerinin diğer özellikleri [67].

POZ Numarası	Malzeme Adı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri, λ_h	Kalınlık (m)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Yoğuşma miktarı (kg/m ²)	Birim Fiyat (m ² /TL)
15.340.1002	Taş Yünü			>1000		75.49
	Cam Yünü	0.030-0.040	0.04		0	
15.335.1102	EPS			>155		59.21
15.335.1002	XPS			94		66.30

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Isı yalıtımında kullanılan ve bu tez kapsamında incelenen cam yünü, taş yünü, XPS ve EPS gibi malzemelerin içeriği ve ağırlıkça oranları, bileşenleri, ergime sıcaklığı, yoğunluğu ve diğer özellikleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de; cam yünü, taş yünü ve EPS’nin yanması ile çıkan gazlar ve miktarları Tablo 4.3’de, birim fiyat, ısı iletkenlik hesap değeri ve TS 825’e göre yapılan yoğuşma tahkiki sonucu Tablo 4.4’de verilmiştir. Bu veriler göz önüne alındığında çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

a) Cam yünü, taş yünü, XPS ve EPS gibi ısı yalıtım malzemelerinin 0.030-0.040 W/m^{°K} ısı iletkenlik değerinde üretimi mümkündür. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019 birim fiyat çizelgesine göre bu malzemeler, en ucuzdan en pahalıya EPS, XPS, taş yünü-cam yünü olarak sıralanmaktadır; çünkü inorganik kökenli cam yünü ve taş yünü gibi ısı yalıtım malzemelerinin üretiminde gerekli olan enerji, petrol türevi olan EPS, XPS malzemelerinin üretiminde gerekli olan enerjiden çok daha fazladır.

b) Dünya Sağlık Örgütü’ne (WHO) göre cam yünü ve taş yünündeki elyaf tozları/camsı elyaf yünleri kanserojen değildir; toksik etkisi yoktur, üretim sırasında çıkan atıklar geri dönüştürülebilir. XPS ve EPS’nin içerisindeki serbest gazlardan dolayı malzemenin kesilmesine ve korunmasına dikkat edilmelidir, bu malzemeler, yeniden kullanılabilir; atık ürün olarak plastik oluşur.

c) XPS ve EPS’nin yoğunluğu ve ergime sıcaklığı cam yünü ve taş yünü’nün yoğunluğundan ve ergime sıcaklığından düşüktür; XPS ve EPS’nin ergime sıcaklıklarının düşük olması yangın güvenliği bakımından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

d) Cam yünü ve taş yünü’nün ergime sıcaklığı yüksek olmasına rağmen liflerin bir arada tutulması için kullanılan bağlayıcı reçine ve cam yünü, taş yünü tabakasının plastik veya kâğıt ile kaplanması durumunda dumanla yanar; reçine, 200°C’de buharlaşacağından özellikle taş yününde koku oluşur.

e) Cam yünü, taş yünü, XPS ve EPS’nin yanması ile açığa çıkan gazların ve miktarlarının verildiği Tablo 4.3’e bakıldığında CO₂, CO, NO₂, HCN, HCl tam ve kısmi yanma ürünleri

olduğu, bu gazların malzemelerdeki miktarlarının farklı olduğu ve HBr oranının tespit edilebilir değerin altında olduğu görölmektedir; bu farklılığın sebebinin malzemedeki katkı/katkılardan kaynaklanacağı düşünölebilir.

f) XPS ve EPS'nin yangın sınıfı: DIN4102: B1 / EN 13501-1: E 'dir. Yangında XPS; CO, CO₂, stiren, HF, Florin gibi zehirli gazlar çıkarır; siyah duman oluşur, toksisitesi vardır. EPS; CO, CO₂, stiren gibi gazlar çıkarır; siyah duman oluşur.

Sonuç olarak; binalarda iklim bölgelerine uygun, yoğuşma kontrolü yapılarak seçilecek etkin ısı yalıtımı uygulaması ısıtma/soğutma için gerekli olan enerji gereksinimini azaltacak, özellikle fosil yakıtların kullanıldığı bölgelerde enerji tasarrufu sağlamanın yanında çevreye olumlu etki yapacaktır. Isı yalıtımı malzemelerinin, sisteminin seçiminde ve uygulanmasında malzemelerin ısıl performansından başka yangın performansı, yangın sırasında çıkan gazlar ve miktarı gibi teknik özelliklerin dikkate alınması can güvenliği bakımından çok önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1]. Capuano, L., 2018, International Energy Outlook 2018, https://www.eia.gov/pressroom/presentations/capuano_07242018.pdf, [Ziyaret Tarihi: 14 Aralık 2018].
- [2]. Arslan M. A. ve Aktaş M., 2018, İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(2): (2018), 299-320.
- [3]. Metaxiotis Company, The Benefits of Thermal Insulation, <http://www.metaxiotis.gr/en/>, [Erişim Tarihi: 2 Ocak 2019].
- [4]. Anonim, 2008, Yalıtım Üzerine Söyleyişi, *Yalıtım Dergisi*, 70(2008).
- [5]. Durmuş, M.Ö., 2006, *Dış Cephe Isı Yalıtımı Sıvalı Kompozit Sisteminde Kullanılan Dübellerin Aderans Kuvveti*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6]. Bayraktar, D., Bayraktar, E.A., 2016, Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 59-66.
- [7]. Karadayı, T.T. ve Yüksek İ., 2016, Yapılarda Isı Yalıtım Malzemeleri Seçimi Üzerine Bir Araştırma, *Tesisat Dergisi*, 242, 90-102.
- [8]. Aditya, L., Mahlia, T.M.I., Rismanchi, B., Ng, H.M., Hasan, M.H., Metselaar, H.S.C., Muraza, O., Aditiye, H.B., 2017, A review on insulation materials for energy conservation in buildings, *Elsevier*, 73(2017), 1352-1365.
- [9]. Schiavoni, S., Alessandro, F.D., Bianchi, F., Asdrubali F., 2016, Renewable and Sustainable Energy Reviews, *Elsevier*, 62(2016), 988-1011.
- [10]. Wang, S.J., Zhang, H.P., Hou, Y.N., Cheng, X.D., 2017, Flammability of Building Thermal Insulation Materials Using Self-designed Adiabatic Specimen Holder in Cone Calorimeter, *International Environmental Science and Sustainable Energy Conference, January 2017 China*, ESSE 2017, DOI:10.1515/9783110540048-010, 89-99.
- [11]. Özgünler, M., Acun Özgünler, S., Arpacıoğlu, Ü., 2018, Sürdürülebilir Binaların Çatı ve Cephelerinde Oluşan Yangın Risklerinin Analizi, *Yalıtım Dergisi*, ISSN 1302-8057, 54-62.
- [12]. Kılıç, A., 2017, Türkiye’de Yüksek Binalar Güvenli Mi?, *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 192(2017), 8-9.
- [13]. Kılıç, A., 2012, Cephe Kaplamaları ve Cephe Yangın Güvenliği, *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 152(2012), 8-10.

- [14]. U.S. Department of Energy, *Where to Insulate in a Home*, <https://www.energy.gov/energysaver/weatherize/insulation/where-insulate-home>, [Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2019].
- [15]. Işık Üstündağ, S., 2016, *Su Yalıtımının Yapı Maliyetindeki Yeri ve Uygulamasının Önemi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16]. Kartal, S., Işık Üstündağ, S., 2016, *Yapılarda su yalıtım uygulamalarının önemi ve maliyeti*, *Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 399-408.
- [17]. Aköz, F., 2016, Yapılarda Su Yalıtımı, *Yalıtım Dergisi*, MMO/664(2016), 231-276.
- [18]. Yüksek, İ., Sivacılar, S., 2016, Türkiye Şartlarında TS 825 Kapsamında Farklı Duvar Tiplerinin Isıl Etkinlikleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, *Politeknik Dergisi*, 20(2), 291-302.
- [19]. Emre, S., 2010, *Sanayi Yapılarında Isı, Ses ve Yangın Yalıtımının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20]. Böke, B., 2015, Yüzeyde Yoğuşma Problemi, *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 8-11 Nisan 2015 İzmir, MMO, 2507-2512.
- [21]. Aksoylu, C., 2014, *Yapılardaki Ses İzolasyonunun Bilgisayar Ortamında Simülasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22]. Onaran, K., 1995, *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, ISBN:978-975-540-017-4.
- [23]. Ses Desibeli Nedir? Websitesi, <https://www.sesyalitimi.com.tr/ses-desibeli-nedir.html>, [Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2019]
- [24]. Kaya, A.İ., Dalgar, T., 2017, Ses Yalıtımı Açısından Doğal Liflerin Akustik Özellikleri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1*, ISSN: 1309-2243, 25-37.
- [25]. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 31.05.2017, *Resmi Gazete*, Sayı: 300082.
- [26]. Uysal, A., 2004, *Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27]. İnce, A., Yangın Yerindeki Tehlikeler, <http://abdurrahmanince.net/yyt.pdf>, [Erişim Tarihi: 2 Şubat 2009].
- [28]. Kara, İ.K., 2018, 2013-2017 Yılları Arasında Artvin İl Merkezinde Meydana Gelen Bina Yangınlarının İncelenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 105-114.
- [29]. Kılıç, A., 2012, Betonarme ve Çelik Yapılar Yangın Güvenliği ders notları.
- [30] TS EN 13501-1, *Türk Standartları Enstitüsü Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik*, Ankara.

- [31]. Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., 2011, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*, John Wiley&Sons, United States of America.
- [32]. İzoder Websitesi -Yangın Yalıtımı, <https://www.izoder.org.tr/sayfa/41/genel-bilgi-almak-istiyorum>, [Erişim Tarihi: 20 Kasım 2018].
- [33]. TS 825, Mayıs 2008, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, ICS 91.120.10, Ankara.
- [34]. Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalikuş, O., Kara, İ., Erdem, Ş., Özgür, D., 2015, Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 487-2015/4, 62-75.
- [35]. İzocam Websitesi, 2019, <http://www.izocam.com.tr/>, [Ziyaret Tarihi: 11 Şubat 2019].
- [36]. Functional Adaptive Nano-Materials and Technologies for Energy Efficient Buildings, 2017, Requirement Specifications for Thermal Insulation Materials, Teknik Rapor.
- [37]. Ülker, S., 2009, *Isı Yalıtım Malzemelerinin Özelliklerinin Uygulamaya Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38]. Sözer, N., 2005, *Türkiye’de İlgili Yönetmeliklere Uygun Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Çözümleri, Yalıtım Malzemeleri ve Bir Bina Projesi Üzerinde Uygulama Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39]. İnşaat Mühendisleri Odası - Yapılarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri PDF notlar, İMO Websitesi E-Kütüphane, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10781.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 2 Mart 2019].
- [40]. GN Yapı, 2019, Isı Yalıtım Malzemeleri Teknik Föyü.
- [41]. Başyigit, L., 2011, Topraklaşma, *1. Ulusal Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi*, 19-20 Kasım 2011 Ankara, Helal ve Sağlıklı Gıda Platformu, 34-44.
- [42]. Altın, M., Aşıkoğlu, A., 2014, Sürdürülebilir Yapılarda Aerojel Kullanımı, *Yalıtım Dergisi*, 123(2014), 58-70.
- [43]. Yu, Z.L., Yang, N., Apostolopoulou-Kalkavoura, V., Qin, B., Ma, Z.Y., Xing, W.Y., Qiao, C., Bergström, L., Antonietti, M., Yu, S.H., 2018, Fire-Retardant and Thermally Insulating Phenolic-Silica Aerogels, *A Journal of the German Chemical Society*, 57(17), 4538-4542.
- [44]. Bayrakçı, H.C., Davraz, M., Başpınar, E., 2011, Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.
- [45]. Neşet, K., *Özel Görüşme*, Tarih: 06.04.2019 & 04.05.2019
- [46]. Sümer, A., 2018, *Raylı Sistemlerde Yangın Kazaları ve Yangına Karşı Güvenlik İçin Gereklilikler*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [47]. Yılmaz, H.S., Avlar, E., 2018, Geçmiş Yangınların Çıkarımları ve Öğretileri, *Yalıtım Dergisi*, 173(22), 42-48.
- [48]. İstanbul İtfaiye Müdürlüğü İstatistikleri, 2014-2018 *İstanbul Yangın İstatistikleri*, İstanbul.
- [49]. Türkiye İstatistik Kurumu - TÜİK, *Yıllara Göre İl Nüfusları 2000-2018*, Ankara.
- [50]. NFPA - National Fire Protection Association /Fire Investigation Department, 1996, *Technical Report*, Quincy, USA.
- [51]. Ateş, E, 2018, *Levha Kalınlıkları Artırılmalı*, *Yalıtım Dergisi*, 173 (2018), 24-26.
- [52]. Brandfolkenes Organisation, 2010, *Fatal fires and building materials - Technical Report*, Denmark.
- [53]. Peng, L., Ni, Z., Huang, X., 2013, Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China, *The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*, *Procedia Engineering*, 62(2013), 663-670.
- [54]. McKenna, S.T., Jones, N., Peck, G., Dickens, K., Pawelec, W., Oradei, S., Harris, S., Stec, A.A., Hull, T.R., 2019, Fire behaviour of modern façade materials - Understanding the Grenfell Tower fire, *Journal of Hazardous Materials*, 368(2019), 115-123.
- [55]. European Manufacturers of EPS, 2007 Teknik Raporu, Erişim Adresi: <https://eumeps.org/downloads>
- [56]. Alarifi, Abdulaziz A, Phylaktou, Herodotos N. ve Andrews Gordon E., 2016, What Kills People in a Fire? Heat or Smoke?, *9th Saudi Students Conference*, 13-14 February 2016, Birmingham, UK.
- [57]. YTONG - Yalıtım Malzemesi Tercihinde Dikkat Edilmesi Gereken Konular, <https://ytong.com.tr/blog-detay.asp?blogID=6>, [Erişim Tarihi: 10 Kasım 2018].
- [58]. British Standard - BS EN ISO 1182, 25 February 2002, *Reaction to fire tests for building products - non combustibility test*, ISBN: 0 580 39037 3, London.
- [59]. British Standard - BS EN 13823, 26 February 2002, *Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*, ISBN: 0 580 39176 0, London.
- [60]. British Standard - BS EN 1716, 15 June 1997, *Plastics piping systems - Polyethylene tapping tees - Test method for impact resistance of an assembled tapping tee*, ISBN: 0 580 27391 1, London.
- [61]. British Standard - BS EN ISO 11925-2, 2010, *Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame*, ISBN: 978 0 580 60503 1, London.

- [62]. British Standard - BS EN 12089, 30 April 2013, *Thermal insulating products for building applications - Determination of bending behaviour*, ISBN: 978 0 580 78054 7, London.
- [63]. British Standard - BS EN 12430, September 2006, *Thermal insulating products for building applications - Determination of behaviour under point load*, ISBN: 0 580 30164 8, London.
- [64]. Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., 2017, *International Association of Fire and Rescue Services - World Fire Statistics*, Rusya.
- [65]. Yangılara Karşı Alınması Gereken Yöntemler, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı - AFAD Web Sitesi, 2018, <https://www.afad.gov.tr/tr/25490/Yanginlara-Karsi-Alinmasi-Gereken-Onlemler>, [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2019].
- [66]. Stec, A.A., Hull, T.R., 2010, Assesment of the fire toxicity of building insulation materials, *Energy and Buildings*, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015
- [67]. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *2019 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kadir ÖZGÜNDÜZ
Doğum Yeri	İSTANBUL
Doğum Tarihi	01.01.1994
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05413431566
E-Posta Adresi	kadirozgunduz@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	T.C. İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	