

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN DIŞ DUVARDA KULLANIMINDA
GÜNEŞ IŞINIMI KATKISININ BİNA ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ: İZMİR İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra ELVAN ÖZYURT

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

ARALIK 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN DIŞ DUVARDA KULLANIMINDA
GÜNEŞ IŞINIMI KATKISININ BİNA ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ: İZMİR İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Esra ELVAN ÖZYURT
(502081509)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. F. Ecem EDİS

ARALIK 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502081509 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Esra ELVAN ÖZYURT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN DIŞ DUVARDA KULLANIMINDA GÜNEŞ IŞINIMI KATKISININ BİNA ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: İZMİR İLİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. F. Ecem EDİS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. İkbāl ÇETİNER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Neşe GANIÇ SAĞLAM
Özyeğin Üniversitesi

Teslim Tarihi : 11 Kasım 2019
Savunma Tarihi : 9 Aralık 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle bu tez çalışmasının her aşamasında desteğini gördüğüm, bilgi, öneri ve yardımlarıyla bana sabırla yol gösteren değerli danışmanım Doç. Dr. ECEM EDİS'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yaşamım boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteği veren, bugünlere gelmemi sağlayan ve eğitim hayatım süresince ve sonrasında emeklerini esirgemediğim yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime; dualarıyla yanımda olan her zaman bana sevgisini hissettiren anneannem ve aramızdan ayrılan büyükbabama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tanıdığım ilk günden itibaren her koşulda sevgisi ve desteğiyle yanımda olan, kararlarımda beni her zaman destekleyen sevgili eşim ve hayat arkadaşım AHMET ÖZYURT'a sonsuz teşekkür ederim.

Kasım 2019

Esra Elvan Özyurt
Mimar



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç Ve Kapsam.....	2
1.2 Yöntem	2
1.3 Tezin Yapısı	3
2. BİNALARIN ENERJİ ETKİNLİĞİ	5
2.1 Enerji Etkin Bina Tasarımını Etkileyen Değişkenler	6
2.2 Bina Kabuğunun Enerji Etkinlikle İlişkili Optik Ve Termofiziksel Özellikleri	12
2.3 Binalarda Kullanılan Güneş Enerjisi Kazanım Sistemleri.....	15
2.3.1 Doğrudan kazanım sistemleri.....	16
2.3.2 Dolaylı kazanım sistemleri	18
2.3.3 Yalıtılmış kazanım sistemleri.....	20
2.4 Bölüm Değerlendirmesi.....	21
3. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ VE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER.....	23
3.1 Enerji Depolama Yöntemleri	24
3.2 Isıl Enerji Depolama Yöntemleri	25
3.3 Faz Değiştiren Malzemeler	31
3.3.1 Faz değiştiren malzemelerin çalışma prensibi	32
3.3.2 Faz değiştiren malzemelerin çeşitleri ve kullanım alanları	32
3.3.3 Binalarda faz değiştiren malzemelerin kullanımı.....	35
3.3.4 Faz değiştiren malzemelerin binada kullanımıyla ilgili yapılmış çalışmalar	39
4. FDM'LERİN DIŞ DUVARDA KULLANILMASINDA GÜNEŞ IŞINIMI ETKİSİNDEN YARARLANMANIN KATKISININ İNCELENMESİ	47
4.1 Çalışma Yöntemi.....	48
4.1.1 İl seçimi ve iklim özelliklerini belirleme.....	48
4.1.2 İklim verilerine göre FDM seçeneklerini belirleme	48
4.1.3 Çalışma modelini kurgulama ve dış çevre kabullerini belirleme.....	50
4.1.4 İklim verilerine göre çalışma modeli kabuk katmanlarını belirleme	51
4.1.5 Benzetim senaryolarının oluşturulması	55

4.1.6 Benzetim programının seçimi.....	56
4.1.7 Benzetim modelinin hazırlanması ve şartların belirlenmesi	57
4.2 Benzetim Bulguları Ve Tartışma	61
4.2.1 FDM'nin duvar kesitinde kullanıldığı yerin performansa etkisi	63
4.2.2 FDM erime sıcaklığının performansa etkisi	65
4.2.3 FDM kullanılan duvarın yönünün performansa etkisi	68
4.2.4 FDM ürün türünün performansa etkisi.....	73
4.2.5 Güneş ışınlamının performansa etkisi.....	75
5. SONUÇ	95
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	105



KISALTMALAR

Al	:Alüminyum
EN	: Erime Noktası
FDM	:Faz Değiştiren Malzeme
IED	: Isıl Enerji Depolama
KE	: Kinetik Enerji
NASA	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PCM	: Phase Change Material
TS	: Türk Standartları



SEMBOLLER

c	: Malzemenin Özgöl Isısı [kJ/kg K]
d	: Malzeme Kalınlığı [cm]
m	: Depolama Malzemesinin Kütlesi [kg]
Q	: Depolanan Duyulur Isı [kJ]
T_s	: Son Sıcaklık [K]
T_i	: İlk Sıcaklık [K]
U	: Isıl Geçirgenlik Katsayısı [W/m ² K]
v	: Malzemenin Hacmi [m ³]
λ	: Isıl İletkenlik Katsayısı [W/mK]



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : İzmir ili sıcaklık değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü).	49
Çizelge 4.2 : Duvarda kullanım için seçilen FDM'ler ve termofiziksel özellikleri. ..	50
Çizelge 4.3 : 1. Bölge için en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS- 825 Binalarda ısı yalıtım standardı).....	51
Çizelge 4.4 : Çatı katmanlaşma detayı.	52
Çizelge 4.5 : Döşeme katmanlaşma detayı.	52
Çizelge 4.6 : Duvar katmanlaşma detayı.	52
Çizelge 4.7 : FDM'siz ve FDM'li duvar katmanlaşma detayları.....	54
Çizelge 4.8 : FDM, EN, yer ve yönler göre duvar katmanlaşma çeşitleri ile oluşturulan senaryolar.....	56
Çizelge 4.9 : FDM'lerle yapılan çalışmalarda kullanılan programlar.....	57
Çizelge 4.10 : Referans bina modellemesinde kullanıcı ve mekanik sistem tasarım değerleri.	60
Çizelge 4.11 : Analiz edilen senaryoların yıllık soğutma, ısıtma ve toplam enerji ihtiyaçları.	62
Çizelge 4.12 : FDM performansının yöne bağlı fayda-zarar oranları.	72
Çizelge 4.13 : Tüm yönler FDM uygulandığında en verimli ve en verimsiz senaryoların sıralaması.	76
Çizelge 4.14 : Verimli ve verimsiz senaryonun güneş ışınlam miktarına göre aylık karşılaştırılması.	78
Çizelge 4.15 : AL ₄₀ FDM'nin farklı yerlerde kullanımında ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçlarının aylara göre dağılımı.....	80
Çizelge 4.16 : 2 Temmuz (toplam en yüksek güneş ışınlam miktarı-ortalama en yüksek sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).....	82
Çizelge 4.17 : 2 Temmuz (En yüksek güneş ışınlam miktarı-en yüksek sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).	84
Çizelge 4.18 : 26 Nisan (toplam en yüksek güneş ışınlam miktarı-ortalama en düşük sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).....	86
Çizelge 4.19 : 26 Nisan (En yüksek güneş ışınlam miktarı-en düşük sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).	87
Çizelge 4.20 : 15 Aralık (toplam en düşük güneş ışınlam miktarı-ortalama en yüksek sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).....	88
Çizelge 4.21 : 15 Aralık (En düşük güneş ışınlam miktarı-en yüksek sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).	90
Çizelge 4.22 : 29 Aralık (toplam en düşük güneş ışınlam miktarı-ortalama en düşük sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).....	91
Çizelge 4.23 : 29 Aralık (En düşük güneş ışınlam miktarı-en düşük sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).	93



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Enerji tüketim oranlarının sektör ve bina bazında dağılımı (International Energy Agency, 2008).....	5
Şekil 2.2 : Bitki örtüsü ile güneş ışınlamından yararlanma ve güneş kontrolü (Yaşan, 2011).....	7
Şekil 2.3 : Bina aralıklarının güneş ışınlamından korunmaya ve yararlanmaya yönelik düzenlenmesi (N. Lechner, 1991).....	11
Şekil 2.4 : Doğrudan kazanım sistemleri- çatı penceresi uygulaması (Yılmaz, 2008).....	17
Şekil 2.5 : Güneş ışınlamının doğrudan kazanımı, depolanması ve gece kullanımı (Yılmaz, 2008).....	17
Şekil 2.6 : Trombe duvar çalışma prensibi (Yılmaz, 2008).....	18
Şekil 2.7 : Su duvarı (Yılmaz, 2008).....	19
Şekil 2.8 : Çatı havuzu çalışma prensibi (Yılmaz, 2008).....	19
Şekil 2.9 : Pasif sistemlerin avantaj ve dezavantajları (Lechner, 1991).....	21
Şekil 3.1 : Enerji depolama yöntemleri (Dincer & Rosen, 2011).....	24
Şekil 3.2 : Isıl enerji depolama yöntemleri (Sharma vd., 2009).....	26
Şekil 3.3 : Duyulur ve gizli ısı depolama.....	29
Şekil 3.4 : Sıcaklık değişimi ile duyulur ve gizli enerji depolama (Bruno vd., 2014).....	30
Şekil 3.5 : FDM'nin erime ve katılaşma sırasındaki sıcaklık değişim grafiği (Mehling & Cabeza, 2008).....	31
Şekil 3.6 : FDM'lerin sınıflandırılması (Kant vd., 2016).....	33
Şekil 3.7 : FDM'nin aktif sistem uygulaması.....	36
Şekil 3.8 : Toz ve sıvı haldeki mikrokapsüllenmiş FDM.....	37
Şekil 3.9 : Mikrokapsüllenmiş FDM.....	38
Şekil 3.10 : Yükseltilmiş döşemede granül FDM uygulama detayı (Mehling & Cabeza, 2008).....	38
Şekil 3.11 : Duvarda şilte FDM uygulama detayı (Url-1, y.y.).....	38
Şekil 3.12 : Çatıda şilte FDM uygulama detayı (Url-1, y.y.).....	39
Şekil 3.13 : Asma tavanda şilte FDM uygulama detayı (Url-1, y.y.; Zalba, Marín, Cabeza, & Mehling, 2003).....	39
Şekil 3.14 : 1 cm kalınlığındaki FDM'nin depoladığı ısı miktarı kadar ısı depolamak için olması gereken yapı malzeme kalınlıkları (Mehling & Cabeza, 2008).....	40
Şekil 3.15 : Geleneksel Duvardaki FDM'lerin Termofiziksel Özellikleri (Konuklu & Paksoy, 2011).....	40
Şekil 3.16 : Test odası- prefabrik kulübe.....	41
Şekil 3.17 : 3 Katlı ofis binası.....	42
Şekil 3.18 : FDM'li duvar katman detayı.....	42
Şekil 3.19 : FDM'li duvar ve çatı katmanları.....	43
Şekil 3.20 : Tek katlı müstakil prototip.....	43
Şekil 3.21 : FDM'li ve FDM'siz duvar detayı.....	44

Şekil 3.22 : Dış yüzeyde FDM'li ve FDM'siz duvar detayı.....	45
Şekil 3.23 : 4m × 4m × 3m boyutlarında oluşturulan kütle.....	45
Şekil 3.24 : FDM'siz ve FDM'li çatı katman detayı.....	46
Şekil 3.25 : İnşa edilen test odaları (soldaki oda FDM ile kaplanmıştır).....	46
Şekil 4.1 : Tek hacimli kompakt çalışma modelinin planı (Boyutlar:4mx4mx4m). .	51
Şekil 4.2 : Design Builder Programında tanımlanan çalışma modeli.	58
Şekil 4.3 : Winco-tech 35°C Al metal levha FDM'nin entalpi değişim grafiği.	58
Şekil 4.4 : Winco-tech 35°C Al metal levha FDM'nin entalpi değerlerinin girildiği malzeme tanımlama penceresi.	59
Şekil 4.5 : FDM'lerin katmanlaşmadaki yerine göre yıllık enerji ihtiyaçları grafiği.	65
Şekil 4.6 : FDM'nin erime sıcaklığına göre yıllık soğutma enerjisi grafiği.....	66
Şekil 4.7 : FDM'nin erime sıcaklığına göre yıllık ısıtma enerjisi grafiği.	67
Şekil 4.8 : FDM'nin erime sıcaklığına göre yıllık toplam enerji grafiği.	68
Şekil 4.9 : FDM'nin yöne bağlı performans grafiği.....	71
Şekil 4.10 : İçte uygulanan FDM'nin türüne göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.....	75
Şekil 4.11 : Dışta ve sıva altında uygulanan FDM'nin türüne göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.....	75
Şekil 4.12 : Verimli ve verimsiz senaryonun SEİ ve IEİ farkının doğrudan güneş ışıınım miktarına ve ortalama dış hava sıcaklığına bağlı olarak aylık değişim grafiği.	78
Şekil 4.13 : Farklı yerlerde kullanılan FDM'nin enerji ihtiyacı-ay grafiği.....	81
Şekil 4.14 : 2 Temmuz günü DHS ve İHS değişim grafiği.	83
Şekil 4.15 : 2 Temmuz günü batı yönünde DYS değişim grafiği.....	85
Şekil 4.16 : 26 Nisan günü DHS ve İHS değişim grafiği.....	86
Şekil 4.17 : 26 Nisan günü batı yönünde DYS değişim grafiği.....	88
Şekil 4.18 : 15 Aralık günü DHS ve İHS değişim grafiği.....	89
Şekil 4.19 : 15 Aralık günü batı yönünde DYS değişim grafiği.....	90
Şekil 4.20 : 29 Aralık günü DHS ve İHS değişim grafiği.....	91
Şekil 4.21 : 29 Aralık günü batı yönünde DYS değişim grafiği.....	93

FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN DIŞ DUVARDA KULLANIMINDA GÜNEŞ IŞINIMI KATKISININ BİNA ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: İZMİR İLİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüzde binaların teknolojik özelliklerinin artmasıyla beraber binaların enerji gereksinimleri de artmıştır. Binalardaki enerji taleplerinin uzun süreli ve kesintisiz karşılanabilmesi için enerji depolama sistemleri büyük önem kazanmıştır. Bir ısıtma enerji depolama maddesi olan Faz Değiştiren Malzemeler (FDM); sıcaklık yükselmesi ile faz değiştirerek bünyesinde gizli ısıyı depolar ve sıcaklık düşüşünde eski haline dönerek ortama ısı verir. Böylelikle binalarda kullanılan FDM'ler, ortamdaki fazla enerjinin depolanması ve ortam sıcaklığı azaldığında depolanan enerjinin kullanılmasına olanak vermesi ile binalarda enerji taleplerinin karşılanmasına, ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerinin düşürülmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu konuda yapılmış bilimsel çalışmalar, bina kabuğunda kullanılan FDM'lerin, gece-gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu şehirlerde daha verimli çalıştığını göstermektedir. Bununla beraber, hava sıcaklığının yanında güneş ışıınımı ile FDM'nin sıcaklığının artırılıp faz değiştirmesine olanak sağlanabilir. Bu doğrultuda, bu düşünceden hareketle, bu çalışmada gece-gündüz sıcaklık farkının az, güneşlenme süresi ve miktarının fazla olduğu İzmir İli'nde dış duvarda kullanılan FDM'lerin güneş ışıınının katkısıyla enerji verimliliğine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bina kabuğunda iç yüzeyde bulunan FDM'lerde iç mekandaki sistemlerden (ısıtma-soğutma, pişirme ünitesi, TV vs.) kaynaklanan ısıyla ve dış yüzeyden içeri ısı akışının etkisi ile faz değiştirmesine imkan sağlanmaktadır. Bu çalışmada ise duvar dış yüzeyindeki FDM'nin doğrudan veya dolaylı şekilde aldığı güneş ışıınımı ile malzemenin faz değişimine imkan vererek bunun enerji performansına etkisi araştırılmıştır. İzmir İli'nde yaz aylarında duvar dış yüzeyinde bulunan FDM'nin, güneş ışıınının etkisiyle faz değiştirerek ısı enerjisini bünyesinde depolayacağı, böylece depolama görevi yanında aynı zamanda bir ısıtma kütle gibi davranarak yazın iç mekana fazla ısıyı iletmeyip iç mekan sıcaklıklarını çok fazla soğutma enerjisi harcamadan belirli bir değerde koruyacağı düşünülebilir. Kış aylarında ise güneş ışıınımı etkisiyle faz değiştiren malzeme ısı enerjisini depolar ve iç mekan sıcaklığı düştüğü durumda ihtiyaç halinde tersine tepkimeyle faz değiştirip bu fazla ısıyı geri vererek hem duvar yüzeyinin kışın aşırı soğumasını engellemiş olur hem de iç mekan sıcaklığı için bir nevi ayar değeri ile çalışan ısıtma sistemi gibi görev yapar. Bu fikirden yola çıkarak FDM'lerin güneş ışıınının etkisiyle yaz aylarında soğutmaya, kış aylarında ise ısıtmaya katkıda bulunacağı varsayımıyla benzetim programı aracılığıyla hesaplamalar yapılmıştır.

FDM'nin duvar katmanındaki yerine, yönüne, ürün türüne ve erime sıcaklığına göre çeşitli senaryolar oluşturulup kompakt bir kütle modeli için hesaplamalar yapılmış,

FDM'nin enerji verimliliğine etkisi açısından ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçlarına bakılmıştır. Direkt güneş ışıınımı etkisini değerlendirebilmek için de iç hava sıcaklıkları ve duvar yüzey sıcaklıkları incelenmiştir.

Yapılan değerlendirmede; pasif bir enerji depolama sistemi olan FDM'lerin duvar dış yüzeyinde kullanımının İzmir ili için özellikle soğutmanın istendiği dönemde büyük katkı sağlayabileceği belirlenmiştir. Gelişen teknolojiyle beraber artan enerji taleplerinin karşılanabilmesi için farklı sektörlerde enerji depolama amaçlı kullanılan FDM'ler, aynı zamanda binalarda iklimlendirme sistemi enerji ihtiyacını azaltmaya yönelik gelişmiş bir alternatif olarak düşünülebilir. Küresel ısınmanın sürdürülebilir çevreye etkileri göz önüne alındığında, FDM kullanımı, iç mekan sıcaklıklarını belirli aralıklarda tutarak bina enerji tüketimlerinin ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir ve küresel ısınma problemini önlemek için de olası bir çözüm önerisi olarak akla gelebilir.



THE EVALUATION OF SOLAR RADIATION CONTRIBUTION ON THE USE OF PHASE CHANGE MATERIALS IN THE EXTERIOR WALLS REGARDING BUILDING ENERGY EFFICIENCY: EXAMPLE OF IZMIR, TURKEY

SUMMARY

Both in the World and in Turkey, most of the energy consumption occurs in buildings, and it is used to a great extent for heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water. In Turkey, the majority of the energy is imported from abroad. Therefore, it is thought that the energy demand of our country will decrease significantly by providing energy efficiency in the buildings. One of the ways to improve energy efficiency is the use of passive systems, and utilizing solar energy is among common approaches in reducing energy needs for e.g. heating, cooling and lighting. Since solar energy is clean and free, it is one of the most suitable renewable energy source for our country. In passive systems, solar energy gain, storage and distribution is effected from the variables related to building. For this reason, in benefiting from solar energy; variables such as building orientation, insulation, window to wall ratio, envelope's optical and thermophysical properties gain importance.

Passive systems are preferred as they are low cost in providing indoor comfort conditions. The building envelope plays an active role in keeping the indoor temperatures in balance with passive gains without spending energy during winter periods. In conventional systems, by creating a thermal mass with thick walls, thermal energy is stored and temperature fluctuations in the interior space are prevented. In contemporary systems, similar thermal performance can be achieved by keeping the walls thinner with the use of thermal insulation. However, low thermal storage capabilities of thermal insulation materials cause some drawbacks. Today increasing use of technology; as well as increasing the energy need in buildings, also create the necessity of providing easily accessible and continuous energy. For this reason, storage of energy is also of great importance with the principle of conservation of energy. Energy storing materials used at building envelope can act as a thermal control measure, and also provides efficient use of energy by storing it, and releasing it afterwards. Therefore, there is an increasing need for these kinds of materials.

Phase change materials (PCM), which are a thermal energy storage material, change phase due to temperature rise and store the latent heat in its body, and while returning to their former state release the heat to the environment. Thus, PCMs used in buildings can contribute to meeting energy demands in buildings and reducing heating and cooling energy consumption by enabling the storage of excess energy present in the environment and the use of stored energy when needed. Research studies show that the PCMs used in building envelope will be more effective in cities where daytime and night-time air temperature difference is high. Considering that, as

well as the temperature of the air, solar radiation can contribute to increase the temperature of the PCM for its phase change, the use of PCM at exterior walls was investigated for Izmir, a city in Turkey, where daytime and night-time air temperature difference is low, but solar radiation intensity is high.

PCMs used on the inner surface of building envelope change phase both with the effect of interior energy sources (e.g. heating-cooling, cooking units, TV, etc.) and heat transfer from the exterior. In this study, the effect of PCM used on the outer surface of the exterior wall, which changes phase mainly by solar radiation was investigated regarding building energy efficiency. In summer, PCM that is located on the outer surface of the wall is assumed to store the solar energy by changing phase, so that it will prevent transmission of too much heat to the interior space and in turn reduce cooling energy consumption. In the winter months, the material that changes phase with the effect of solar radiation is assumed to store heat and when the temperature decreases, it changes phase with reverse reaction and returns this excess heat for preventing both cooling down of the wall and excessive temperature fluctuations at the interior space. Based on this idea, energy simulations have been made to evaluate PCMs contribution to cooling efficiency in summer and heating efficiency in winter with the effect of solar radiation.

In order to investigate the effect of solar radiation on the use of PCMs, the "Design Builder" program, which uses the "finite difference" method, has been utilized, and a compact model has been created for residential use. According to the climate data of İzmir, the difference between daytime and night-time air temperature values is low in summer, and the air temperatures are high and solar exposure times are long in general. The average highest temperature for July is 33,2°C, and the average lowest temperature is 22,4°C. PCM selections with different melting temperatures were made according to these temperatures determined. In this study, by using PCMs on the exterior side of the exterior wall, it is aimed to contribute to energy efficiency by reducing the heating load with the energy stored by solar radiation in winter, and reducing the cooling load by storing the excess heat caused by solar radiation in summer. In this context, in order to examine the contribution of PCM to building energy efficiency with the effect of solar radiation according to its location within the wall, its type, melting temperature and the orientation of the wall, different case scenarios have been created. In order to investigate the effect of its location within the wall, PCMs used on the exterior and interior sides of exterior wall, and PCM used behind the exterior render were analysed. To determine the effect of changing solar radiation intensity in relation to the orientation, separate cases have been created, where an exterior wall facing a certain direction had PCM layer while the remaining walls facing other directions did not. In this respect, North, South, East and West directions were studied. Additionally, cases with all walls having PCM layer were studied as well. The simulations have been made while the heating-cooling system was turned on and off, and the results were also compared with that of case having all exterior walls of without PCM. In calculations made with the heating-cooling system turned on; annual cooling energy [kWh], heating energy [kWh] and total energy demands [kWh] have been determined and comparisons of cases in terms of building energy efficiency have been made. In addition, to examine the effect of solar radiation contribution on the performance of PCM during seasonal changes, monthly heating and cooling energy demands have also been discussed considering the monthly direct solar radiation amounts. Furthermore, to examine the effect of changing direct solar radiation intensity on the performance of external

walls with PCM; simulations have been made for the selected cases for the days with maximum and minimum solar exposure while the heating-cooling system was turned off. In the results, indoor air temperature (°C), outdoor air temperature (°C) and inner and outer surface temperatures (°C) were examined and discussed.

Today cooling energy demand is rising up due to the increasing temperatures with global climate change. One of the ways to reduce the cooling loads in buildings is to control the solar heat gain from the building envelope. The results of the study considering the case of Izmir, where solar radiation intensity is high, showed that PCM, which is used on the outer surface of the wall and having high melting temperature is efficient in reducing the cooling energy demand in summer, but inefficient for decreasing the heating demand in winter, while sometimes efficient when the total heating-cooling energy demand is considered. Therefore, it has been concluded that, for the residential buildings occupied through the whole year, it is necessary to examine the monthly energy demands for PCMs with different melting temperatures and evaluate total energy costs or it may be more efficient to use PCMs with high melting temperature on the exterior surface of the wall in summer houses where cooling is necessary only.



1. GİRİŞ

Milattan önceki yıllardan günümüze insanlar çeşitli amaçlar için enerjiye ihtiyaç duymuşlardır. Zaman içinde teknolojinin gelişmesiyle ve nüfus yoğunluğunun artmasıyla enerji ihtiyacı ve enerjiyi üretme hızı artmış, enerji ve enerjiyi temin etme yöntemleri de biçim değiştirmiştir. Termodinamiğin 1. Yasası olan enerjinin korunumu ilkesi; enerjinin yokken var edilemeyeceğinin, var olan enerjinin yok edilemeyeceğinin ancak başka bir biçime dönüşebileceğinin açıklaması olarak evrendeki toplam madde miktarını ve toplam enerjinin korunumunu ifade eder. Tarihsel gelişime bağlı olarak, ilk çağlardan günümüze enerji çoğunlukla insan ve hayvan gücü ile sağlanmakta iken termodinamik 1. yasasına göre enerjinin form değiştirerek farklı yakıt türlerinden sağlanmasına geçilmiştir. Sanayi devrimi ile fosil yakıtlar enerji kaynağı olarak çok fazla kullanılmaya başlanmış ve bu yoğun kullanım günümüzde de halen devam etmektedir. Endüstrileşme, artan nüfus ile beraber teknolojik gelişiminin de yakın geçmişte ivme kazanması enerji taleplerinin artması sonucunu doğurmuştur. Günümüzde binaların teknolojik veya teknik özelliklerinin değişmesiyle binaların enerji gereksinimleri de artarken diğer taraftan enerji temini ve enerjinin sürekliliği gibi problemler de artmıştır. Fosil yakıtların azalması, aynı zamanda çevre kirliliğine sebep olması ve sera gazı emisyonlarını arttırması sonucu küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi sıkıntılar gündeme gelmiştir. Tüm dünyada artan yoğun enerji talepleri doğrultusunda kaynaklar azalmakta ve enerji maliyetleri de artmaktadır. İnsanlar için vazgeçilemez bir ihtiyaç haline gelen enerjinin temininde dışa bağımlı olmak ülkelere ekonomik yük de getirmektedir. Bu sebeple, dikkatle kullanıldığında çevre dostu enerji kaynağı olması, sınırsız, ücretsiz ve kolay temin edilebilir olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları gittikçe daha da büyük önem kazanmaktadır.

Fosil yakıtların tüketimiyle çevre kirliliğinin artması ve buna bağlı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliği yaşanması kısırlaşmış bir döngü olarak devam etmektedir. Fosil yakıt tüketimiyle küresel ısınma arttıkça ekosistemin parçaları olan hayvan türlerinin azalması ve bazı canlı soylarının tükenerek canlı çeşitliliğinin azalması ile

ekosistemdeki dengenin bozulması ve bu bozulan denge sebebiyle iklim değışikliği ve aşırı ısınmaların meydana gelmesi ile de küresel ısınmanın artması doğada döngüsel olarak devam eder. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç artmıştır. Güneş enerjisi gelecekte daha fazla kullanılması muhtemel olan önemli bir alternatif enerji kaynağı olmasına nedeniyle; binalardaki enerji taleplerinin uzun süreli ve kesintisiz karşılanabilmesi için, güneş enerjisi depolama sistemlerinin binada kullanılması büyük önem kazanmıştır. Güneş ışıının sürekli olmaması, zamana bağılı olması sebebiyle gece ve bulutlu dönemlerde kullanılmak üzere enerjinin depolanması gerekmektedir. Güneş ve diğerkaynaklardan sağlanan ısı enerjisi depolama sistemleri de çevreye zarar vermeyen, enerji etkin, ekonomik ve sürdürülebilir özelliğe sahip sistemlerdir (Dincer & Rosen, 2011).

1.1 Amaç Ve Kapsam

Bu tez çalışması kapsamında; bir ısı enerji depolama malzemesi olan faz değıştiren malzemelerin (FDM) dış duvarda kullanımında güneş ışıını etkisinin enerji verimliliğine katkısının değeriendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, hava sıcaklığının yanında güneşten gelen ışıını ile FDM sıcaklığının artarak faz değıştirmesine olanak sağlaması düşüncesinden hareketle, gece-gündüz sıcaklık farkının az güneş ışıının fazla olduğı bir il için inceleme yapılmasına karar verilmiştir. İzmir ili iklim verilerine göre yaz aylarında gece-gündüz hava sıcaklık değeri arasındaki fark azdır. Sıcaklıklar genellikle yüksek değerde ve güneşlenme süreleri de uzun olduğı için değeriendirmek üzere İzmir ili tercih edilmiştir.

1.2 Yöntem

Çalışmada, FDM'lerin enerji verimliliğine katkısının değeriendirilmesinde bilgisayarlı benzetim yönteminden yararlanılmıştır. Benzetim çalışmalarından önce, yazın araştırması ile binalarda iklimlendirme enerji tüketimini etkileyen unsurlar ve FDM türleri ve çalışma ilkeleri belirlenmiştir. Benzetim çalışmalarında, tek hacim ve tek ısı zon olarak oluşturulan model ile, FDM'nin duvar içinde kullanıldığı yerin, kullanıldığı cephenin yönünün ve erime sıcaklığının ısıtma ve soğutma enerji tüketimi ile toplam enerji tüketimine etkisini değeriendirebilmek amacıyla farklı senaryolar için hesaplamalar yapılmıştır. Modellemelerde halihazırda piyasada bulunan FDM'li ürünlerin özelliklerine ilişkin veriler kullanılmış, fakat bu ürünlerin

duvar katmanlaşmasındaki yeri açısından çalışma amacı doğrultusunda üretici nerisi harici konumlarda kullanımı da irdelenmiştir.

1.3 Tezin Yapısı

Bu tez çalışması kapsamında birinci bölümde, dünyadaki küresel ısınma ve iklim değişikliği problemine dikkat çekilmiş buna bağlı olarak enerji kaynaklarının teminindeki sıkıntılar paylaşılmıştır. Aynı zamanda tezin amacı, kapsamı ve yöntemi açıklanmıştır.

İkinci bölümde, binaların enerji etkinliğinin önemi belirtilerek, enerji etkinliği etkileyen unsurlar ve güneşten enerji kazanımı için izlenebilecek stratejiler anlatılmıştır.

nc bölümde, enerji depolama yöntemlerinden bahsedilmiş, ısııl enerji depolamanın önemi vurgulanmıştır. Isıl enerji depolayabilen FDM'lerin tanımı ve çalışma prensibi anlatılmış, FDM'lerin eşitleri ve kullanım alanları irdelenmiştir. Son olarak FDM'lerin binalarda kullanımı ile ilgili çalışmalar verilmiş ve uygulanmış örnekler anlatılmıştır.

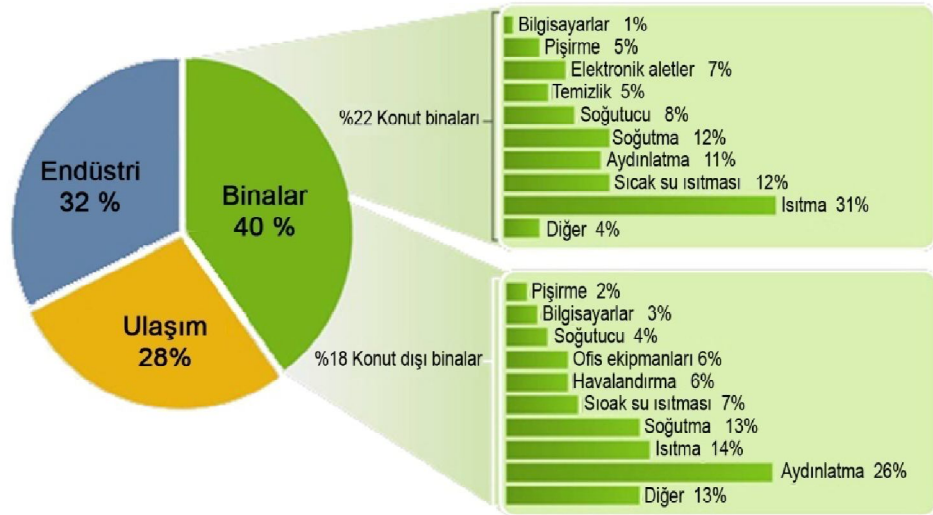
Dördüncü bölümde, İzmir ili için FDM'lerin dış duvarda kullanımında güneş ışınımının katkısının değerlendirilmesi için yapılan bilgisayarlı benzetimin uygulama yöntemi detaylı olarak anlatılmış ve bulgular kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

Son bölüm olan beşinci bölümde, yapılan kıyaslamalı değerlendirmelerin sonuçları açıklanmış, dış duvarda FDM kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuştur.



2. BİNALARIN ENERJİ ETKİNLİĞİ

Enerji etkin bina; doğal enerji kaynaklarını verimli ve doğru şekilde kullanarak, çevreye zarar vermeyen veya zararı en az düzeye indirgeyen, elektrik ve mekanik sistemlerin enerji verimli olarak bütüne dahil olduğu yapıdır. Yapılarda enerjinin en yoğun tüketimi; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve kullanım sıcak suyu sağlama amaçlıdır. Enerji etkin binalarda pasif sistemlerden yararlanılarak, bu tüketimler için harcanan enerjinin en düşük seviyede tutulması önceliklidir. Genele bakıldığında, enerji tüketiminin en fazla olduğu alanın binalar olduğu ve bu tüketimin bina içindeki dağılımı Şekil 2.1’de görülmektedir. Türkiye, enerji ihtiyacının % 70’ini ithal ettiğinden binalarda enerji verimliliğini sağlayarak, enerji talebinde %30’a kadar azalma sağlanabileceği belirtilmektedir (Büyükmihçı, 2003). Binalarda enerji verimliliğinin artırılarak enerji ihtiyaçlarının azaltılması, binaların CO₂ salımlarının azalmasında da büyük öneme sahiptir (International Energy Agency, 2010).



Şekil 2.1 : Enerji tüketim oranlarının sektör ve bina bazında dağılımı (International Energy Agency, 2008).

Binaların enerji etkinliği; binanın tasarım aşamasında yapım, işletim, bakım ve yıkım aşamalarına ilişkin alınacak doğru kararlarla sağlanabilir. Böylece enerji etkin

tasarım anlayışı; kullanıcıların psikolojik, sosyolojik ve biyolojik ihtiyaçlarına cevap verirken, binaların sürdürülebilir olmasını da öngören bir yaklaşım sergiler.

Bina enerji etkinliğinde bina kabuğu çok büyük önem taşımaktadır. Gerek iç mekanı dış ortam koşullarından ayırarak koruyan, gerek dış iklim etkilerinin kontrolünü sağlayarak iç mekana aktaran bina kabuğu; iç mekan kullanıcı konforunun sağlanmasında etken rol oynamaktadır. Isıl enerji üreten, elektrik enerjisi üreten ve aktif yenilenebilir enerji sistemi entegre edilmiş kabuk, aktif kabuk olarak tanımlanmaktadır. Binaların enerji verimliliği açısından, iç mekan konfor şartlarını sağlarken enerji harcamalarını düşürmek ve yapay sistemlere olan ihtiyacı azaltmak, aktif veya pasif sistemler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Aktif kabuk oluşturmak maliyetli olmasından dolayı binaların enerji etkinliğinde öncelikle pasif sistemlerden yararlanılması düşünülmelidir. Güneş temiz ve ücretsiz olması sebebiyle sürdürülebilir bir çevre oluşturmada ülkemizde uygulanabilir yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Binaların enerji etkinliğinde, tasarımcı tarafından dikkate alınması gereken değişkenler ve pasif sistemlerle binalarda güneşten yararlanma yöntemleri ilerleyen alt bölümlerde ele alınmıştır.

2.1 Enerji Etkin Bina Tasarımını Etkileyen Değişkenler

Enerji etkin bina tasarımını etkileyen değişkenler genellikle üç ana başlık altında incelenmektedir;

- Kullanıcıya ait değişkenler,
- İklimle ait değişkenler,
- Binaya ait değişkenler.

Kullanıcıya ait değişkenler; kullanıcı niteliği ve durumu ile ilgili değişkenler ve fizyolojik değişkenler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kullanıcının mekan içindeki aktivite düzeyi, diğer bir anlatımla metabolizma hızı¹, giydiği giysinin türü, kullanıcının mekan içindeki konumu ve duruş biçimi kullanıcı niteliği ve durumu ile ilgili değişkenlerdir. Kapalı bir mekanda insanın yeri ve duruş biçimine göre; örneğin insanın ayakta veya yatıyor olmasına göre, insandaki ısısal ışıınım yoluyla ortaya çıkan ısı alışveriş miktarı farklılaşmaktadır. Kullanıcının ortalama vücut sıcaklığı,

¹Metabolizma hızı: İnsanın birim zamanda tükettiği enerji miktarı

deri sıcaklığı, terleme miktarı ve kalp atışı gibi objektif değişkenler ile görülür terleme ve termal duygu gibi subjektif değişkenler ise fizyolojik değişkenler olarak sıralanabilir (Gazioğlu, Akşit, & Manioğlu, 2013; Koçlar Oral & Manioğlu, 2010).

İklimle ait değişkenler; topoğrafya, bitki örtüsü ve iklimsel verilerden oluşmaktadır. Arazinin eğimi ve yönlenişi, güneş ışıınımı ve rüzgardan yararlanmada, dolayısıyla kütlenin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bitki örtüsü, yapılaşmada gürültüyü absorbe etmesi, rüzgarı perdelemesi ve tozu filtre etmesinin yanı sıra ihtiyaca göre dönemsel olarak güneşten yararlanma veya güneş kontrolüne olanak sağlamaktadır. Yaz mevsiminde bitkiler yaprakları ile bina kabuğunun doğrudan güneş ışıınımı alıp aşırı ısınmasını engelleyerek güneş kontrolü görevi görebilir. Kış mevsiminde ise yapraklarını döken bitkiler güneş ışıınımını geçirerek güneş ışıınımından yüksek verimde yararlanılmasını sağlayarak ısınmaya katkı sağlayabilir. Şekil 2.2’de yazın güneş kontrolü sağlamada, kışın ise doğrudan yararlanmada bitki örtüsünün etkisi ve ilişkileri gösterilmektedir(Yaşan, 2011).



Şekil 2.2 : Bitki örtüsü ile güneş ışıınımından yararlanma ve güneş kontrolü (Yaşan, 2011).

İklimsel veriler ise; dış iklimle ait değişkenler ve iç iklimle ait değişkenler olarak iki grupta incelenmektedir. Dış iklimle ait değişkenler; binanın dış çevresinde gerçekleşen iklimsel olayları etkileyen unsurlardır. Binanın bulunduğu bölgeye göre dış iklim koşullarının değişkenlik göstermesi sebebiyle aşağıda belirtilen değişkenler tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar;

- Dış hava sıcaklığı
- Dış hava nemi
- Dış hava hareketi (rüzgar)
- Güneş ışıınımı ve güneşlenme süreleridir.

Hava sıcaklıklarının günlük değişimleri atmosfer koşulları ile ilgilidir. Güneş işınlarının atmosferde aldığı yol, güneşlenme süresi, deniz seviyesinden yükseklik, kara ve denizlerin dağılımı, su kütleleri, nemlilik, okyanus akıntıları, hava hareketlerindeki değişimler, bitki örtüsü ve topografik özellikler gibi değişkenler güneş işınlarının yeryüzüne düşme açısını etkilemektedir. Dolayısıyla bu değişkenlere göre o yerdeki dış hava sıcaklığı da etkilenmektedir (Günel, 2004; Koçlar Oral, 1998).

Atmosferdeki su buharı dış havada bulunan nemi oluşturur. Güneş işınımı miktarı ve hava hareketlerinin değişimi, bitki örtüsü, su kütleleri ve topografik duruma göre atmosferdeki nem oranı da değişkenlik göstermektedir. Havanın nemi, güneş işınımı ile gerçekleşen sıcaklığın atmosfere geri yansıtılma miktarına etki etmektedir (Dizdar, 2009; Günel, 2004; Moore, 1993).

Rüzgar, yeryüzüne paralel olarak gerçekleşen ve yeryüzünde basınç farklarının oluşmasıyla meydana gelen hava hareketleridir. Yeryüzündeki hava hareketleri mikro ve makro ölçekte incelenmektedir. Makro lek düzeyinde bakıldığında yüzey farklılaşması, topografik ve coğrafik durum da hava akımlarında etken olmaktadır. Rüzgar, bina yüzeyleri ve çevresinde oluşturduğu hava hareketleri sebebiyle ve yöne göre değişmesinden dolayı yerleşme ölçeğinde enerji etkin bina tasarımını etkileyen önemli bir değişkendir (Dizdar, 2009; Serbest, 2014; Yalçınkaya alışkan, 2011). Basınç bölgelerinin merkezi hava akımının yönünü, basınç farkı ise hava akımının hızını belirlemektedir. Rüzgarın geldiği yöne bakan bina yüzeyinde basınç artışı (+ basınç bölgesi) oluşurken, binanın arka yüzeyinde basınç azalacağından (- basınç bölgesi) emme etkisi oluşur(Koçlar Oral, 1998).

Güneş işınımı ve güneşlenme süreleri, enerji etkin bina tasarımında en önemli etkenlerden biridir. Binalarda aydınlatma ve ısıtma-soğutma ihtiyaında güneş işınımı ve güneşlenme süreleri doğrudan rol oynamaktadır. Dolayısıyla; soğuk iklim bölgelerinde güneş işınımından binadaki ısıtmanın artması ve ısıtma ihtiyaının azaltılması için maksimum faydalanma; sıcak iklim bölgelerinde ise ısıtmanın ve soğutma ihtiyaının azaltılması için güneş kontrolü ile minimum düzeyde faydalanma sağlayacak şekilde tasarım kararları alınması gerekmektedir. Güneş işınımı, doğrudan işınım, yaygın gök işınımı ve yansıyan güneş işınımı olarak üç farklı şekilde binaya gelir.

Atmosferden geçerek kısa dalga olarak yeryüzüne gelen ışınlm doğrudan ışınlm; atmosferde bulunan toz hava molekülleri ve su buharı taneciklerine çapıp sonra yaygın duruma geçtikten sonra yeryüzüne gelen ışınlm yaygın gök ışınlmı ve çevre yüzeylerden ve yeryüzünden yansıyarak gelen ışınlm yansıyan güneş ışınlmıdır. Ortalama günlük güneş ışınlmı değerleri, bölgeye, zaman ve yöne göre değişmektedir. Atmosfer koşulları, güneş sabiti, güneşin azimut açısı ve yükseliş açısına göre yeryüzüne ulaşan güneş ışınlm şiddeti de farklılaşmaktadır. Dolayısıyla güneş ışınlmının oluşturduğu ısı etkiler dış hava sıcaklığı ve dış hava hareketlerine de etki etmektedir (Arslankaya, 2016; Serbest, 2014; Yaşan, 2011).

İç iklime ait değişkenler; insanın en az enerji harcayarak çevresine uyum sağlaması ve iklimsel konforu oluşturmak için optimum değerlerde olması gereken değişkenlerdir(Olgay, 1963). Bu değişkenler;

- İç hava sıcaklığı
- İç yüzey sıcaklıkları
- İç hava hareketi
- İç hava nemidir.

İç hava sıcaklığı, insanla çevresi arasında taşınım (konveksiyon) yoluyla oluşan ısı alışverişi miktarını belirleyen, çevrenin kuru termometre sıcaklığıdır. Vücut yüzey sıcaklığı ile mekanın hava sıcaklığı dengeye gelene kadar insan ile çevre arasındaki ısı taşınımı devam eder. Dengeye geldikten sonraki vücut yüzey sıcaklığı insanın iklimsel konforunu belirleyeceğinden dolayı iç hava sıcaklığı iklimsel konforu etkileyen önemli bir değişkendir (Koçlar Oral, 1998).

İç yüzey sıcaklıkları, iç hava sıcaklığının oluşmasına etki etmesinden dolayı iklimsel konforu da etkileyen bir değişkendir. Dış mekanlarda güneş ışınlmı etkisi önem taşırken iç mekanlarda ise mekanı çevreleyen yüzeylerin sıcaklıklarından dolayı oluşan ısı ışınlm önemlidir. İnsanın çevresiyle oluşan ısı alışverişini belirleyen uzun dalga ısı ışınlmıdır. Kapalı hacmi çevreleyen duvar iç yüzeyleri ile hacim içi ortamın arasında ışınlm yoluyla ısı alışverişi meydana gelir ve iç hava sıcaklığının oluşmasında etkilidir (Yalçınkaya Çalışkan, 2011).

İç hava hareketi, kapalı mekanlarda fazla etkin olmayan bir değişkendir. Hava hareketi hızı aynı zamanda, yüzeyle hava arasında oluşan ısı taşınım katsayısına etki

etmektedir. Dolayısıyla, insanla çevre arasında taşınım ile gerçekleşen ısı transferi miktarını da etkiler (Manioğlu, 2002).

İç hava nemi, insan cildinin yüzeyindeki terin buharlaşması, cildin su buharı difüzyonu ve nefes yoluyla vücudun kaybettiği ısı miktarına etki eden bir değişkendir. İç hava neminin istenilen düzeyden az ya da çok olması durumunda iklimsel konfor açısından memnuniyetsizlik meydana gelebilir (Manioğlu, 2002; Serbest, 2014).

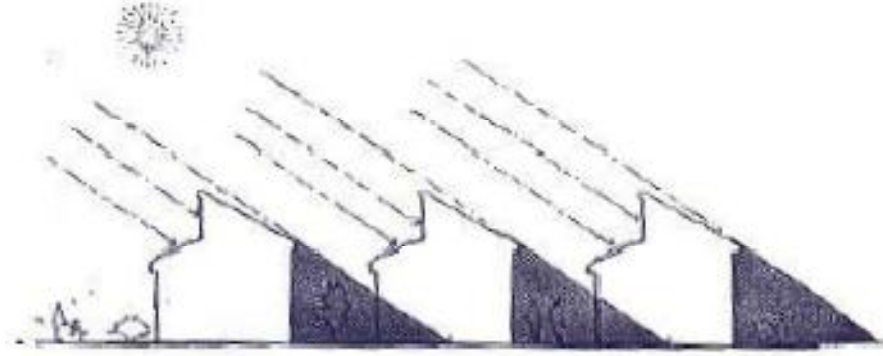
Enerji etkinlikte belirleyici olan ana değişken gruplarından binaya ait değişkenler ise;

- Bina konumu
- Bina aralıkları
- Bina yönlendiriliş durumu
- Bina formu
- Güneş kontrolü ve doğal havalandırma sistemleri
- Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleridir.

Binanın konumuna göre; alan içerisindeki iklim koşulları ve alanın içinde yer aldığı iklim bölgesinin koşulları birbirinden farklıdır. Binanın konumu; hava sıcaklığı, hava hareketi, güneş ışıınımı ve nem değerleri üzerine etki etmekle beraber mikroklima açısından belirleyici olduğundan, enerji etkin bina tasarımı da önemli rol oynamaktadır. Arazinin deniz seviyesinden yüksekliği, toprak tipi, bitkilendirme, su kütleleri, arazinin eğimi ve eğimin yönü mikroklimayı etkileyen etkenlerdir. Bu etkenler üzerinde verilen kararlar; arazi koşullarından maksimum derecede faydalanma sağlayacak şekilde iklim bölgesine ve kullanıcı gereksinimlerine göre değişkenlik gösterebilir (Brown & DeKay, 2001; N. Lechner, 1991). Sırasıyla, bölgesel iklim analizlerinin yapılması, iklimsel özelliklerin belirlenmesi ile yapının yer alacağı arazinin analizlerinin yapılması, iklimsel ve arazi ile ilgili analizlere bağlı olarak yapı için uygun yerin seçimi gereklidir (Koçlar Oral, 2010; Serbest, 2014).

Bina aralıkları, yapıların doğrudan güneş ışıınımı ve rüzgar alma miktarlarını belirleyen; ayrıca rüzgarın hızını ve yönünü etkileyen önemli bir tasarım değişkenidir (Yılmaz vd., 2006). Binaların konumlandırılışları, birbirlerine olan uzaklıkları ve bina yükseklikleri; binanın güneşten korunmasına veya yararlanmasına, hakim

rüzgarın ya da anlık rüzgarların yönünün ve şiddetini belirlenmesinde rol oynar (Cirit, 2012). (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 : Bina aralıklarının güneş ışınlamından korunmaya ve yararlanmaya yönelik düzenlenmesi (N. Lechner, 1991).

Binanın yönlendiriliş durumu; bulunduğu iklim bölgesine, güneş ışınlamının ısıtıcı etkisine ve rüzgarın serinletici etkisine göre kararlaştırılır. Bina ve bina içindeki hacimlerin yönlendiriliş durumu, mekan konforuna doğrudan etki eder, bu sebeple kullanıcı konforu açısından projelerde dikkate alınması gereken en önemli tasarım değişkenlerindendir. Dış iklim elemanı olan güneş ışınlamı ve rüzgarın yönler göre yoğunluklarının değişiklik göstermesinden dolayı bina kabuğuna gelen güneş ışınlam miktarları da yönler göre farklılıklar göstermektedir. Bina kabuğunun yönlenişinin rüzgar ve güneşten maksimum faydalananak veya gerektiğinde korunacak şekilde belirlenmesi önemlidir. Buna bağlı olarak ışınlam yoluyla bina kabuğundan kaybedilen veya kazanılan ısı miktarı; iç hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı, ortalama ışınlamsal sıcaklık gibi iç mekan konfor koşullarını belirleyen çevresel değişkenler doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle bina içi mekan organizasyonu da bu değişkenleri kapsayacak şekilde yapılmalıdır (Yalçınkaya Çalışkan, 2011; Yılmaz vd., 2006).

Bina yönlendiriliş durumu, rüzgar alma yönü ve dolayısıyla doğal havalandırma imkanlarına etki etmektedir. Ayrıca taşınım veya hava sızıntısı ile oluşan ısı kaybı da rüzgarın binaya geliş yönü ile değişkenlik göstermektedir (Depe, 2017; Meriç, 2011).

Binaların yönlendirilişinde, soğutma döneminde güneş ışınlamından en fazla korunacak, ısıtma döneminde ise güneş ışınlamından en fazla yararlanacak şekilde olması enerji etkinliği açısından önemlidir (Olgay, 1963). 32°-56° kuzey enlemlerinde bulunan binalar incelendiğinde; bu binaların kış aylarında güneye bakan yüzeylerinin batıya bakan yüzeylerinden 3 kat daha fazla güneş ışınlamı aldığı,

yaz aylarında ise yarısı kadar güneş ışımasını aldığı belirlenmiştir. (Cirit, 2012; Zorer, 1992).

Bina formunun tanımlanmasında; biçim faktörü (plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı), bina yüksekliği, cephe eğimi, çatı türü ve çatı eğimi gibi değişkenler rol oynamaktadır (Berköz, Küçükdoğu, Yılmaz, Kocaaslan, & Vd., 1995). Dış ortam ile iç ortam arasındaki ısı alışverişi, bina kabuğu dış yüzey alanına göre değişiklik göstermektedir. Kompakt formlardan dikdörtgen formlara geçildikçe yüzey/hacim oranı (A/V) arttığından, dikdörtgen formu binaların kabuğundaki ısı alışverişi, eşit hacimli kompakt formu binalara göre daha fazladır (Brown & DeKay, 2001). Dolayısıyla ısı kazanım ve kayıp düzeylerini binanın toplam hacmi doğrudan etkilemekte ve bina yüzey alanı arttıkça ısı kayıp ve kazançları da artmaktadır (Yılmaz vd., 2006). Aynı taban alanına ve farklı formlara sahip binaların dış cephe yüzey alanı farklı çıkacağından, bina kabuğundaki ısı geçişleri de farklılık göstermektedir (Yılmaz, Koçlar Oral, & Manioğlu, 2000).

Güneş kontrolü ve doğal havalandırma sistemleri enerji etkin tasarımda iklimsel koşullara göre alınan pasif önlemlerdir. İç mekan ile dış ortam arasındaki hava değişiminin sağlanması doğal havalandırma olarak tanımlanmaktadır. Pencere, menfez, çatı penceresi gibi açıklıklar bina kabuğunda hava boşlukları oluşturarak hava hareketlerine imkan verirler. Sıcak ve nemli iklim bölgelerinde bina içindeki sıcak hava ve nemi dağıtmak amaçlı rüzgardan faydalanılmaktadır. Bunun dışında, binalarda pencere sayısının ve büyüklüğünün belirlenmesi, saydam yüzeylerde gölgeleme elemanlarının kullanılması ve bina cephesinin renginin seçilmesi (açık veya koyu renk olması) gibi alanlardaki kararlarda güneş kontrolü pasif önlemler için dikkate alınabilir (Depe, 2017; Koçlar Oral & Manioğlu, 2005).

Binaya ilişkin değişkenlerin bir diğeri, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir. Bunlar Bölüm 2.2’de detaylı olarak anlatılacaktır.

2.2 Bina Kabuğunun Enerji Etkinlikle İlişkili Optik Ve Termofiziksel Özellikleri

Bina iç ortamını, dış ortamdan ayıran tüm yapı bileşenleri bina kabuğunu oluşturur. Bina kabuğu, binayı iklimsel etkilere karşı korumanın yanı sıra, binanın dış çevre ile ısı alışverişini de sağlamaktadır. Bina kabuğu ile kazanılan veya kaybedilen ısı

miktarına bağılı olarak bina ısıtma, soğutma, havalandırma enerji ihtiyaçları ve dolayısıyla iç mekan iklimsel konfor koşulları da etkilenmektedir (Arslankaya, 2016; Koçlar Oral & Manioğlu, 2005). Bina kabuğu, farklı ısı performans gösteren opak ve saydam bileşenlerden meydana gelmektedir. Güneş ışınlamı, iç ve dış hava sıcaklığı etkisiyle bina kabuğundan kaybedilen veya kazanılan ısı miktarının belirlenmesinde; bina kabuğunu oluşturan saydam ve opak bileşenlerin optik ve termofiziksel özellikleri önemli rol oynamaktadır. Hacmin iç hava sıcaklığında ve iç yüzey sıcaklıklarında; bina kabuğu optik ve termofiziksel özelliklerine bağılı olarak gerçekleşen ısı kayıp ve kazançları da etkilidir. Dolayısıyla iç mekan iklimsel konfor koşullarının sağlanmasında harcanacak enerji miktarının hesaplanmasında, bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri belirleyicidir (Arslankaya, 2016; Berköz vd., 1995; Yılmaz vd., 2006). Bu özelliklerden optik olanlar (Ak, 1993);

- Yutuculuk (a),
- Yansıtıcılık (r),
- Geçirgenlik (τ),

Bina kabuğunun termofiziksel olanlar ise;

- Toplam ısı geçirme katsayısı (U)
- Saydamlık oranı (SO)
- Zaman geciktirmesi
- Genlik küçültme faktörüdür.

Optik özellikler açısından bina kabuğunun opak ve saydam bileşenlerinin yuttuğu, yansıttığı ve geçirdiği güneş ışınlamı miktarlarının, dış yüzeylerine gelen toplam güneş ışınlamına oranı, yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayılarını vermektedir. Bina kabuğunun dış yüzeyine gelen güneş ışınlamının, ısı kazancına dönüşmesinde; bileşenlerin yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik özellikleri etken rol oynamaktadır ve opak ve saydam bileşenler için sırasıyla Denklem 2.1 ve Denklem 2.2'deki bağıntılar ile ifade edilmektedir (Berköz vd., 1995).

$$a_0 + r_0 = 1 \quad (2.1)$$

a_0 : Opak bileşenin yutuculuk katsayısı

r_o : Opak bileşenin yansıtıcılık katsayısı

$$a_c + r_c + \tau_c = 1 \quad (2.2)$$

a_c : Saydam bileşenin yutuculuk katsayısı

r_c : Saydam bileşenin yansıtıcılık katsayısı

τ_c : Saydam bileşenin geçirgenlik katsayısı

Termofiziksel özelliklerden olan toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U); farklı iki çevreyi ayıran bina bileşeninin iç ve dış tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1 °K olduğunda, 1 m² alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarıdır. Bina kabuğunun hem opak hem de saydam bileşenlerine ait bir termofiziksel özellik olan ısı geçirgenlik katsayısının birimi W/m²K'dir ve Denklem 2.3'teki bağıntı ile hesaplanmaktadır (TS 825, 2013; Yılmaz vd., 2000).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad (2.3)$$

U : Toplam ısı geçirgenlik katsayısı, [W/m²K]

α_i, α_d : İç ve dış yüzeysel ısı iletkenlik katsayıları, [W/m²K]

$d_1, d_2, \dots, d_n$: Bileşeni oluşturan malzemelerin kalınlıkları, [m]

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$: Bileşeni oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları, [W/mK]

Saydamlık oranı (SO); saydam ve opak bileşenlerden oluşan bina kabuğunun saydam bileşen alanının toplam bina kabuğunun alanına oranı olarak tanımlanır. Yüzdesel olarak belirtilen saydamlık oranı, bina kabuğundan geçen toplam ısı ve güneş ışıınımı miktarlarına da etki eder. Isıl geçirgenlik katsayıları yüksek olduğundan saydam bileşenler, opak bileşenlere göre daha fazla ısı kaybına sebep olmaktadır (Yalçınkaya Çalışkan, 2011; Yılmaz vd., 2000).

Zaman geciktirmesi; kabuk dış yüzeyine gün içinde etki eden en yüksek sol-air sıcaklığının² bileşenin iç yüzeyinde en yüksek sıcaklığı oluşturduğu zamana kadar geçen süredir (Yılmaz vd., 2000).

Genlik küçültme faktörü; bileşenin gün içindeki en yüksek iç yüzey ve ortalama iç yüzey sıcaklıkları farkının, en yüksek ve ortalama sol-air sıcaklıkları farkına oranıdır. Saydam bileşenlerin ısı depolama kapasiteleri çok düşük değerde olduğu için ihmal edilmektedir. Bununla bağlantılı olarak zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü saydam bileşenler için geçerli olmayıp, ısı depolama özelliği olan opak bileşenler için söz konusudur. Ayrıca zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü birbiri ile ters orantılı olup; kabuk bileşenini meydana getiren katmanların ısı iletkenlik katsayıları (λ), özgül ağırlıkları (yoğunluk- ρ), özgül ısıları (c), kalınlıkları (d) ve dolayısıyla ısı kapasitelerine ($\rho.c$) göre değişkenlik göstermektedir. Bu durumda, ısı depolama kapasiteleri yüksek malzemelerin zaman geciktirmesi arttıkça, genlik küçültme faktörü azalmaktadır (Serbest, 2014; Yalçınkaya Çalışkan, 2011; Yılmaz vd., 2006).

Isıtma, soğutma enerji ihtiyaçlarının belirlenmesinde, bina kabuğunun rengi, pürüzlülüğü ve cephe malzemesinin özelliğinin opak bileşen yutuculuk katsayısı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bununla beraber iç ortama geçen güneş ışınımı miktarının, dolayısıyla kazanılan ısı miktarının ve soğutma enerji ihtiyacının belirlenmesi saydamlık oranı ile sağlanmaktadır. Enerji etkin bina tasarımı açısından; bina kabuğunun ısı depolayabilme kapasitesi ile uygun iç mekan konfor koşullarının sağlanmasında ısı depolama sistemleri büyük önem taşımaktadır (Cirit, 2012).

2.3 Binalarda Kullanılan Güneş Enerjisi Kazanım Sistemleri

Güneş enerjisi kazanım sistemleri; güneş enerjisini bünyesinde ısı veya elektrik enerjisi olarak depolayabilen sistemlerdir. Yaz ve kış aylarında ısı depolayarak veya elektrik üreterek binanın ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin azalmasına katkıda bulunurlar. Dolayısıyla iç mekan konfor koşullarının sağlanmasında; gece-gündüz sıcaklık farklarını en aza indirilmesi açısından da önemli yer tutmaktadır. Bu sistemler, aktif ve pasif sistemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Gerekliğinde aktif

²Sol-air sıcaklık: Güneş ve hava sıcaklığının birleşik etkisi

ve pasif sistemler hibrit sistem olarak birlikte kullanılabilir (Depe, 2017; Gemicioğlu, 2011).

Aktif güneş enerji sistemleri, güneş enerjisinin teknik düzeneklerle kazanıldığı sistemlerdir. Aktif sistemlerde, güneşten kazanılan enerjiyi iç ortama aktarmak için bir akışkanın veya enerji transfer mekanizmasının olması gerekmektedir. Aktif güneş enerji sistemleri teknoloji ve kullanılan malzemeye göre çok çeşitlidir ve güneş kollektörleri ve photovoltaik (pv) sistemler olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. Güneş ışıınının kollektörlerde ısı enerjisi olarak toplanarak suyun ısıtıldığı sistemler güneş kollektörleridir. Bu sistemlerle binanın sıcak su ve ısınma ihtiyacı karşılanmaktadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek binaların elektrik ihtiyacının karşılandığı sistemler ise pv sistemlerdir (Kundakçı, 2004; Tönük, 2001).

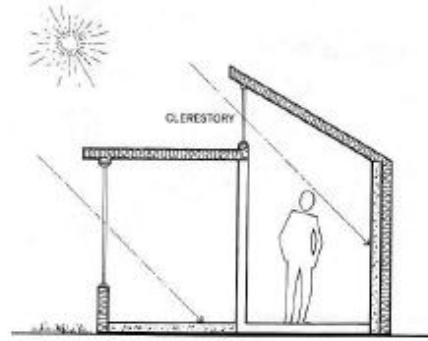
Pasif güneş enerji sistemleri, bina bileşenlerinin güneş enerjisini toplama, dağıtma, depolama veya kontrol etmesi sırasında mekanik düzeneğin kullanılmadığı ve enerjinin tüketilmediği sistemlerdir. Pasif sistemlerde akışkana ihtiyaç olmayıp; binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyacının azaltılmasında güneş enerjisinden faydalanma düşünülmektedir. Pasif sistemlerde, güneş enerjisi kazanımı, depolanması ve dağıtımı, binaya ait değişkenler ile sağlandığı için bina yönlendiriliş durumu, yalıtılması, pencere büyüklükleri ve yönleri önemli rol oynamaktadır. Güneş enerjisinden faydalanma yöntemlerine göre pasif sistemler, aşağıda belirtildiği üzere üç ana başlık olarak incelenmektedir (Kundakçı, 2004; Zeiher, 2000; Zorer, 1995);

- Doğrudan kazanım sistemleri,
- Dolaylı kazanım sistemleri,
- Yalıtılmış kazanım sistemleri.

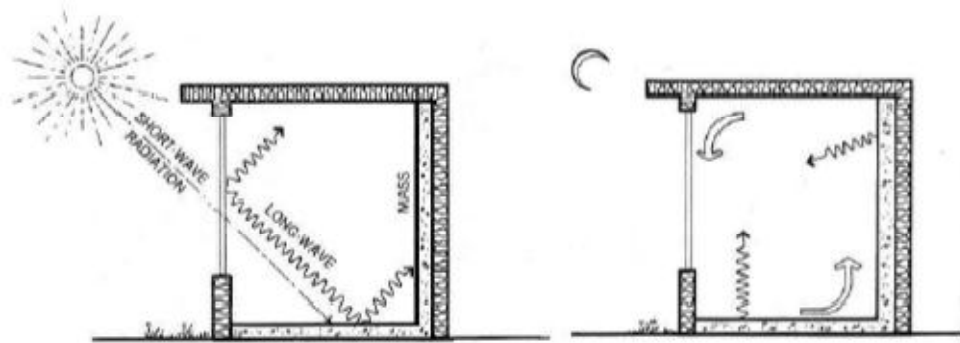
2.3.1 Doğrudan kazanım sistemleri

Bu sistemler doğrudan güneş ışıını alan sistemleridir. Pencere açıklıkları ve çatı pencereleri bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Gerek geleneksel mimaride, gerekse günümüz mimarisinde güneş ışıının geliş açısına göre ayarlanabilen çatı pencereleri mevcuttur. Şekil 2.4'te bir çatı penceresi örneği gösterilmektedir. Güneş ışıınından maksimum faydalanma, binanın güney yönünde saydam yüzeylerin

arttırılması ile sağlanır. Güneş ışınımının büyük miktarı cam yüzeyden doğrudan geçebilmektedir. Bina içine güneş ışınımının alındığı esnada, kısa dalga boyundan uzun dalga boyuna dönüşen güneş ışınımı döşeme, duvar gibi bileşenler tarafından depolanabilmektedir. Binanın ısıl kütlesi, Şekil 2.5'te belirtildiği gibi, oluşan ısı enerjisi depolayarak gündüz iç mekanın aşırı ısınmasını önlemenin yanı sıra geceleri de ısı enerjinin kullanılmasına olanak verir. Geleneksel mimaride kalın taş duvarlar ile ısıl kütle sağlanırken, günümüzde ısı depolama için beton, tuğla, su duvarı veya faz değiştiren malzemeler de kullanılabilir. Direkt gün ışığını aldığı için doğrudan güneş enerjisi kazanımı için en işlevsel yer döşemedir. Isıtmanın istenmediği dönemler için gölgeleme elemanları ile gelen güneş ışınımı yönlendirilebilir, ısıtma talebinin yoğun olduğu dönem içinse ısı kayıplarını azaltmak amaçlı ısı yalıtım malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır (Depe, 2017; Gemicioğlu, 2011; Yılmaz, 2008; Zeiher, 2000). Doğrudan kazanım sistemlerinde doğal havalandırmadan yararlanmak için bina kabuğunun uygun alanlarına havalandırma boşlukları açılır ve böylece binadaki soğutma ihtiyacı mekanik sistem kullanmadan karşılanabilir (Crosbie, 1998).



Şekil 2.4 : Doğrudan kazanım sistemleri- çatı penceresi uygulaması (Yılmaz, 2008).

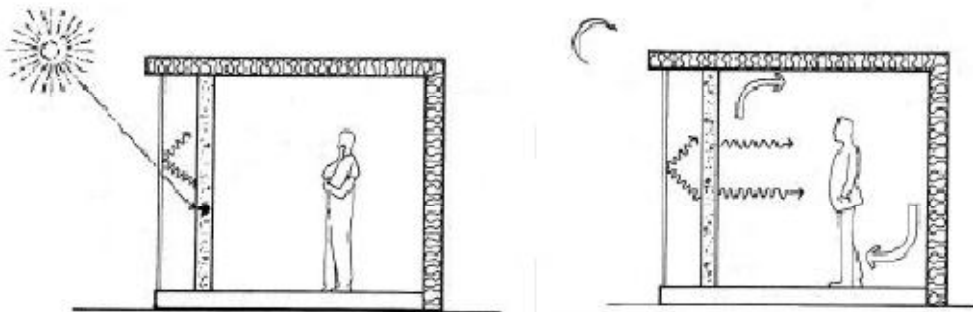


Şekil 2.5 : Güneş ışınımının doğrudan kazanımı, depolanması ve gece kullanımı (Yılmaz, 2008).

2.3.2 Dolaylı kazanım sistemleri

Dolaylı kazanım sistemlerinde, güneş ışınımı iç mekana ulaşmadan önce saydam yüzeyden geçerek, iç mekan ile saydam yüzey arasında bulunan ısıl kütlede depolanır. Isının önce kütlede depolanması ve sonrasında iletim, taşınım ve ışıma yoluyla yaşam alanına aktarılması bu sistemleri, doğrudan kazanım sistemlerinden ayırmaktadır. Bu sistemler; trombe duvarı, su duvarı veya çatı havuzu olabilir. Dolaylı kazanım sistemlerinde; saydam yüzey ile iç mekan arasında bulunan ısıl kütle, hem gündüzleri ısıyı depolar hem de saydam yüzey ile iç mekan arasında engel oluşturarak geceleri soğuk havanın iç mekan sıcaklıklarındaki dalgalanmalara sebep olmasını önlemiş olur (Kundakçı, 2004).

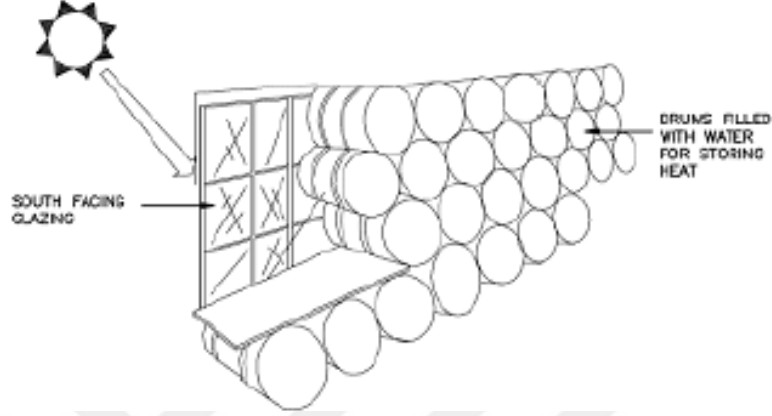
Trombe duvar, dıştan içe doğru sırasıyla; cam yüzey, arkasında bir miktar hava boşluğu ve ısıl kütle olarak masif duvardan oluşan bir sistemdir. Trombe duvar, yapının güneşe bakan yönünde konumlandırılır ve daha çok ısınma ihtiyacını karşılama amaçlı uygulanmaktadır. Masif duvarın ısı depolama kapasitesinin yüksek olması ve bünyesindeki sıcaklık değişimlerinin az olması gerekmektedir. Ayrıca duvar kalınlığının fazla olmasının yanısıra, duvarın cama bakan yüzeyi de güneş ışınımının emilebilmesi için koyu renklerde boyanmaktadır. Cam yüzeyden geçen güneş ışınları ile ısıl kütlenin bünyesinde, gün boyunca ısı depolanır. Gece masif duvarda depolanan enerji, ışıma ve taşınım yoluyla iç ortama aktarılırken, menfezli türlerde iç mekandaki soğuk hava masif duvardaki açıklıklardan geçerek de ısınır. Bu şekilde gündüz ve gece sürekli döngü devam ederken, diğer taraftan da iç mekanda hava sirkülasyonu sağlanmış olur (Depe, 2017; Kundakçı, 2004; Özdemir, 2005). Klasik bir trombe duvarın (menfezsiz) çalışma prensibi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Trombe duvar çalışma prensibi (Yılmaz, 2008).

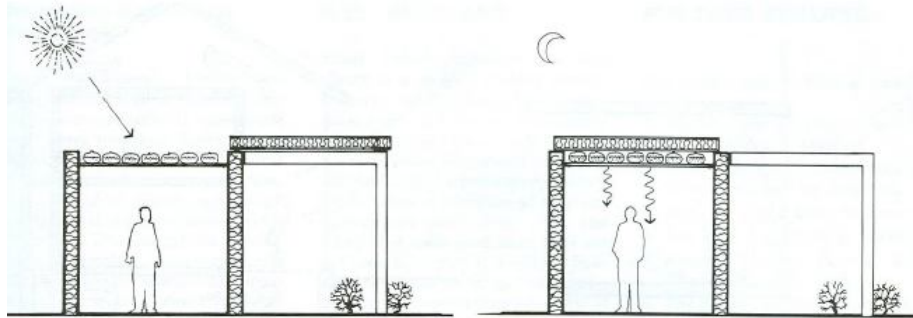
Su duvarı, trombe duvar ile benzer çalışma prensibine sahiptir; trombe duvardan farklı olarak ısı depolama malzemesi olarak duvar kütlesi yerine su kullanılmaktadır.

Su, cam yüzeye bitişik siyaha boyalı bidonlar içinde bulunur. Bu sistemde güneş ışınları cam yüzeyden geçer ve siyah bidonlar aracılığıyla emilerek bidon içindeki suyun ısınması sağlanır. Güneş enerjisi ışınlım ve taşınım yoluyla ısıl enerji olarak su duvarından binaya aktarılır (Derviş, 1984). Böyle bir su duvarı sistemi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Su duvarı (Yılmaz, 2008).

Çatı havuzu, suyun çatılarda ısıl kütle olarak kullanıldığı kazanım sistemleridir. Havuz şeklinde yapılan çatıya içi su dolu plastik torbalar yerleştirilir ve üzerine yalıtılmış hareketli paneller uygulanır. Yaz aylarında gündüzleri bu paneller, torbaların üzerlerini kapatarak çatı havuzunu ısınmaya karşı korur. İç mekandaki ısınan hava ile çatındaki serin havanın yer değiştirmesi ile de iç mekan havasının yaz aylarında serin kalması sağlanır. Geceleri paneller açılarak, çatı havuzundaki suyun soğuması sağlanır. Kış aylarında ise güneşin ısıtıcı etkisinden faydalanmak için gündüzleri paneller açılır ve çatı havuzu ısınarak iç mekan havasının ısıtılmasına etki eder. Geceleri ısı kayıplarını önlemek için paneller kapalı tutulur. Nemin az olduğu ve karasal iklimin yaşandığı bölgelerde verimli olan sistemin çalışma prensibi Şekil 2.8’de gösterilmiştir (Gemicioğlu, 2011; Kundakçı, 2004).



Şekil 2.8 : Çatı havuzu çalışma prensibi (Yılmaz, 2008).

2.3.3 Yalıtılmış kazanım sistemleri

Yalıtılmış kazanım sistemlerinde; güneş enerjisinin toplanması, depolanması ve iletilmesi için ısı odaları oluşturulur. Bu ısı odaları binanın ana kullanım alanlarından ayrıdır, dolayısıyla bu sistem ile sağlanan ısı toplama ve depolama işlevi binadan bağımsız olarak gerçekleşir. Isı odası, binanın güney yönüne yerleştirilir, böylece odanın tüm gün güneş ışınımını alarak ısıyı depolaması sağlanmaktadır. Isı odası ile kullanılan mekan arasındaki duvara yerleştirilen menfezlerle ısı değişimi gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde ısı odaları, iç mekan ile dış çevre arasında tampon bölge görevi görmektedir. Buna bağlı olarak, bu sistem hem bina enerji ihtiyaçlarının azalmasına katkıda bulunmaktadır hem de tampon bölge olan mekanın, konfor koşullarının sağlandığı yaşam alanı olarak kullanılmasına olanak vermektedir (Gemicioğlu, 2011; Yılmaz, 2008).

Binalarda güneş enerjisinden yararlanılan pasif sistemlerin avantajları ve dezavantajları Şekil 2.9'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

<i>Doğrudan Kazanım Sistemleri Avantajları</i> ▪ Çatı pencereleri ve ışıklıkların kullanımında verimlidir. ▪ Geniş pencere açıklıklarına imkan verir. ▪ Aydınlatma ve ısıtma birarada sağlandığı için okul ve ofis kullanımı için idealdir. ▪ Diğer sistemlere göre maliyeti en düşük, verimi en yüksektir.	<i>Dezavantajları</i> ▪ Geniş pencere açıklıkları sebebiyle parlama fazladır. ▪ Fazla ısınmayı önlemek için önlemler gerektirir. ▪ Sıcaklık dalgalanmaları yüksek olabilir. ▪ Geceleri ısı kayıplarını önleme amaçlı hareketli yalıtım sistemleri gereklidir.
<i>Dolaylı Kazanım Sistemleri Avantajları</i> ▪ Yüksek ısı performans sağlar. ▪ Aydınlatma düzeyini belirli seviyede tutar, kamaşmayı engeller. ▪ Mevcut binalara uygulamada kolaylık sağlar. ▪ Orta maliyetlidir.	<i>Dezavantajları</i> ▪ Doğrudan kazanımlı sistemlere göre daha pahalıdır. ▪ Gün ışığı almada saydam yüzeyler daha azdır. ▪ Çok yağışlı iklim bölgelerinde verimli değildir.
<i>Yalıtılmış Kazanım Sistemleri Avantajları</i> ▪ Düşük sıcaklık dalgalanmaları sağlar. ▪ Sera olarak kullanıma imkan verir. ▪ İç ve dış ortam arasında tampon olarak bulunur. ▪ Tasarım olarak estetik görünümlüdür.	<i>Dezavantajları</i> ▪ Diğer sistemlere göre daha pahalıdır. ▪ En düşük verim alınan sistemdir. ▪ Yaz mevsiminde aşırı ısınmayı önleme amaçlı ısı kontrolüne ihtiyaç vardır.

Şekil 2.9 : Pasif sistemlerin avantaj ve dezavantajları (Lechner, 1991).

2.4 Bölüm Değerlendirmesi

Günümüzde iç mekan konfor şartlarının sağlanmasında farklı aktif ve pasif kazanım sistemlerinden faydalanılmaktadır. Fakat kurulum ve bakım maliyetlerinin düşük olması ve sürdürülebilir olması için; ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacının belirlenmesinde öncelikli pasif sistemlerden yararlanılmasını gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla binanın ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyaçları belirlenirken pasif güneş kazanım sistemleri dikkate alınarak tasarım kararlarının alınması gerekir. Bina kabuğu; bünyesinde ısı kayıp ve kazançların yoğun bir şekilde gerçekleştiği, iç mekan ve dış ortam arasında bir tampon olarak görev yapar. Yaz ve kış

dönemlerinde enerji harcamadan, pasif kazanımlarla iç mekan sıcaklıklarının dengede tutulabilmesi bina kabuğunun işlevi ile ilgilidir. Binanın bulunduğu iklim bölgesinin özellikleri; bina kabuğunun oluşumunda, kabuk katmanlarının, opak ve saydam yüzeylerin belirlenmesinde etkin rol oynar. Konvansiyonel sistemlerde, geleneksel malzemeler ve kalın duvarlar ile oluşturulan ısı kütlesi; yazın yüksek sıcaklıklara, kışın dış havanın soğuk etkisine karşı ısı kayıp ve kazançların kontrolünü sağlayarak iç mekandaki sıcaklık dalgalanmalarını en aza indirir. Yenilikçi sistemlerde ise ısı yalıtımı uygulaması ile duvarlar daha ince tutularak aynı ısı performans sağlanabilmektedir. Fakat ısı yalıtım malzemelerinin ısı depolama özelliğinin olmaması, yalıtım malzemelerini ısı önlem olmaktan daha öteye götürmemektedir. Enerjiye olan ihtiyacın artması ile enerjinin sürekliliğinin sağlanması ve verimli kullanılması gerekliliği, enerji depolama sistemlerinin önemini arttırmıştır. Enerji depolama malzemelerinin bina kabuğunda kullanımında ısı önlem görevi görürken aynı zamanda enerjiyi depolayıp ihtiyaç halinde sisteme enerji girdisi sağlayarak enerjinin verimli kullanılmasına olanak vermesi, bu malzemelere ihtiyacı giderek artırmaktadır.

3. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ VE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER

Fosil yakıtların azalmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmanın artması; ancak bu kaynakların zaman zaman iklim, mevsim vs. gibi etkenlerle sürekli olmaması, depolama sistemlerinin önemini arttırmıştır. Isıl Enerji Depolama (IED) sistemlerinin kullanımı enerjinin etkin kullanılmasında süreklilik sağlarken diğer taraftan ekonomik anlamda da büyük rol oynamaktadır. Isıl enerji depolama, çevresel sorunlara cevap verme ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımında önemli paya sahiptir (Dincer & Rosen, 2011). Termodinamiğin 1. yasasında belirtilen enerjinin korunumu kanununa göre, enerji yoktan var edilemez ve var olan enerji yok edilemez. Buna en güzel örnek güneş enerjisidir. Güneşte meydana gelen füzyon tepkimelerinde saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşür ve aradaki 4 milyon tonluk fark dünyaya ısı ve ışık enerjisi olarak gelir. Güneşin ışıınımı etkisiyle faz değıştiren malzemenin faz değıştirilmesiyle fazla enerji termodinamik yasasında bahsedildiğı gibi biçim değıştirilerek malzeme bünyesinde depolanır. Güneş ışıınım şiddeti günün saatlerine göre değışkenlik gösterir. Gece boyunca güneş ışıınımı yoktur veya gün içinde ışıınım miktarı mevsimlere göre değışkenlik göstermektedir. Bu sebeple FDM kullanımında gün içinde fazla olan ışıma enerjisi biçim değıştirilerek ısııl enerji olarak depolanır. Işıınımın olmadığı zamanlarda; gece veya bulutlu havalarda ısıtma amaçlı kullanılabildiğı gibi, ışıma fazla olan durumlarda fazla ısıyı da bünyesinde hapsederek gün içinde de soğutmaya etkisi olmaktadır.

Bu çalışmada Faz Değıştiren Malzemeler yerine kısaltması olarak başharflerinden oluşan ve ülkemiz genelinde de kullanılan 'FDM' kullanılacaktır. Yabancı kaynaklarda FDM'ler 'Phase Change Materials' olarak, kısaltması da PCM olarak yer almaktadır.

3.1 Enerji Depolama Yöntemleri

Enerji depolama yöntemleri kullanılan tekniğe göre Şekil 3.1’de gösterildiği gibi gruplandırılmaktadır.



Şekil 3.1 : Enerji depolama yöntemleri (Dincer & Rosen, 2011).

Mekanik enerji depolamada, cismin dönme hareketinin kinetik enerjisi veya yükselmesindeki potansiyel enerjisi, elastik bir maddenin sıkışma veya gerilme enerjisi ya da gaz haldeki bir maddenin sıkışmasındaki enerji depolanabilmektedir.

Kimyasal enerji, farklı kimyasal maddelerin birbiri ile tepkimeye girerek tepkime sırasında enerjiyi serbest bırakan veya emen bileşik sistemlerinde depolanabilir. Kimyasal enerji depolama, bu tepkime sırasında oluşan tepkime ısısının depolanması tekniği ile oluşur (Canlı, 2017; Dincer & Rosen, 2011; Sharma, Tyagi, Chen, & Buddhi, 2009).

Kimyasal enerjinin depolama işlemi, termokimyasal ve elektrokimyasal olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Kimyasal enerji depolamaya en iyi örnek olarak gösterilen pillerde saklanan enerji, elektrokimyasal enerjidir. Pildeki kimyasal tepkimeler elektrik enerjisi kaynaklıdır ve daha sonra elektrik enerjisi üretir. Pile doğru akım olarak gelen elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüşür ve enerji harcamasında tekrardan doğru akıma çevrilerek dışarı çıkar. Rüzgar türbinleri ve fotovoltaik sistemlerin ürettiği elektrik enerjisinin depolanması da, pillerdeki enerji depolama uygulaması ile aynıdır. Enerjiden ısı alan tepkimelerle hidrojen, metan veya alkol gibi yanıcı madde üretilmesi, termokimyasal enerji depolanmasına örnek olarak gösterilebilir. Enerji ihtiyacına göre oluşturulan ısı veren tepkimelerle, bu maddelerden enerji geri sağlanır (Altıntaş, 2012; Dincer & Rosen, 2011; Kumar & Shukla, 2015). Termokimyasal sistemlerin emilen enerjiye dayanması, aynı zamanda

tamamen geri dönüşümlü bir kimyasal tepkimede moleküler bağların kopması ve yeniden şekillendirilmesinde serbest bırakılması ilkesine dayanan bu teknikte, depolanan ısı, depolama malzemesinin miktarına, ısı alan tepkimedeki ısı miktarına ve dönüşüm derecesine bağlıdır (Sharma vd., 2009).

Biyolojik enerji depolama, enerjinin biyolojik işlemlerden geçirilerek kimyasal olarak depolanmasıdır. Uzun süreli depolamalar için önem teşkil etmekle beraber biyolojik enerji depolama konusunda çok fazla çalışma yapılmamıştır. İlerleyen dönemlerde yapılan çalışmalara bağlı olarak bu konuya ilgi artabilir (Canlı, 2017; Dincer & Rosen, 2011)

Manyetik enerji depolamada, enerji elektromıknatıs gibi büyük manyetik alanlarda depolanmaktadır. Bir kısım metallerde sıcaklık mutlak değere (0 Kelvin) yaklaştığı zaman, metaldeki elektrik direnci çok küçük değerlerde olur, bundan dolayı büyük akımlar bu metallerin içinde neredeyse kayıp olmaksızın dolaşabilirler. Bu sistem elektriği doğru akım olarak depolar. Standart elektrik gücünün alternatif akımdan doğru akıma veya doğru akımdan alternatif akıma dönüşümü sırasında meydana gelen kayıplar ve dönüşümden kaynaklı fazla ısınmayı önlemek için çalıştırılan soğutma cihazları için bu enerji tekniği kullanılır. Süper iletkenli manyetik enerji depolama sisteminin %80-90'a varan bir verim sağlayacağı düşünülmektedir (Dincer & Rosen, 2011).

Isıl enerji depolama, bir maddenin iç yapısındaki sıcaklık farkından oluşan ısı enerjinin depolanmasıdır. Malzemenin sıcaklığının arttırılması veya azaltılması ile moleküllerde oluşan kinetik ve potansiyel enerjinin toplamı olan ısı enerji geçici olarak depolanabilmekte ve gerektiği zaman depolanan enerji yeniden kullanılabilir. Isıl enerji depolama yöntemi fazla enerjinin israf olmasını önleyerek enerji tasarrufuna katkıda bulunduğundan dolayı sanayi, tarım, ulaştırma ve yapı gibi çeşitli sektörlerde ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilir (Paksoy & Dikici, 2008; Yılmazoğlu, 2010). Isıl enerji depolama yöntemleri Bölüm 3.2'de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

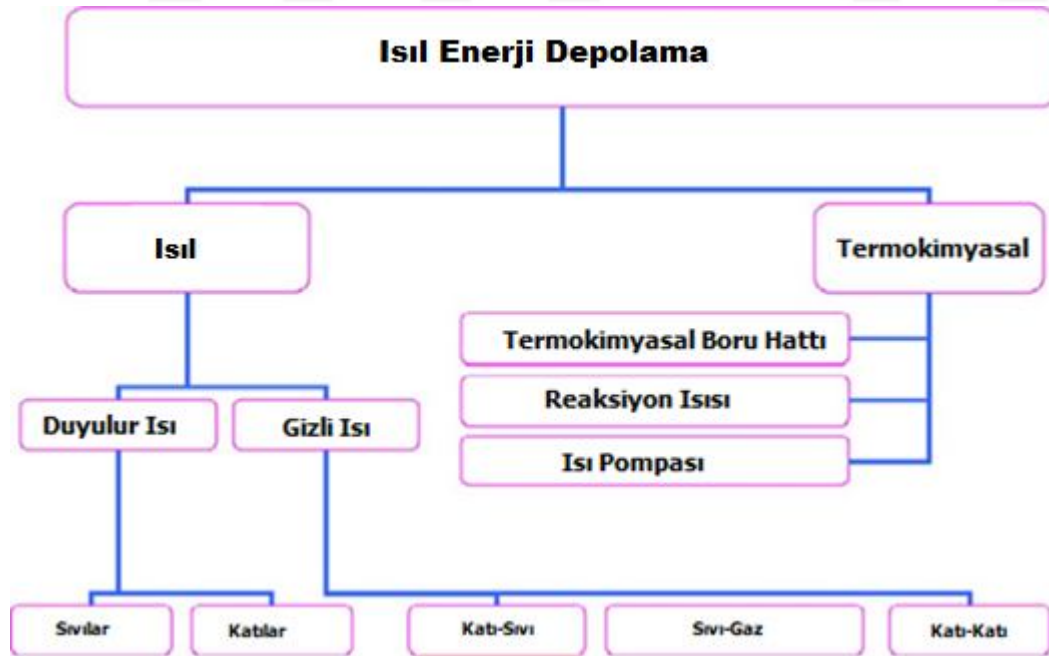
3.2 Isıl Enerji Depolama Yöntemleri

Bir maddenin iç yapısındaki sıcaklık farkından doğan ısı akışı ile beraber atom ve moleküllerin titreşmesi neticesinde ısı enerji meydana gelir. Kısaca ısı enerji,

maddeyi oluşturan atom ve moleküllerin potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamına eşittir (Yılmazoğlu, 2010).

Isıl enerji, maddenin sıcaklığının artırılması veya düşürülmesi yoluyla fazının değiştirilmesi sağlanarak depolanabilir ve ihtiyaç duyulan zamanlarda geçici depolanan enerji tekrar kullanılabilir. Yapı tipine bağlı olarak, kullanımın yoğun olmadığı zamanlarda gündüz saatlerinde geçici olarak depolanan güneş enerjisi gece yoğun kullanım saatlerinde ısıtma amaçlı kullanılabilir ya da yaz mevsiminde gündüz soğutma amaçlı kullanılabilir. Sanayi, tarım, ulaştırma ve yapı gibi çeşitli sektörlerde hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılan IED sistemleri, yakıttan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır (Paksoy & Dikici, 2008).

Lane'nin (1975) belirttiği üzere, ısııl enerji depolama yöntemleri, birim hacimdeki enerji depolama kapasitelerine göre farklı türlere ayrılmaktadır. Isıl enerji, yalıtımlı malzemelerde, malzeme iç enerjisindeki değişim yoluyla üç grupta toplanır; duyulur ısı, gizli ısı ve termokimyasal ısı veya bunların kombinasyonu olarak depolanabilir (Kant, Shukla, Sharma, Kumar, & Jain, 2016). Isıl enerji ile ilgili belirtilen farklı depolama türleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir



Şekil 3.2 : Isıl enerji depolama yöntemleri (Sharma vd., 2009).

IED sistemleri belirli zaman aralıklarında döngüsel olarak çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilir. Çoğunlukla günlük, nadiren de mevsimsel olarak

uygulandıklarında aşağıda belirtilen faydaları sağlamaktadırlar (Dincer & Rosen, 2011; Hawes, 1991):

- Enerji gereksiniminin az olduğu zamanlarda fazla enerjiyi depolayarak gereksinimin fazla olduğu zamanda depolanan enerjinin sisteme geri verilmesi ile dolaylı olarak enerji üretimine katkı sağlama ve enerji talebini azaltmaya yardımcı olma,
- Kojenerasyon altyapısına katkı yaparak sistemin daha iyi çalışmasını sağlama,
- Enerjinin fazla ve talebin düşük olduğu zamanlarda düşük maliyetli enerji depolaması yaparak enerji talebi fazla olan zamanda depolanan enerjiyi kullanma ve böylelikle gün içinde enerji alımlarını yüksekte düşük maliyetli periyotlara kaydırma olanağı sağlama,
- Düşük maliyetli enerji tüketimine imkan vererek oluşabilecek enerji israfını önleme,
- Depolama ile bütüncül sistem güvenilirliğini artırma,
- Diğer ekipman ve sistemlerle fonksiyonel uyum sağlama,
- Fosil yakıt tüketimine duyulan ihtiyacın azalmasıyla CO₂ emisyonlarının azalmasına yardımcı olma,

Termokimyasal depolama, kimyasal tepkime sırasında bağların kopması veya yeniden yapılandırılması ile bağlarda enerjiyi depolama yöntemidir. Enerjinin emilimi yoluyla depolanan enerji miktarı; tepkime ısısı, dönüşüm derecesi ve depolanan malzeme miktarı ile ilişkilidir (Sharma vd., 2009). Buna bağlı olarak da, malzemenin yoğunluğu ve hacmi ile de bağlantılıdır. Termokimyasal tepkimeler tersinir tepkimeler olduğundan, bağların kopma veya oluşmasına bağlı olarak çok fazla tepkime ısısı meydana gelir. Bu sebeple termokimyasal enerji depolama yönteminin depolama kapasitesi oldukça fazladır ve duyulur ya da gizli ısı depolama tekniklerine göre daha faydalıdır. Termokimyasal enerji depolama 3 farklı şekilde gerçekleştirilir. Bunlar; termokimyasal boru hattı, tepkime ısısı ve ısı pompası yöntemleridir (Azpiazu, Morquillas, & Vazquez, 2003; Dheep & Sreekumar, 2014).

Duyulur ısı depolama yöntemi, katı veya sıvı bir malzemenin sıcaklık değişiminin sonucunda oluşan enerjinin depolanmasıdır. Malzemede yaşanan sıcaklık değişimi esnasında faz değişimi gerçekleşmez ve malzemenin sıcaklığında bir artış yaşanır

(Alva, Liu, Huang, & Fang, 2017; Kant vd., 2016). Depolanan ısı enerjisi miktarı, depolama malzemesinin özgül ısısı, sıcaklık farkı ve depolama malzemesi miktarı ile doğru orantılıdır. Depolanan malzeme miktarı ile ilişkili olmasından dolayı malzemenin yoğunluk ve hacmi ile de doğru orantılıdır. Bu ilişkiler Denklem 3.1’de belirtilmiştir.

$$Q = m.c.\Delta T = m.c. (T_s - T_i) = v.d.c.\Delta T \quad (3.1)$$

Bu denklemde;

Q: depolanan duyulur ısı [kJ]

m: depolama malzemesinin kütlesi [kg]

c: malzemenin özgül ısısı [kJ/kg K]

ΔT : sıcaklık değişimi [K]

T_s : Son sıcaklık [K]

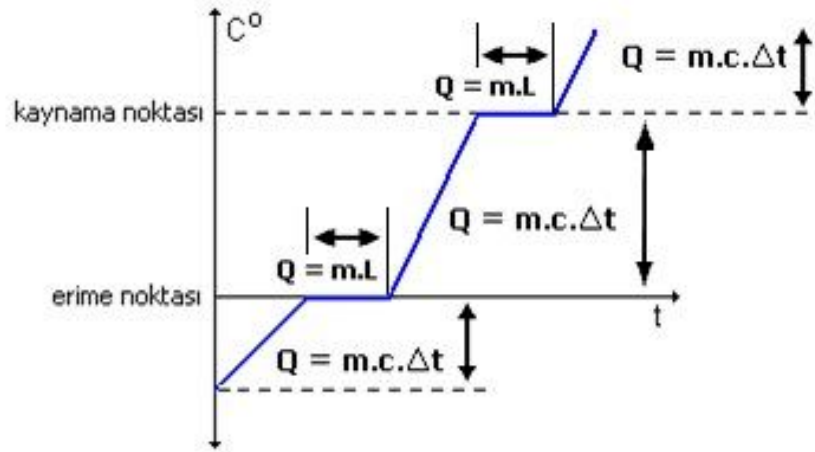
T_i : İlk sıcaklık [K]

v: malzemenin hacmi [m^3]

d: malzemenin yoğunluğu [kg/m^3]’nu ifade etmektedir,

Duyulur ısı; su, eriyik tuzlar, mineral yağlar ve sıvı metaller gibi sıvılarda depolanabildiği gibi, kum, kaya, beton, çakıl, metal alaşımları gibi katılarda da depolanabilir (Alva vd., 2017). Denkleme göre; sabit hacim ve aynı sıcaklık farkında fazla ısı enerjisi depolayabilmek, malzemenin yoğunluk ve özgül ısısının çarpımının yüksek olmasına bağlıdır. Su, yüksek özgül ısıya sahip olduğu için aynı zamanda kolay bulunabilir ve ekonomik olduğu için iyi bir duyulur ısı depolayıcısıdır (Sharma vd., 2009). 1 m^3 ’lük su 1 $^{\circ}C$ ısıtıldığında 4190 kJ kadar enerji depolayabilirken, 1 m^3 kaya yarısı kadar enerji depolayabilir (Sharma, Tyagi, Chen, & Buddhi, 2009).

Gizli ısı bir maddenin hal değiştirmesi sırasında bir fazdan diğerine geçerken oluşan ısı transferidir. Bu ısıyı depolayan yöntem gizli ısı depolama olarak adlandırılır. Maddenin özgül ısısına göre, meydana gelen gizli ısı değişikliği, duyulur ısıya göre çok daha fazla olmasının yanısıra gereken depo alanı da duyulur ısıya göre daha küçüktür (Dincer & Rosen, 2011; Konuklu, 2008). Gizli ısı ve duyulur ısı depolama grafiği Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Duyulur ve gizli ısı depolama.

Gizli ısı depolama faz değıştiren malzemeler ile gerçekleştirilir. Yani malzemedeki faz değışimiyle depolanan ya da geri salınan enerji malzemenin faz değışim entalpisindeki değışiklik ile oluşur. Faz değışimine kapsamına göre, ısı enerji depolama maddenin faz değışim sıcaklığında izotermale (sabit sıcaklıklı süreç) yakın olarak çalışır (Bashar, 2016).

Gizli ısı depolama, katı-katı, katı-sıvı ve sıvı- gaz olarak farklı faz değışim şekillerinde gerçekleştirilir. Buharlaşma ısıyla sabit sıcaklıktaki sıvı-buhar faz dönüşümünde, aynı miktardaki sıvı malzeme buhar haline geçerken malzemenin yoğunluk farkından dolayı hacim artar veya sabit hacimde fazla basınç oluşur. Bu sebeple sıvı-buhar faz dönüşümü sırasında diğerlerine göre daha fazla gizli ısı oluşmasına rağmen, depolama ve işlevsellik açısından sıvı-buhar faz dönüşümü pek tercih edilmemektedir. Uygulamalarda en sık kullanılan gizli ısı dönüşümü katı-sıvı faz değışimidir (Sharma vd., 2009).

Depolama malzemesi ısı olarak sıcaklığı artar ve malzeme hal değışim sıcaklığına ulaştığında, sıcaklık sabit kalır ve malzeme hal değıştirirken enerjiyi bünyesinde depolar. Bu sırada depolanan enerji Denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$Q = m.a_m.\Delta h_m \quad (3.2)$$

Bu denklemde;

Q: depolanan gizli ısı miktarı [kg]

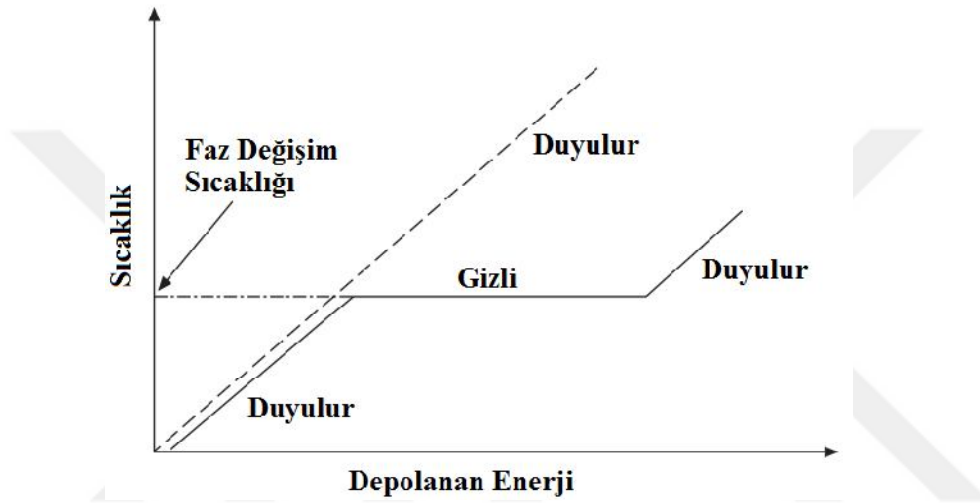
m: FDM'nin kütlesi [kg]

a_m : ergiyen FDM'nin yüzdesi

Δh_m : FDM'nin sahip olduğu erime gizli ısı [kJ/kg]

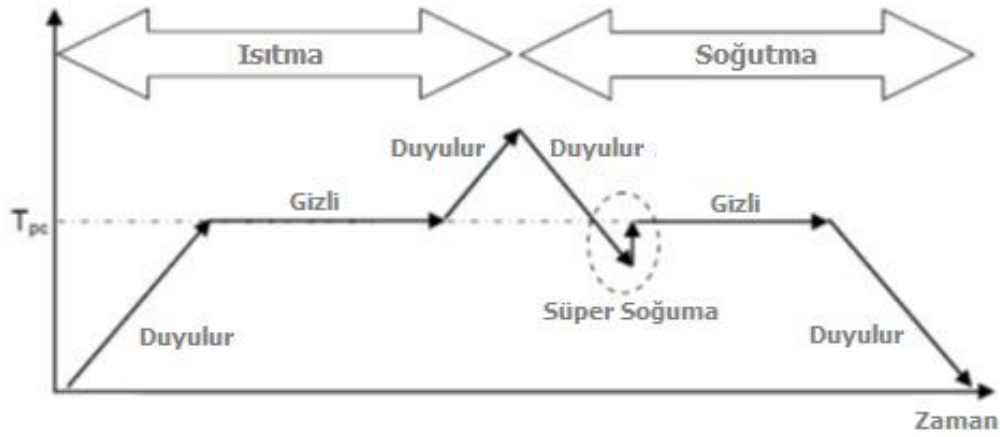
olarak ifade edilmiştir.

Gizli ısı depolama yönteminde, FDM sabit sıcaklıkta hal değiştirirken gizli ısı depolamakta, hal değiştirme öncesinde sıcaklığı arttığı esnada da az miktarda duyulur ısı depolamaktadır (Bruno, Belusko, Liu, & Tay, 2014). Bu durumu belirten grafik Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Sıcaklık değişimi ile duyulur ve gizli enerji depolama (Bruno vd., 2014).

Aşırı soğuma (Süper soğuma) etkisi, bir malzemenin katılaşması esnasında faz değiştirebilmesi için malzemenin erime sıcaklığının altında bir sıcaklığa ulaşmaması gerektiğinin etkisidir. Malzeme katılaşırken ısıyı serbest bırakmaya başlamaktadır. Erime sıcaklığının altındaki değere ani şekilde ulaştığı zaman, malzeme katılaşmadığından FDM gizli ısıyı depolamaz, sadece duyulur ısıyı depolamaktadır (Mehling & Cabeza, 2008). Süper soğumanın FDM üzerindeki etkisinin sıcaklık değişim grafiği Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : FDM'nin erime ve katılaşma sırasındaki sıcaklık değişim grafiği (Mehling & Cabeza, 2008).

3.3 Faz Değiştiren Malzemeler

Enerji verimliliğinin artırılması yönünde yapılan çalışmalarda ısı enerji depolama sistemleri günümüzde önemli rol oynamaktadır. Farklı uygulamaların yanı sıra mimari uygulamalarda çeşitli yenilikçi yöntemler kullanılmaktadır ve FDM'lerle gizli ısı depolama yöntemi de bunlardan biridir. Gizli ısı, malzemenin sabit sıcaklıkta hal değiştirme esnasında çevreden aldığı veya çevreye verdiği enerjidir. Oluşan ısı enerjisi gizli ısı olarak depolayan maddeler 'Faz Değiştiren Malzemeler' olarak tanımlanmaktadır. Gizli ısı depolama yönteminde gereken depo hacminin duyulur ısıya göre daha az olması faz değiştiren malzemelerin önemini daha da arttırmaktadır (Konuklu & Paksoy, 2011).

Isıl enerji depolama özelliğinin yanı sıra faz değiştiren malzemeler aynı zamanda bina uygulamalarında pasif sistem olarak ısı önlem görevi görür. Günümüzde faz değiştiren malzemelerin kullanıldığı akıllı cepheler bulunmaktadır. Bu malzemeler sıvaveya dolgu olarak yapı malzemesine karıştırıldığı gibi alçı plakaların içinde modül olarak da yer almaktadır (Orhon, 2012).

Faz değiştiren malzemeler uygulamalarda kullanımında basit detaylı, kolay uygulanabilir, kompakt, uyumlu ve düşük maliyetli olmalıdır; yanıcı, patlayıcı ve toksik özelliği olmamalıdır. Faz değiştiren malzemelerin verimli olması için, ısı iletkenliğinin ve özgül ısı kapasitesinin yüksek olması, aşırı soğuma yapmaması ve hacminde küçük değişimlere imkan vermesi beklenir. Kimyasal ayrışmaya karşı stabilitesini koruduğu için uzun ömürlü verimli çalışabilirler (Dincer & Rosen, 2011; Konuklu & Paksoy, 2011).

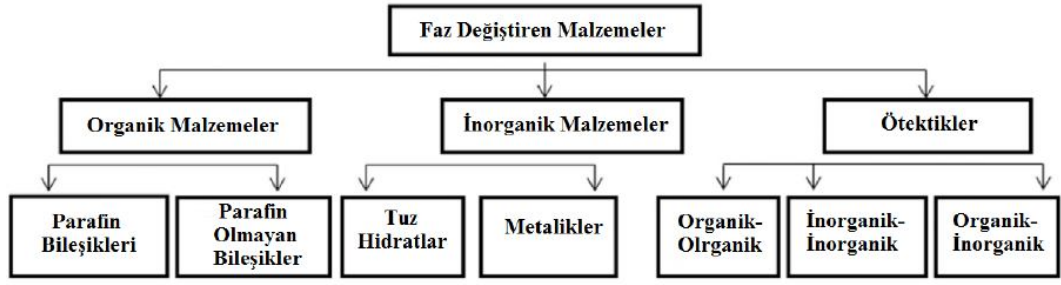
3.3.1 Faz değiştiren malzemelerin çalışma prensibi

Katı veya sıvı bir madde belirli bir sıcaklıkta erirken veya buharlaşırken meydana gelen ısıyı bünyesinde depolar. Sıvı veya buhar halindeyken kristalize olarak ya da yoğunlaşarak katılaşır veya sıvı hale geçer, böylelikle bünyesinde depoladığı ısıyı geri verir (Dincer & Rosen, 2011). FDM’lerin çalışma prensibi, maddenin erime noktası (EN) veya buharlaşma noktası olan belirli sıcaklıkta gerçekleşen bu faz değişimi ile ortaya çıkan gizli ısıнын depolanması veya ihtiyaç halinde tersine faz dönüşümü ile geri bırakılması şeklinde dir.

FDM’lerde katı-katı, katı-sıvı, sıvı-gaz dönüşümünde gizli ısı depolanır. Katı-sıvı arasında gerçekleşen faz değişimi enerjisi füzyon (erime) gizli ısısı, sıvı-gaz arasında gerçekleşen faz değişimi enerjisi buharlaşma gizli ısısı olarak tanımlanmaktadır ve katı maddeler sıvı maddelere göre daha düşük özgül ısıya sahiptir (Sutterlin, 2011). Buna göre; çeşitli uygulamalarda buharlaşma esnasında FDM’nin faz değişiminin yüksek entalpide gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla sıvı-gaz dönüşümünde, sabit hacimde sıcaklık artışı ile çok yüksek basınç oluşacağından veya sabit basınçta çok fazla hacim ihtiyaç olacağından sıvı-gaz dönüşümü tercih edilmemektedir (Zalba, Marín, Cabeza, & Mehling, 2003). Katı-katı faz dönüşümünde madde kriştalleşerek depolanan enerjiyi geri verdiğindeki faz değişim entalpisi düşüktür. Uygulamalarda en sık kullanılan gizli ısı dönüşümü katı-sıvı faz değişimidir. Bu dönüşümde faz değişim entalpisi yüksek, hacim değişikliği azdır. Faz değişiminin sabit sıcaklıkta gerçekleşmesi sebebiyle FDM kullanımı yapı uygulamaları için uygunluk göstermektedir. Yapılarda güneşten alınan ısıyla FDM’nin faz değiştirerek erime gizli ısısını bünyesinde tutmasıyla güneş enerjisi depolanmış olur (ztrk, Başçetinçelik, & Karaca, 2001).

3.3.2 Faz değiştiren malzemelerin eşitleri ve kullanım alanları

Faz değiştiren malzemeler organik malzemeler, inorganik malzemeler ve tektikler olmak üzere 3 başlık altında toplanmaktadır. Organik FDM’ler; parafin bileşikleri ve parafin olmayan bileşiklerden oluşmaktadır. İnorganik FDM’ler; tuz hidratları ve metaliklerden oluşmaktadır. tektikler ise kendi içinde; organik-organik, organik-inorganik, inorganik-inorganik olarak üç gruba ayrılır (Kant vd., 2016). Bu ilişki şekil 3.6’da belirtilmiştir.



Şekil 3.6 : FDM’lerin sınıflandırılması (Kant vd., 2016).

Organik ve inorganik FDM’lerin olumlu ve olumsuz yönleri aşağıda belirtilmiştir (Pasupathy & Velraj, 2008):

Organik FDM’lerin olumlu özellikleri:

- Geniş sıcaklık aralığı imkanı
- Her noktada aynı karakterde erimesi
- Süper soğuma etkisinin olmaması
- Kimyasal kararlılık
- Kendinden çekirdeklenmesi
- Geleneksel yapı malzemeleri ile uyumlu olması
- Katmanlaşma olmaması
- Yüksek füzyon ısısı
- Güvenli olması, tepkimeye girmemesi
- Yeniden kullanılabilir olması

Organik FDM’lerin olumsuz özellikleri:

- Katı halde düşük ısı iletkenlik; yani donma döngüsünde yüksek ısı transferi ihtiyacı
- Gizli ısı depolama hacminin azlığı
- Yanıcılık (seçilen kaplama malzemesi ile azaltılabilir)
- Parafin karışımları ve rafine yağ hariç yüksek maliyet

İnorganik FDM’lerin olumlu özellikleri:

- Gizli ısı depolama hacminin fazla olması

- Düşük maliyet
- Kolay kullanılabilirlik
- Yüksek ısı iletkenlik
- Yüksek füzyon ısısı
- Erime noktasında kesinlik
- Hacimsel değışikliğin az olması
- Alev iletmezlik

İnorganik FDM'lerin olumsuz özellikleri

- Katı-sıvı dönüşümü sırasında süper soğuma etkisi
- Çok fazla hacim değışimi
- Çekirdekleşme için tekrar eden döngülerde ek gereç gerekliliği

En yaygın olarak kullanılan FDM su-buzdur. 1gr (1cc/1 ml) suyun 1°C sıcaklığa kadar ısıtılmasında suya 4,18J kadar enerji verilir. Suyun duyulur ısı depolama kapasitesi 332kJ/kg iken faz değışimi sırasında gizli ısı depolama kapasitesi 333kJ/kg'dır. 0°C'de buz eridiği zaman ısıyı alır (Dincer & Rosen, 2011; Sutterlin, 2011).

FDM'nin en eski uygulaması 1800'lerin sonlarında İngiltere'de araçlarının koltuklarını ısıtmak için FDM'nin metal ve lastik torbalar içinde kullanılmasıdır. Sonrasında NASA (National Aeronautics and Space Administration - Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) ısı kontrol amaçlı çalışmalar yapmıştır (Dincer & Rosen, 2011).

FDM'ler ülkemizde henüz tam anlamıyla yer bulmamasına rağmen; Avrupa'da ve dünyada çeşitli firmalar tarafından çalışmalara daha önceden başlanmış ve çok az bir kısmı piyasaya ürün olarak sunulmuştur. FDM'lerin otomotiv, tekstil, medikal, lojistik ve yapı sektörü gibi çok geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Lojistikde soğuk zincirin sağlanması, medikalde spesifik ilaçların taşınması, tekstilde astronotların kıyafetlerinin hazırlanması, otomotivde ısıtma ve soğutmanın sağlanması, yapı sektöründe bina yalıtımı, ısıtma, soğutma, mekanik havalandırmadaki ısı kayıplarının önlenmesi, güneş kolektörlerinde ve diğer

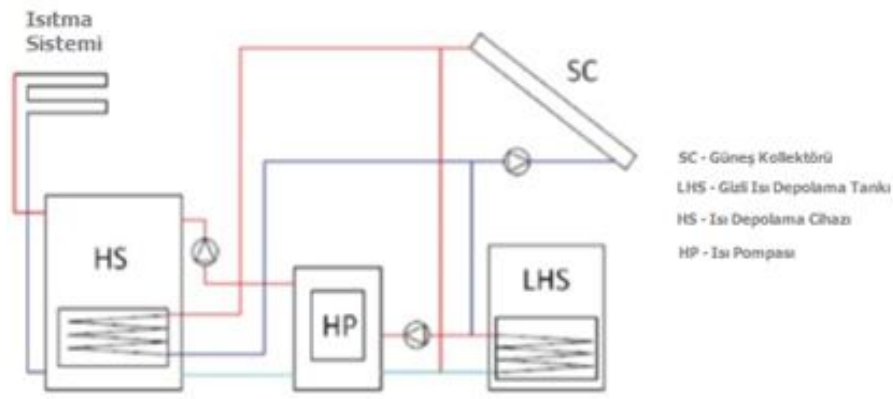
sektörlerde meyve sebze kurutmada, uzay aracı ısı ve soğutma uygulamalarında kullanılmakla birlikte geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir (Paria, Baradaran, Amiri, Sarhan, & Kazi, 2016).

Isıtma veya soğutma amaçlı kullanılan aktif ve pasif sistemlerde FDM'lerin kullanılması enerji performansına olumlu yönde etki etmektedir (Konuklu & Paksoy, 2011). Sabit sıcaklıkta, maddenin erime veya buharlaşma sıcaklığına göre faz değiştirerek ısı enerjisi bünyesinde depolaması ve sıcaklığa bağlı olarak tersine faz değiştirerek depoladığı enerjiyi ortama vermesine dayanarak FDM'ler hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanılabilirler (Feldman, Shapiro, & Banu, 1986).

3.3.3 Binalarda faz değiştiren malzemelerin kullanımı

1970'lerin başında Delaware Üniversitesi'nde ilk defa tuz hidratlarının Solar One Binası tasarımında soğutma amaçlı uygulanması ile FDM'lerin binalarda kullanımına başlanılmıştır. 1982'de ise binalarda soğutma amaçlı kullanılmak üzere ilk defa ötektik tuzlar piyasaya sunulmuştur (Dincer & Rosen, 2011).

FDM'ler sistemlerde aktif veya pasif olarak uygulanmaktadır. FDM'lerin aktif olarak kullanıldığı sistemlerde faz değiştiren malzemenin bünyesinde depoladığı enerjinin şarj edilmesi veya boşaltılması mekanik ekipmanlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerde FDM bir gizli ısı depolama tankı içinde bulunmaktadır. Güneşten kollektör yardımıyla alınan enerji, bir ısı değişim cihazı ile FDM'nin bulunduğu tank içinde depolanmaktadır ve ısı pompası yardımıyla enerjinin derecesi yükseltilerek ısı depolama cihazına, sonra da ısı değişim cihazı ile ısıtma ya da havalandırma sistemine aktarılmaktadır. FDM'nin aktif olarak uygulaması Şekil 3.7'de belirtilmiştir. FDM'lerin binalarda beton, alçıplaka, sıva gibi yapı malzemelerinde kullanılarak, sıcaklık değişimi ile erime-katılaşma döngüsünde enerjinin bünyesinde depolanıp serbest bırakılması ise pasif olarak uygulanmasıdır (Stritih, 2009; Zhu, Ma, & Wang, 2009).



Şekil 3.7 : FDM'nin aktif sistem uygulaması.

FDM'lerin bir kısmı ticari ürün olarak piyasada bulunmasına rağmen bir kısmı henüz prototip aşamasındadır ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. FDM halihazırda binada aşağıdaki şekillerde kullanılabilir (Pomianowski, Heiselberg, & Zhang, 2013).

— Yapı malzemesinde pasif olarak FDM kullanımı

Alçıplaka levha, sıva, beton, tuğla ve kompozit gibi malzeme bünyesinde kullanımı

— Yapı malzemesinde aktif olarak FDM kullanımı

— Pencere ve gölgeleme elemanında FDM kullanımı

— Mekanik sistem ve ısı değiştiricilerde FDM kullanımı

Tasarım aşamasında, FDM'nin kullanım amacına göre seçiminde dikkate alınan özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Dheep & Sreekumar, 2014; Dincer & Rosen, 2011; Sharma vd., 2009; Zheng, 2015):

— FDM'nin yüksek yoğunluğa, özgül ısıya, ısı iletkenliğe ve erime gizli ısısına sahip olması

— FDM'nin çalışma sıcaklığı arasında erime noktasına sahip olması ve faz dönüşümünde küçük hacim değişiklikleri göstermesi

— FDM'nin uyumlu, kimyasal olarak kararlı, yanmaz ve alev almaz olması

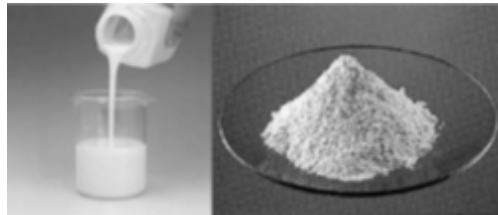
— FDM'nin süper soğuma ve korozyon etkisinin olmaması

— FDM'nin kolay bulunabilir, düşük maliyetli ve uzun süre tekrar kullanılabilir olması

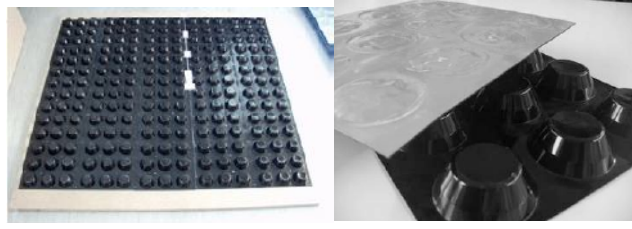
Son yıllarda çeşitli FDM'ler aktif ve pasif sistemlerde malzeme ve yapı elemanı olarak kullanılmak üzere üretilmiş olup istenilen ısı performansı verememişlerdir (Khudhair & Farid, 2004). 1990'lı yıllarda bina enerji tasarrufuna yönelik; mikrokapsül üretimi, çeşitli yapı malzemesi uygulaması gibi deneme çalışmalarına başlanmıştır. FDM'ler arasında binalarda pasif uygulama için en uygun erime noktasına sahip olanların yağ asitleri ve karışımları, tuz hidratları ve parafin olduğu tespit edilmiştir. Bunlar arasında yağ asitlerinin bina duvarlarından akabilme, tuz hidratlarının sıcak havada nemlenme ve suda çözünme gibi problemleri binalarda uygulanmalarını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple FDM'ler kapsül içine alınarak binalarda yapı malzemesi olarak kullanımına olanak sağlanmaktadır (Konuklu & Paksoy, 2011).

FDM'lerin binalarda yapı malzemesi olarak kullanılmasında; doğrudan birleştirme, daldırma, kapsülleme yöntemleri kullanılmaktadır (Hawes, 1991).

- Doğrudan birleştirme; sıvı, jel veya toz FDM'lerin harç, sıva gibi yapı malzemesiyle karıştırılarak kullanılması işlemidir.
- Daldırma; sıcak, erimiş FDM'nin içine daldırılan yapı malzemesinin boşluklarına sıvı FDM'nin emdirilerek soğumaya bırakılması işlemidir.
- Kapsülleme; FDM'nin tüp, panel veya küre gibi kapsül içine koyularak yapı malzemesi içine entegre edilmesi makrokapsülleme işlemi (Şekil 3.9), FDM'nin polimerik film ile kaplanarak mikroskobik kapsül içinde yapı malzemesine entegre edilmesi mikrokapsülleme işlemi (Şekil 3.8) olarak tanımlanmaktadır. 1nm (nanometre) ile 1mm arasında farklı boyutlarda kapsüller oluşturulabilir. Mikrokapsülleme katı halde bulunan FDM'nin faz değişimi sırasında kapsül içinde hacim değişikliğine imkan vererek sıvı halde yapı malzemesi olarak kullanılmasını ve yüzey alanı artacağından dolayı ısı geçişinin verimli olmasını sağlamaktadır (Konuklu, 2008).

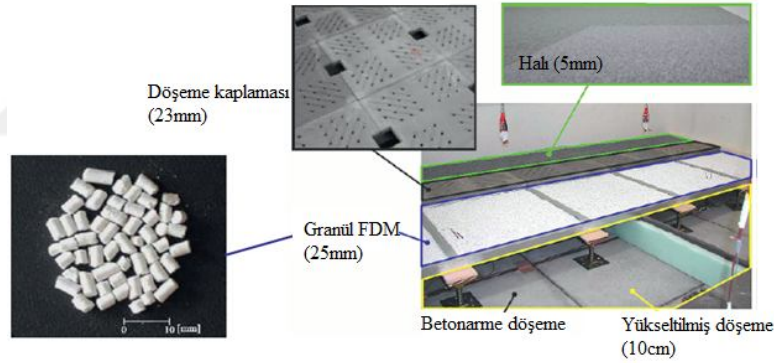


Şekil 3.8 : Toz ve sıvı haldeki mikrokapsülenmiş FDM.

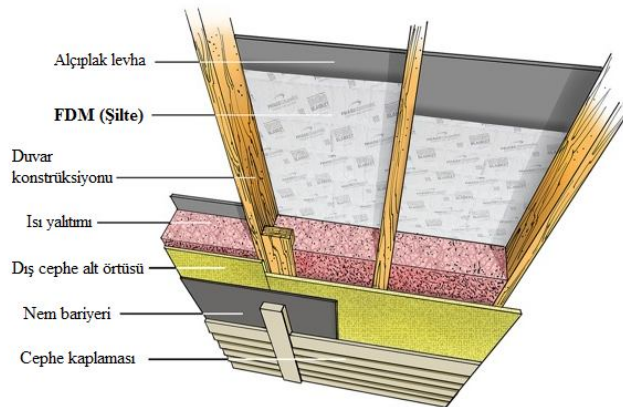


Şekil 3.9 : Mikro kapsüllenmiş FDM.

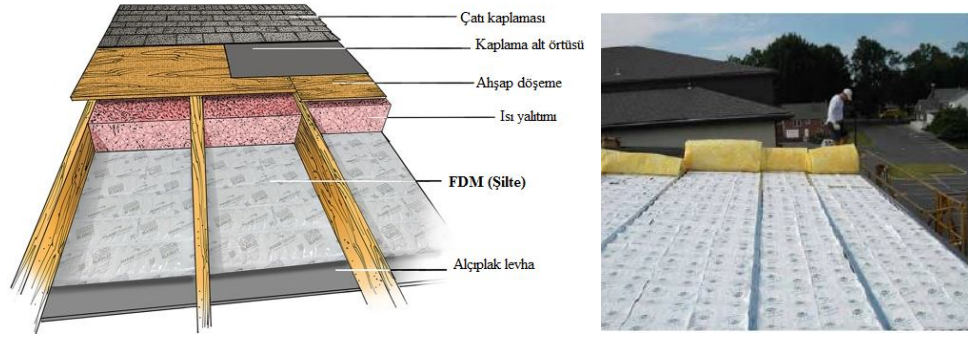
FDM'lerin binalarda kullanımı için piyasada bulunan ürünlerden mikrokapsüllenmiş olarak sıva uygulamaları tercih edilmekle beraber, makrokapsüllenmiş olarak şilte FDM'lerde sıklıkla kullanılmaktadır. Şilte FDM'ler, uygun detay çözümleriyle farklı şekillerde kullanım imkanına sahiptir. Dolayısıyla bu FDM'ler uygulama kolaylığı ile farklı yapı elemanlarında geniş kullanım alanına sahiptir. FDM'ler binalarda; döşemelerde, duvarlarda, asma tavan ve çatılarda kullanılabilmektedir. FDM'lerin farklı yapı elemanlarında kullanımına yönelik uygulama detayları aşağıda (Şekil 3.10-Şekil 3.13) gösterilmiştir.



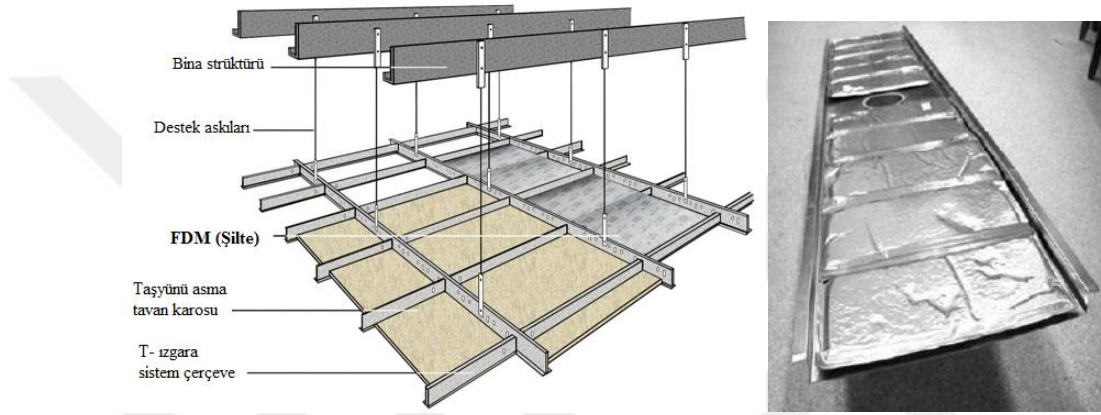
Şekil 3.10 : Yükseltilmiş döşemede granül FDM uygulama detayı (Mehling & Cabeza, 2008).



Şekil 3.11 : Duvarda şilte FDM uygulama detayı (Url-1, y.y.).



Şekil 3.12 : Çatıda şilte FDM uygulama detayı (Url-1, y.y.).



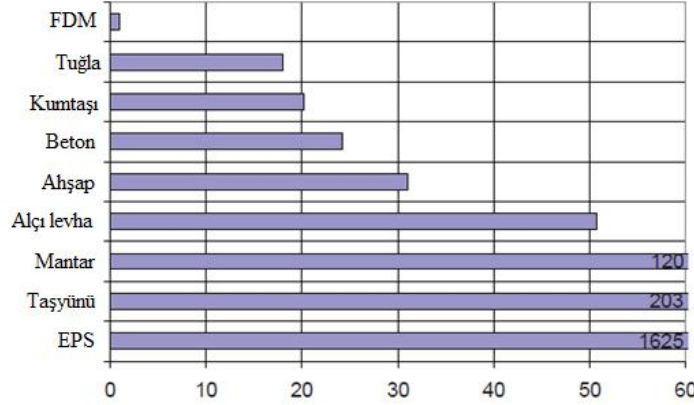
Şekil 3.13 : Asma tavanda şilte FDM uygulama detayı (Url-1, y.y.; Zalba, Marín, Cabeza, & Mehling, 2003).

3.3.4 Faz değiştiren malzemelerin binada kullanımıyla ilgili yapılmış çalışmalar

FDM'ler binalarda tavan, duvar, çatı, döşeme gibi yapı bileşenlerinde yapı elemanı veya yapı malzemesi olarak kullanılarak ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılmasına yardımcı olmaktadır. FDM'lerin farklı iklimlerde ısı performanslarının değerlendirilmesine, erime noktasına veya kabuktaki yerine bağlı olarak enerji tasarrufuna katkısının belirlenmesi yönünde farklı ülkelerden çeşitli araştırmacılar deneysel veya bilgisayarla benzetim çalışmaları yapmışlardır.

- Mehling ve Cabeza'nın (2008), FDM'nin sıcaklık kontrolündeki etkisini incelemek için yaptığı araştırmada; belirli sıcaklık aralığında FDM'nin çok fazla ısı depolayıp geri bırakabilme özelliğinden yola çıkılmıştır. Konfor sıcaklık aralığının 22-26°C olduğu bir ortamda, FDM'nin depoladığı ısı miktarının geleneksel malzemelere göre çok daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buna göre; Geleneksel malzeme yerine FDM kullanımı enerji tasarrufuna

katkıda bulunduğu gibi aynı zamanda duvar kalınlıklarından da tasarruf sağlamaya katkıda bulunabileceği sonucuna ulaşılmıştır. 1 cm kalınlığındaki FDM'nin depoladığı ısı miktarını depolamak için farklı yapı malzemelerinde olması gereken kalınlıklar Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14 : 1 cm kalınlığındaki FDM'nin depoladığı ısı miktarı kadar ısı depolamak için olması gereken yapı malzeme kalınlıkları (Mehling & Cabeza, 2008).

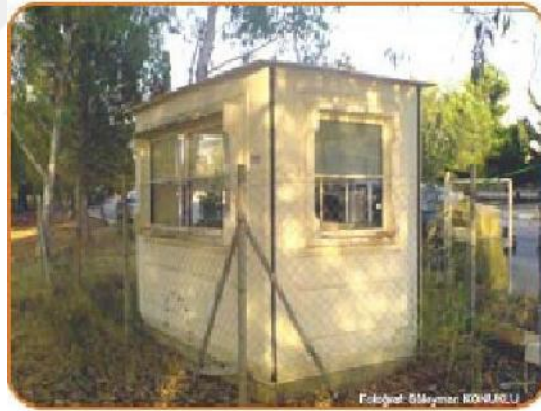
- Oak Ridge National Laboratory tarafından yapılan çalışmada geleneksel duvarların içine farklı oranlarda eklenen FDM'lerin termofiziksel özelliklerine bakılmıştır ve sonuçları Şekil 3.15'te belirtilmiştir.

Yapı malzemesi	Yoğunluk [kg/ m ³]	Özgül ısı [kJ/kg K]	İletkenlik W/m K	Gizli ısı [kJ/kg]
Geleneksel	696	1089	0,173	0
% 10 FDM	720	1215	0,187	19,3
% 16 FDM	760	1299	0,192	31,0
% 20 FDM	800	1341	0,204	38,9
% 30 FDM	998	1467	0,232	58,3

Şekil 3.15 : Geleneksel Duvardaki FDM'lerin Termofiziksel Özellikleri (Konuklu & Paksoy, 2011).

2006 yılında yapılan teorik çalışmada 43°C ve 28°C erime noktasına sahip FDM'nin iç ortam sıcaklığına etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak; Ocak ve Haziran ayı için yapılan testlerdeki iç ortam sıcaklığına katkı yapan FDM'nin erime noktası 28°C olan FDM olduğu tespit edilmiştir (Huang, Eames, & Hewitt, 2006)

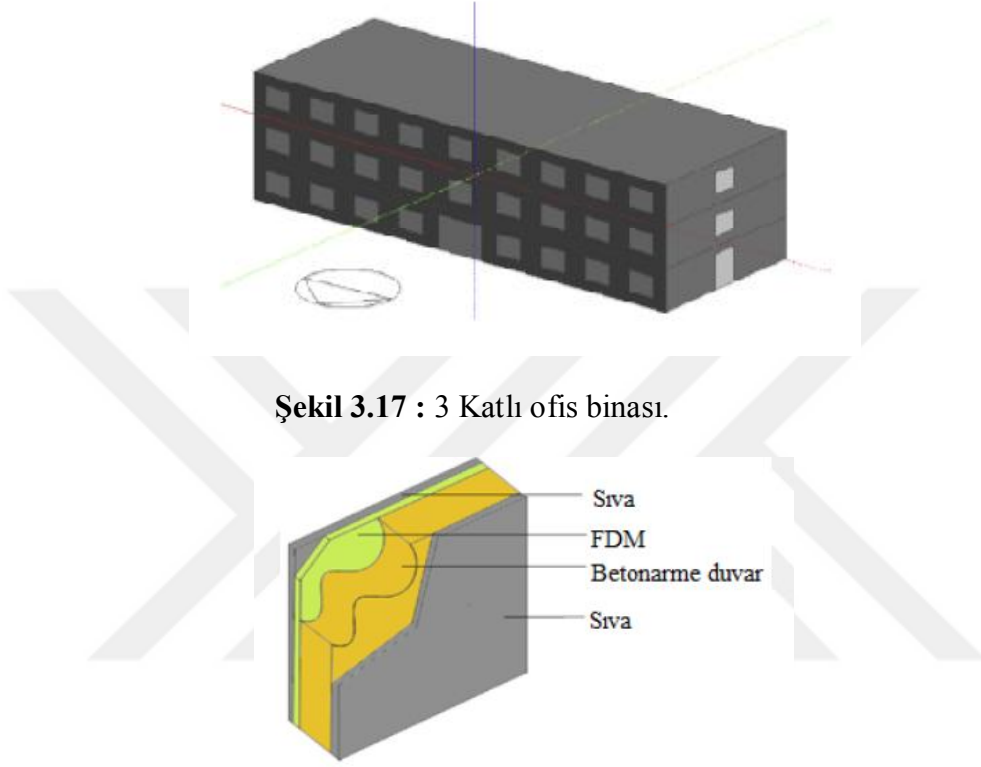
- Mikrokapsüllenmiş FDM'lerin kullanıldığı bir çalışmada 25°C erime noktasına sahip bir FDM bina uygulaması için seçilmiştir. Ofis binasında sıva ile karıştırılarak kullanılan FDM ile gündüz saatlerinde iç ortam sıcaklığının azaldığı, gece saatlerinde arttığı görülmüştür (Huang vd., 2006).
- Adana ilinde yapılan çalışmada, bir test odasının ısıtma ve soğutma yükünü azaltmak amacı ile mikrokapsüllenmiş FDM'ler kullanmıştır. Test odası olarak prefabrik kulübe (Şekil 3.16) seçilmiş, kullanılacak FDM olarak erime noktası 23°C ve 26°C olan Micronal marka FDM seçilmiştir. 5cm kalınlığında 30x35cm ebatlarındaki alüminyum folyo ile FDM'ler kaplanmıştır. Temmuz ayı için test kulübesi boş iken, yalnızca yalıtım malzemesi ile, yalnızca mikrokapsüllenmiş FDM ile ve mikrokapsüllenmiş FDM ile yalıtım birlikte olacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar boş test odası ile kıyaslandığında, mikrokapsüllenmiş FDM'lerin temmuz ayında soğutma yükünü %5-10, kış ısıtma yükünü %10-20 oranında azaltabileceği yönünde belirtilmiştir (Konuklu & Paksoy, 2011).



Şekil 3.16 : Test odası- prefabrik kulübe.

- Çin'de bir ofis binasının duvar katmanında kullanılan FDM'nin beş farklı iklim bölgesindeki enerji tasarrufuna etkisi için analiz yapılmıştır. Üç katlı ofis binasının güney ve batı cephesindeki duvar katmanına erime noktası 27°C olan FDM eklenmiş olup FDM Design Builder programı içinden seçilmiştir. Veriler Design Builder Programı'nda girilmiş, EnergyPlus Programı'nda Shenyang, Zhengzhou, Changsha, Kunming, Hong Kong şehirleri için hesaplamalar yapılmıştır. Modellemelerde ekonomik analiz, statik geri ödeme süresi, dinamik geri ödeme süresi verileri karşılaştırılmıştır. Buna göre; soğuk iklim bölgesi Shenyang enerji tasarrufu açısından en iyi

konumunda gözükmemektedir. Soğuk iklim bölgeleri olan Shenyang, Zhengzhou ve sıcak yaz ve soğuk kış iklim bölgesi olan Changsha önde gelen yüksek ekonomik değerde ve yatırım yapılabilir şeklinde gözükürken, Kunming ve Hong Kong için ekonomik fayda gözükmemektedir, dolayısıyla FDM için yatırım yapılması verimli olmamaktadır (Mi vd., 2016).

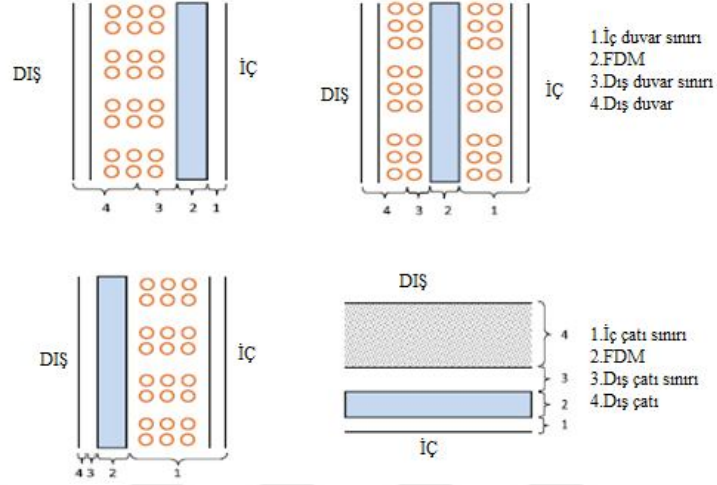


Şekil 3.17 : 3 Katlı ofis binası.

Şekil 3.18 : FDM'li duvar katman detayı.

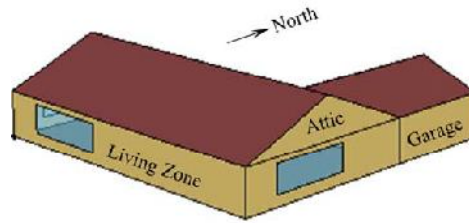
- Kıbrıs için yapılan başka bir çalışmada, çalışma modeli tipik konut olarak belirlenmiş, FDM kullanımında sağlanan enerji tasarrufu ve kombine yaşam döngüsü maliyeti (LCC) kullanılarak ekonomik değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. Çatıda ve duvarlarda farklı katmanlarda FDM kullanılarak oluşturulan seçenekler TRYNSIS Programı'nda modellenmiştir. FDM'nin erime sıcaklığı 29°C olarak belirlenmiş ve program kitaplığından 1270 tipi FDM seçilmiştir. İzolasyon yok-FDM yok, izolasyon yok-FDM var, izolasyon var-FDM yok ve izolasyon ve FDM birlikte var şeklinde farklı modeller yapılmıştır. Çıkan sonuçlarda; enerji tasarrufunun yılda en fazla 66,2% olduğu ve FDM kullanılan seçeneğin sıcaklık seviyesi açısından daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Yaşam döngüsü maliyeti kullanılarak yapılan ekonomik analize göre; FDM'nin geri ödeme süresi çok

uzun (14,5 yıl) olurken; yalıtım ile birlikte kullanıldığı durumda ise geri ödeme süresinin 7,5 yıla düştüğü sonucuna varılmıştır (Panayiotou, Kalogirou, & Tassou, 2016).



Şekil 3.19 : FDM'li duvar ve çatı katmanları.

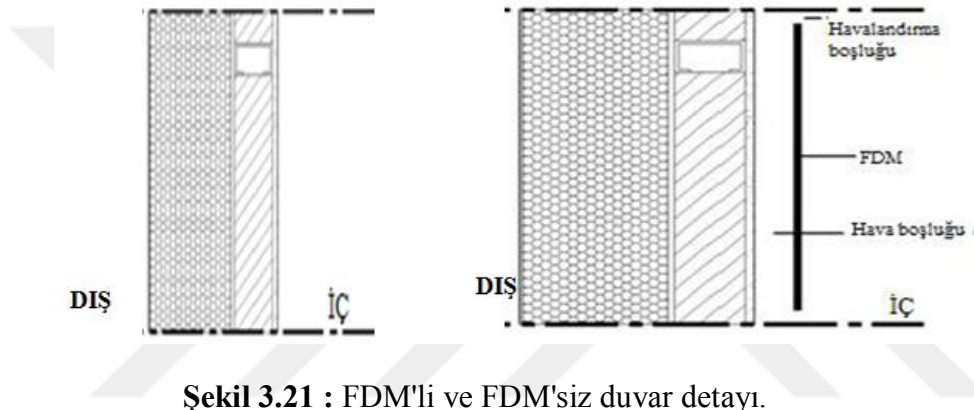
- Energy Plus modelleme programının örnek dosyasından seçilen tek katlı, müstakil aile evi kullanımındaki prototip San Antonio, Texas'ta olduğu varsayımıyla modellenmiştir. Enerji tasarrufu ve soğutma sistemi tepe yüklerini azaltmak amacıyla yapılan çalışmada; binanın çatısında 25°C ve güney duvarında 23°C erime sıcaklığına sahip FDM kullanılarak Energy Plus Programı'nda hesaplanmıştır. Bina kabuğu termal özellikleri, Uluslararası Enerji Tasarruf Yasası (IECC) 'na göre belirlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre, yıllık termal ısı talebindeki azalmada FDM performansının ısı akısındaki kadar belirgin olmadığı; ısıtma talebindeki indirgeme oranlarının 7,9% dan 54.34%' e ve soğutma talebindeki indirgeme oranlarının ise 1.2%' den 7.2%'e yükseldiği belirlenmiştir (Shen & Liu, 2016).



Şekil 3.20 : Tek katlı müstakil prototip.

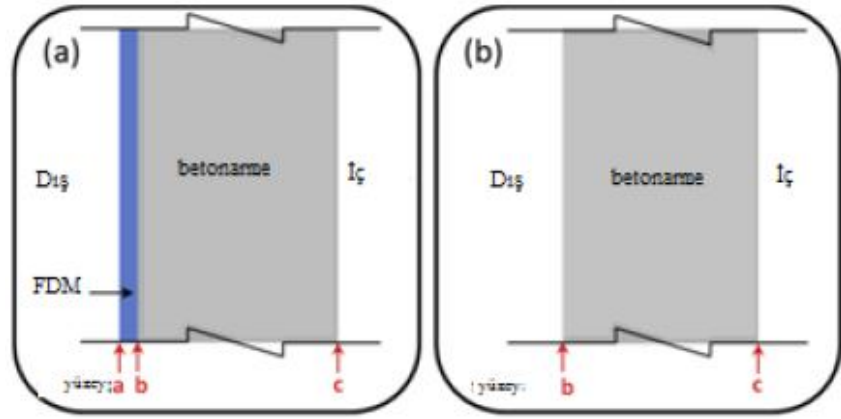
- İngiltere'de yapılan çalışmada; Londra şehrinde 3 odalı, 2 katlı müstakil konut Design Builder Programı ile modellenmiştir. Çalışmada optimum hava

boşluğuna karar verilmesi için 23°C, 25°C ve 27°C erime sıcaklığındaki ve 12, 24, 36, 48 ve 60 mm kalınlığındaki FDM'ler duvar önünde kullanılarak duvar ile arasında 15, 20, 25, 30 ve 35 mm'lik hava boşlukları uygulanmıştır. Oluşturulan FDM'li duvar seçenekleri FDM'siz duvar ile kıyaslanarak, FDM'nin soğutma yükü ve ısıl konfora etkisi araştırılmıştır. Mekanik havalandırma sistemi modellemede kullanılmamıştır. Çıkan sonuçlarda; 25 mm'lik hava boşluğu ve 48 mm'lik kalınlıktaki 25°C erime sıcaklığına sahip FDM uygulaması optimum sonuçları vermektedir (Sajjadian, Lewis, & Sharples, 2015).



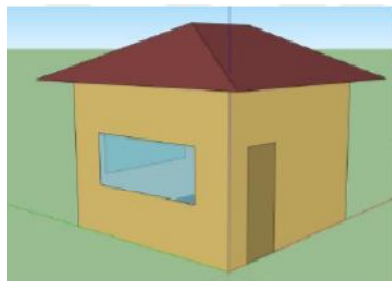
Şekil 3.21 : FDM'li ve FDM'siz duvar detayı.

- Isıtma ihtiyacının olmadığı, soğutma ihtiyacının olduğu Singapur İklim Bölgesi için yapılan çalışmada; 3mx3mx2.8 m kübik bir model oluşturularak 3 ile 20mm kalınlıkları arasında değişen FDM'lerin iç duvar ile dış duvar arasında çeşitli noktalara yerleştirilip Energy Plus Program'ında enerji analizleri yapılmıştır. Döşeme ve tavan sıcaklıkları 25°C sabit kabul edilerek yapılan analizlerde günlük ve yıllık ısı kazanımlarına bakılarak optimum FDM kalınlığı ve en uygun yer seçimi de değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlara göre; 10mm lik katı FDM kullanıldığı takdirde 4.5% ısı kazanımlarında kazanç olduğu, yıllık ısı kazanımlarına katkı oranları değerlendirildiğinde, FDM kullanımının yıl boyunca 21–32% lik bir katkı yaptığı görülmektedir. Bu iklim bölgesi için, FDM'lerin dış kabuğa yakın, ince kullanılmasının ve daha düşük erime sıcaklığına sahip olmasının daha etkin sonuçlar verdiği görülmüştür (Lei, Yang, & Yang, 2016).

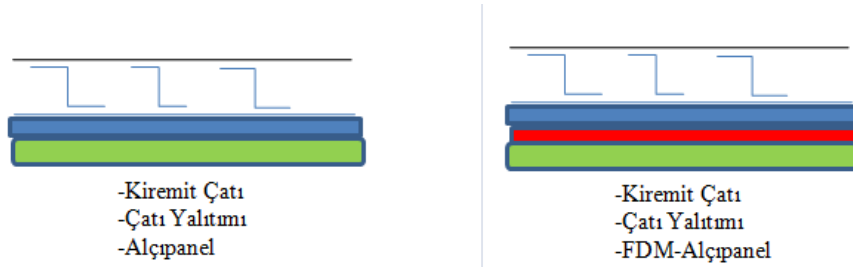


Şekil 3.22 : Dış yüzeyde FDM'li ve FDM'siz duvar detayı.

- Avustralya'da 8 farklı şehir (Adelaide, Brisbane, Canberra, Darwin, Hobart, Melbourne, Perth, Sydney) için yapılan çalışmada; 4m×4m×3m boyutlarında, 16 m² döşeme alanı olan kütle oluşturularak Energy Plus Programı'nda modellenmiştir. Modellemelerde FDM'li ve FDM'siz çatı katmanları oluşturulmuş olup tüm seçimler Avustralya Yapı Yönetmeliği (Building Codes of Australia -BCA) dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada, tüm şehirlerdeki yıllık enerji kazanım ve tüketim değerleri analizi yapılarak bir senelik ısı tespit ve FDM'nin iç hava sıcaklığına katkısı incelenmiştir. İnceleme sonucunda; FDM'nin soğuk iklim bölgesinde yaz döneminde, sıcak iklim bölgesinde ise kış mevsiminde etkin olduğu, Darwin şehrinde yıllık sıcaklığın belirli bir değerin altına düşmediği ve ısıtma ihtiyacının olmadığı görülmüştür. Ek olarak; Adelaide bölgesinin 22°C erime noktasına sahip FDM kullanıldığında en etkili sonuçları verdiği tespit edilirken, Brisbane bölgesinin 23°C erime noktasına sahip FDM ile en az verimi gösterdiği tespit edilmiştir (Alam, Jamil, Sanjayan, & Wilson, 2014).



Şekil 3.23 : 4m × 4m × 3m boyutlarında oluşturulan kütle.



Şekil 3.24 : FDM'siz ve FDM'li çatı katman detayı.

- Elazığ'da deneysel olarak yapılan çalışmada; 2 adet test odası inşa edilerek duvarların ısı yalıtım kabiliyetinin arttırılmasına yönelik duvarda ısı yalıtımına alternatif sağlamak amaçlanmıştır. Test odalarının duvarları tuğla ile örülmüş olup, odalarından biri FDM doldurulmuş polikarbonat şeffaf malzeme ile kaplanmıştır. FDM'li ve FDM'siz duvarla kaplı olan test odaları güneş ışınımına maruz bırakılarak yapılan deneyde, FDM eklenmiş duvarın FDM'siz duvardan daha iyi bir günlük ısı yalıtım etkisi sergilediği; dış hava sıcaklığının düştüğü geceleyin FDM eklenmiş duvarın iç ısının korunmasında daha efektif olduğu sonucuna varılmıştır (Çevik, 2012).



Şekil 3.25 : İnşa edilen test odaları (soldaki oda FDM ile kaplanmıştır).

Yapılan çalışmalar; inceleme yöntemlerine ve kullanılan programlara göre Bölüm 4.1.6'da Çizelge 4.9'da tablo olarak verilecektir. Bu çalışmalar doğrultusunda; 20°C ve yakın değerlerde erime noktasına sahip olan FDM'lerin bina uygulamalarında kullanılabilir olduğu ve erime noktası iç ortam sıcaklığına yakın değerlerde olan FDM'lerin binalarda kullanımının elverişli olduğu belirlenmiştir (Konuklu & Paksoy, 2011; Xu, Zhang, Lin, Di, & Yang, 2005).

4. FDM'LERİN DIŞ DUVARDA KULLANILMASINDA GÜNEŞ IŞINIMI ETKİSİNDEN YARARLANMANIN KATKISININ İNCELENMESİ

Bir ısı enerji depolama maddesi olan FDM'ler, çalışma prensibine göre sıcaklık farkından dolayı faz değiştirerek bünyesinde gizli ısıyı depolar ve gerektiğinde yine faz değiştirip eski haline dönerek ortama ısı verir. Buna göre, bina kabuğunda kullanılan FDM'lerin, gece-gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu şehirlerde daha verimli çalışacağı düşünülmektedir (Mi vd., 2016). Bununla beraber, FDM sıcaklığının artırılıp faz değiştirmesine olanak sağlaması için güneş ışınlamından da yararlanılabilir. Bu düşünceden hareketle, bu çalışmada gece-gündüz sıcaklık farkının az olduğu İzmir ilinde dış duvarda kullanılan FDM'lerin güneş ışınlamının da katkısıyla faz değiştirmesinin enerji verimliliğine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bina kabuğunda iç yüzeyde bulunan FDM'nin iç mekandaki sistemlerden (ısıtma-soğutma, pişirme ünitesi, TV vs.) gelen ve dış yüzeyden içeri iletilen ısıнын etkisi ile faz değiştirmesine imkan sağlanmaktadır. Bu çalışmada ise duvar dış yüzeyindeki FDM'nin doğrudan veya dolaylı şekilde aldığı güneş ışınlamının malzemenin faz değişimine imkan vererek bunun enerji performansına etkisi araştırılmıştır. İzmir ilinde yaz aylarında duvar dış yüzeyinde bulunan FDM'nin, güneş ışınlamının etkisiyle faz değiştirerek ısı enerjisini bünyesinde depolayacağı, böylece depolama görevi yanında aynı zamanda ısı kütlesi görevi de görerek yazın iç mekana fazla ısıyı iletmeyeceği ve iç mekan sıcaklıklarının çok fazla soğutma enerjisi harcamadan belirli bir değerde korunabileceği düşünülmüştür. Kış aylarında ise güneş ışınlamı etkisiyle FDM'nin, ısı enerjisini depolayacağı ve geceleri sıcaklık düştüğünde tersine tepkimeyle faz değiştirip bu fazla ısıyı geri vererek hem duvar yüzeyinin aşırı soğumasını engelleyeceği hem de iç mekan sıcaklığı için bir nevi ayar sıcaklığı değeri ile çalışan ısıtma sistemi gibi görev yapacağı düşünülmüştür. Bu fikirden yola çıkarak FDM'lerin güneş ışınlamının etkisiyle yaz aylarında soğutmaya, kış aylarında ise ısıtmaya katkıda bulunacağı varsayımıyla inceleme ve değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1 Çalışma Yöntemi

FDM’lerin dış duvarda kullanımının bina enerji harcamaları üzerindeki etkisinin tespiti için öncelikle İzmir ili için iklim özellikleri tespit edilmiş olup, bu özelliklere ve üretici firmalardan alınan teknik bilgilere göre, FDM seçimleri yapılmıştır. Devamında benzetim için çalışma modeli kurgulanarak beraberinde dış çevre kabulleri belirlenmiştir. Isıl geçirgenlik katsayıları ve ısı iletkenlik hesap değerleri dikkate alınarak modelin kabuk katmanlaşma detayları oluşturulmuş ve uygun sayısal hesaplama kabulleri belirlenmiştir. Seçilen DESIGN BUILDER enerji hesaplama programı ile oluşturulan senaryolar çalışılarak çıkan sonuçlar tablo ve grafiklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

4.1.1 İl seçimi ve iklim özelliklerini belirleme

FDM’lerin dış duvarda kullanımında güneş ışıının bina enerji verimliliğine katkısının değerlendirilmesi için bu çalışmada, güneşlenme sürelerinin fazla olması ve gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkının az olması istenmektedir. Bu özellikleri taşıyan sıcak-nemli iklim tipi seçilmiştir. Türkiye’de 5 iklim bölgesinden biri olan sıcak-nemli iklim bölgesi için çalışma modelinin İzmir ilinde olduğu kabulü yapılmıştır. Modellemede seçilen benzetim programı içinde bulunan İzmir iline ait 'epw' uzantılı iklim veri dosyası modellemede kullanılmıştır.

“TS 825 - BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI-Ocak 2013” standardında iklimsel özellikleri açısından iller için derece gün bölgeleri belirlenmiştir. İzmir ili bu standarda göre 1. derece gün iklim bölgesinde yer almaktadır.

4.1.2 İklim verilerine göre FDM seçeneklerini belirleme

İzmir ili iklim verilerine göre yaz aylarında gece-gündüz sıcaklık değerleri arasındaki fark azdır ve genellikle sıcaklıklar yüksek değerlerde ve güneşlenme süreleri uzundur. Dış duvarda güneş ışıının katkısının tespitinde FDM seçimi için öncelikle İzmir iline ait yaz aylarındaki gündüz ve akşam saatleri sıcaklıklarına bakılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan verilere göre, İzmir ili için ortalama en yüksek sıcaklık ve ortalama en düşük sıcaklık değerlerinin tüm yıl içinde en yüksek olduğu ay Temmuz ayıdır. Çizelge 4.1’e göre Temmuz ayı için ortalama en yüksek sıcaklık değeri 33.2°C, ortalama en düşük sıcaklık değeri 22.4°C’dir. Belirlenen bu sıcaklıklara göre farklı erime sıcaklıklarına sahip FDM seçimleri yapılmıştır. Güneş

ışınımının yüzey sıcaklıklarını arttıracak dikkate alınarak, güneş ışıının katkısını ölçebilmek için erime noktası, ortalama en yüksek hava sıcaklığından yüksek olan ($EN > 33$), ortalama en düşük hava sıcaklığından düşük olan ($EN < 22$) ve ortalama en yüksek sıcaklık ile ortalama en düşük sıcaklık arasında kalan ($22 \leq EN \leq 33$) FDM'ler belirlenmiştir. Bu hava sıcaklığı aralıklarına göre 21, 23, 29, 30, 35, 40°C erime noktasına sahip FDM'ler tercih edilmiştir.

Çizelge 4.1 : İzmir ili sıcaklık değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü).

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.7	9.5	11.6	15.8	20.8	25.5	28.0	27.6	23.6	18.7	14.1	10.4	17.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.4	13.6	16.2	20.9	26.1	30.7	33.2	32.9	29.1	23.9	18.5	14.0	22.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.7	6.2	7.6	11.1	15.4	19.8	22.4	22.3	18.6	14.5	10.7	7.5	13.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.3	5.2	6.4	7.9	9.8	11.6	12.3	11.9	10.1	7.6	5.6	4.2	96.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.6	10.8	9.3	7.9	5.4	2.2	0.4	0.5	2.0	5.4	8.8	12.7	78.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	132.7	102.2	76.1	45.4	31.1	9.9	1.7	2.9	13.6	43.8	92.9	143.1	695.4
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.4	27.0	30.5	32.5	37.6	41.3	42.6	43.0	40.1	36.0	30.3	25.2	43.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.2	-5.2	-3.8	0.6	4.3	9.5	15.4	11.5	10.0	3.6	-2.9	-4.7	-8.2

Üretici firmalardan FDM'ler ile ilgili kataloglar ve teknik dokümanlar talep edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda FDM'lerin üretiminde, faz değıştiren maddenin özelliğine göre malzemeyi saklama yöntemi de değışmektedir. Buna göre çeşitli firmalardan bina uygulamalarında kullanılabilir olanlardan 3 farklı çeşitte FDM seçimi yapılmıştır. Seçilen FDM çeşitlerinden Winco-tech Thermoconfort modeli iç sıva olarak, BioPCM ENRGBblanket modeli şilte olarak, Winco-tech Thermobox modeli alüminyum (AL) levha olarak kullanılmaktadır. Seçilen FDM'ler ve özellikleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

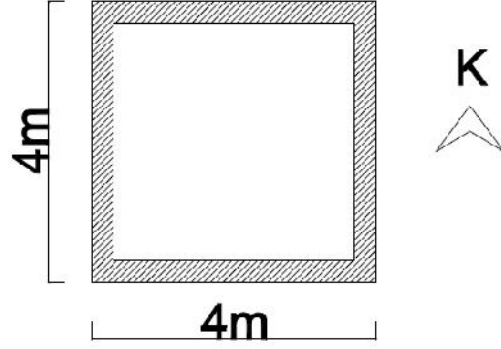
Çizelge 4.2 : Duvarda kullanım için seçilen FDM'ler ve termofiziksel özellikleri.

FDM Kodu	FDM Çesidi	FDM Marka-Model	EN (°C)	d (cm)	λ değeri (W/mK)	c (J/kgK)	Görsel
FS	FDM'li sıva	Winco- tech Thermoconfort	23	0,3	0,148	2500	
Sİ	Şilte	BioPCM ENRGBlanket	21 23 29	2	0,2	1970	
AL	AL levha	Winco- tech Thermobox	21 23 30 35 40	1,5	0,148	2000	

d: Malzeme kalınlığı λ : Isıl iletkenlik katsayısı c: Malzeme özgül ısısı

4.1.3 Çalışma modelini kurgulama ve dış çevre kabullerini belirleme

Bilgisayar programında sayısal hesaplaması yapılmak üzere 4m x 4m x 4m boyutlarında kompakt bir hacmin modeli oluşturulmuştur. Bu modelin kullanım tipi konut olarak belirlenmiştir ve tek kattan oluşmaktadır. Kompakt modelin çatısı düz çatı, döşemesi zemine oturan döşeme olarak kabul edilmiş olup, tek hacim ve tek zon olarak hesaplamalar yapılmıştır. Güneş ışınımının yapı yüzeyindeki etkisine ve FDM'lerin yöne bağlı etkinliklerine bakarken eşit miktarları kıyaslayabilmek için modelde pencere kullanılmamıştır. Modelde ısıtma-soğutma sistemi kullanıldığı varsayılmıştır. Fakat ısıtma-soğutma sisteminin etkilerinden bağımsız verileri ölçmek için bazı modellemelerde ısıtma-soğutma sistemi kapatılarak sonuçlar alınmıştır. Modelin dış çevre faktörlerinden bağımsız olarak performansının değerlendirilebilmesi için çevrede gölge etkisi yapan bina vb. unsur bulunmadığı ve arazinin düz olduğu kabulleri yapılmıştır. Tek hacimli konut modelinin planı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Tek hacimli kompakt çalışma modelinin planı
(Boyutlar:4mx4mx4m).

4.1.4 İklim verilerine göre çalışma modeli kabuk katmanlarını belirleme

TS-825 Standard'ında derece gün bölgelerine göre döşeme, duvar ve çatı için kabul edilebilecek en yüksek ısıl geçirgenlik katsayıları (U değerleri W/m^2K) belirtilmiştir. İzmir ilinin içinde olduğu 1. derece gün bölgesi için bu değerler Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : 1. Bölge için en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS- 825 Binalarda ısı yalıtım standardı).

Bölge	UD (W/m^2K)	UT(W/m^2K)	Ut (W/m^2K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70

UD: Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı
UT : Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı
Ut : Zemine oturan döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı

Faz değiştiren malzeme seçimi yapıldıktan sonra, Çizelge 4.3'teki değerlere göre, derece gün bölgesi için $U(W/m^2K)$ değerlerini sağlayacak şekilde duvar, çatı ve döşeme katmanları oluşturulmuştur. Katmanlardaki malzemeler TS-825 standardında verilen ısıl iletkenlik hesap değeri $\lambda(W/mK)$ dikkate alınarak seçilmiştir. Çalışma modeli için oluşturulan çatı, döşeme ve duvar katmanlaşma detayları sırasıyla Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.4 : Çatı katmanlaşma detayı.

Çatı Katmanları	d (cm)	λ (W/mK)	U (W/m ² K)
Çakıl	2,00	2,00	-
Su Yalıtımı	0,20	0,16	-
Eğim Şapı	5,00	1,40	-
Cam Yünü	5,00	0,036	-
Buhar Kesici	0,10	-	-
Betonarme Döşeme	12,00	0,16	-
Alçı Sıva	1,50	0,51	-
Toplam	25,8	-	0,42

d : Malzeme kalınlığı

λ : Isıl iletkenlik katsayısı

U : Isıl geçirgenlik katsayısı

*Katmanlar yukarıdan aşağıya doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.5 : Döşeme katmanlaşma detayı.

Döşeme Katmanları	d (cm)	λ (W/mK)	U (W/m ² K)
Ahşap Kaplama	0,50	0,14	-
Tesviye Betonu	3,00	1,40	-
Isı Yalıtımı	4,00	0,034	-
Su Yalıtımı	0,20	0,16	-
Grobeton	10	1,13	-
Blokaj	10	1,30	-
Toplam	27,70	-	0,62

d : Malzeme kalınlığı

λ : Isıl iletkenlik katsayısı

U : Isıl geçirgenlik katsayısı

*Katmanlar yukarıdan aşağıya doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.6 : Duvar katmanlaşma detayı.

Duvar Katmanları	d (cm)	λ (W/mK)	U (W/m ² K)
Dış Sıva	3,00	0,50	-
Gaz Beton	27,50	0,24	-
İç Sıva	2,25	0,35	-
Toplam	33,00	-	0,69

d : Malzeme kalınlığı

λ : Isıl iletkenlik katsayısı

U : Isıl geçirgenlik katsayısı

*Katmanlar dıştan içe doğru sıralanmıştır.

Dış duvarda FDM kullanımında güneş ışıınının bina enerji verimliliğine katkısının tespiti için dış duvar katmanlarında farklı çeşitlerde FDM'ler kullanılmış, çatı ve döşemede FDM kullanımı kapsam dışı bırakılmıştır. Oluşturulan FDM'li dış duvar

katmanlaşmalarının sonuçları, FDM'siz duvar katmanının sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için FDM'li duvarların ısı iletkenlik katsayıları FDM'siz duvarın ısı iletkenlik katsayısı ile eşitlenmiştir. Bu eşitleme FDM'li ve FDM'siz duvar katmanlarındaki sıva kalınlıkları değiştirilerek yapılmıştır. Böylece aynı ısı geçirgenliğe sahip ama farklı FDM'lerin kullanıldığı duvarlar kıyaslanarak FDM etkinliği tespit edilebilmiştir. Buna ek olarak; doğrudan güneş ışıının katkısının değerlendirilebilmesi için dış yüzeyde açıkta kullanılan şilte ve AL levha FDM'ler, dış yüzeyde sıva altında (iç yüzeydeki sıva kalınlığı ikiye bölünerek dış yüzeye FDM üzerine sıva eklenmiştir ve böylece U değeri sabit kalmıştır.) olacak şekilde katmanlar oluşturularak ayrıca hesaplamalar yapılmıştır.

Katmanlaşmalar oluşturulurken; günümüzde doğrudan bina dış yüzeyinde kullanılmaya uygun piyasaya sürülmüş FDM olmadığından, duvar iç yüzeyinde veya duvar içinde kullanılmaya uygun ürünlerin duvar dış yüzeyinde denenmesiyle farklı senaryolar oluşturulmuştur. FDM'nin kullanım yerine göre; duvar iç yüzeyinde, duvar dış yüzeyinde- açıkta, duvar dış yüzeyinde-sıva altında olmak üzere üç farklı durum çalışılmış ve FDM'nin katmanlaşma içindeki yerinin güneş ışıının katkısı açısından önemine bakılmıştır. FDM kalınlığı belirlenirken, sıva için üretici tarafından önerilen kullanım kalınlığı, diğerleri için mevcut ürünlerin kalınlıkları dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.7 : FDM'siz ve FDM'li duvar katmanlaşma detayları.

Duvar Kodu	Detay Çizimi	Kullanılan FDM Çeşidi	Kullanılan FDM'nin Yeri	Katmanlaşma Detayı			U değeri (W/m ² K)
				Malzeme	d (cm)	λ (W/mK)	
DU		—	—	Dış sıva	3	0,5	0,69
				Gazbeton	27,5	0,24	
				İç sıva	2,5	0,35	
				Toplam	33	-	
FS _{EN-iç}		FDM'li sıva	iç yüzey	Dış sıva	3	0,5	0,69
				Gazbeton	27,5	0,24	
				İç sıva	2	0,35	
				FDM	0,3	0,148	
				Toplam	32,8	-	
Sİ _{EN-iç}		Şilte	iç yüzey	Dış sıva	1,5	0,5	0,69
				Gazbeton	27,5	0,24	
				FDM	2	0,2	
				Toplam	31	-	
AL _{EN-iç}		AL levha	iç yüzey	Dış sıva	1,5	0,5	0,69
				Gazbeton	27,5	0,24	
				FDM	1,5	0,148	
				Toplam	30,5	-	
Sİ _{EN-dış}		Şilte	dış yüzey	FDM	2	0,2	0,69
				Gazbeton	27,5	0,24	
				İç sıva	1	0,35	
				Toplam	30,5	-	
AL _{EN-dış}		AL levha	dış yüzey	FDM	1,5	0,148	0,69
				Gazbeton	27,5	0,24	
				İç sıva	1	0,35	
				Toplam	30	-	
Sİ _{EN-sa}		Şilte	sıva altı-dış yüzey	Dış sıva	0,5	0,5	0,69
				FDM	2	0,2	
				Gazbeton	27,5	0,24	
				İç sıva	0,5	0,35	
				Toplam	30,5	-	
AL _{EN-sa}		AL levha	sıva altı-dış yüzey	Dış sıva	0,5	0,5	0,69
				FDM	1,5	0,148	
				Gazbeton	27,5	0,24	
				İç sıva	0,5	0,35	
				Toplam	30	-	

d: Malzeme kalınlığı

λ : Isıl iletkenlik katsayısı

U: Isıl geçirgenlik katsayısı

*Katmanlar dıştan içe doğrudur

 FDM'li sıva

 Şilte

 AL levha

4.1.5 Benzetim senaryolarının oluşturulması

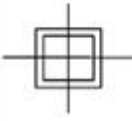
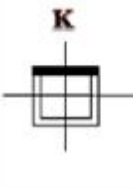
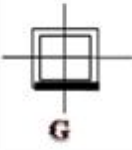
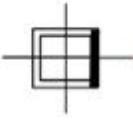
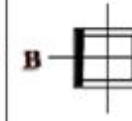
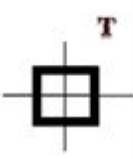
FDM'lerin dış duvarda kullanımında güneş ışınımının katkısının binanın enerji etkinliği açısından değerlendirilmesi için alternatif senaryolar belirlemede rol oynayan değişkenler aşağıda sıralanmıştır;

- FDM'nin katmanlaşma detayındaki yeri
- FDM'nin eşidi
- FDM'nin erime noktası
- FDM kullanılan cephenin yönü

Bu değişkenlere göre farklı senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. FDM'lerin gerçek üretimle örtüşmesi ve malzeme bilgilerinin ulaşılabilirliğine göre (FDM'ler günümüzde, binalarda kullanım için çok yeni bir malzeme olduğu ve henüz yaygın kullanımı olmadığı için firmalar bilgi vermek konusunda imtina etmektedir.) FDM seçimleri yapılmış ve senaryolar belirlenmiştir.

Oluşturulan farklı senaryolar ile EN'in FDM performansına etkisine bakılacaktır. Buna göre FDM performansını belirlemek için aynı U değerine sahip FDM'siz duvar ile iç sıva, şilte ve AL levha çeşitlerinin farklı erime noktalarına sahip FDM'lerle kombinasyonlu modellemeler oluşturulmuştur. Doğrudan güneş ışınımı katkısının FDM'nin katmanlaşmadaki yerine göre tespiti için FDM; duvar iç yüzeyde sıva, duvar dış yüzeyde açıkta ve dış yüzeyde sıva altı olarak modellenmiştir. Güneş ışınımının yöne bağlı etkisinin tespiti için de FDM'nin sırasıyla Kuzey, Güney, Doğu ve Batı yönlerinde ve tüm duvar yüzeylerinde bulunması durumları için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış olup FDM'siz duvar modellemesi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre oluşturulan senaryo alternatifleri izelge 4.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8 : FDM, EN, yer ve yönle göre duvar katmanlaşma çeşitleri ile oluşturulan senaryolar.

						
Kod	FDM'nin uygulanmadığı senaryo	FDM'nin kuzey yönünde uygulandığı senaryo	FDM'nin güney yönünde uygulandığı senaryo	FDM'nin doğu yönünde uygulandığı senaryo	FDM'nin batı yönünde uygulandığı senaryo	FDM'nin tüm yönlerde uygulandığı senaryo
DU	DU	—	—	—	—	—
FS _{23-ış}	—	FS _{23-ış/K}	FS _{23-ış/G}	FS _{23-ış/D}	FS _{23-ış/B}	FS _{23-ış/T}
SI _{21-ış}	—	SI _{21-ış/K}	SI _{21-ış/G}	SI _{21-ış/D}	SI _{21-ış/B}	SI _{21-ış/T}
SI _{23-ış}	—	SI _{23-ış/K}	SI _{23-ış/G}	SI _{23-ış/D}	SI _{23-ış/B}	SI _{23-ış/T}
SI _{29-ış}	—	SI _{29-ış/K}	SI _{29-ış/G}	SI _{29-ış/D}	SI _{29-ış/B}	SI _{29-ış/T}
AL _{21-ış}	—	AL _{21-ış/K}	AL _{21-ış/G}	AL _{21-ış/D}	AL _{21-ış/B}	AL _{21-ış/T}
AL _{23-ış}	—	AL _{23-ış/K}	AL _{23-ış/G}	AL _{23-ış/D}	AL _{23-ış/B}	AL _{23-ış/T}
AL _{30-ış}	—	AL _{30-ış/K}	AL _{30-ış/G}	AL _{30-ış/D}	AL _{30-ış/B}	AL _{30-ış/T}
AL _{35-ış}	—	AL _{35-ış/K}	AL _{35-ış/G}	AL _{35-ış/D}	AL _{35-ış/B}	AL _{35-ış/T}
AL _{40-ış}	—	AL _{40-ış/K}	AL _{40-ış/G}	AL _{40-ış/D}	AL _{40-ış/B}	AL _{40-ış/T}
SI _{21-dış}	—	SI _{21-dış/K}	SI _{21-dış/G}	SI _{21-dış/D}	SI _{21-dış/B}	SI _{21-dış/T}
SI _{23-dış}	—	SI _{23-dış/K}	SI _{23-dış/G}	SI _{23-dış/D}	SI _{23-dış/B}	SI _{23-dış/T}
SI _{29-dış}	—	SI _{29-dış/K}	SI _{29-dış/G}	SI _{29-dış/D}	SI _{29-dış/B}	SI _{29-dış/T}
AL _{21-dış}	—	AL _{21-dış/K}	AL _{21-dış/G}	AL _{21-dış/D}	AL _{21-dış/B}	AL _{21-dış/T}
AL _{23-dış}	—	AL _{23-dış/K}	AL _{23-dış/G}	AL _{23-dış/D}	AL _{23-dış/B}	AL _{23-dış/T}
AL _{30-dış}	—	AL _{30-dış/K}	AL _{30-dış/G}	AL _{30-dış/D}	AL _{30-dış/B}	AL _{30-dış/T}
AL _{35-dış}	—	AL _{35-dış/K}	AL _{35-dış/G}	AL _{35-dış/D}	AL _{35-dış/B}	AL _{35-dış/T}
AL _{40-dış}	—	AL _{40-dış/K}	AL _{40-dış/G}	AL _{40-dış/D}	AL _{40-dış/B}	AL _{40-dış/T}
SI _{21-sa}	—	SI _{21-sa/K}	SI _{21-sa/G}	SI _{21-sa/D}	SI _{21-sa/B}	SI _{21-sa/T}
SI _{23-sa}	—	SI _{23-sa/K}	SI _{23-sa/G}	SI _{23-sa/D}	SI _{23-sa/B}	SI _{23-sa/T}
SI _{29-sa}	—	SI _{29-sa/K}	SI _{29-sa/G}	SI _{29-sa/D}	SI _{29-sa/B}	SI _{29-sa/T}
AL _{21-sa}	—	AL _{21-sa/K}	AL _{21-sa/G}	AL _{21-sa/D}	AL _{21-sa/B}	AL _{21-sa/T}
AL _{23-sa}	—	AL _{23-sa/K}	AL _{23-sa/G}	AL _{23-sa/D}	AL _{23-sa/B}	AL _{23-sa/T}
AL _{30-sa}	—	AL _{30-sa/K}	AL _{30-sa/G}	AL _{30-sa/D}	AL _{30-sa/B}	AL _{30-sa/T}
AL _{35-sa}	—	AL _{35-sa/K}	AL _{35-sa/G}	AL _{35-sa/D}	AL _{35-sa/B}	AL _{35-sa/T}
AL _{40-sa}	—	AL _{40-sa/K}	AL _{40-sa/G}	AL _{40-sa/D}	AL _{40-sa/B}	AL _{40-sa/T}

FDM kullanılan senaryolarda; kodlamada ilk iki harf FDM çeşidini, alt indisteki ilk iki rakam FDM'nin erime noktasını göstermektedir. Erime noktasından sonra sırasıyla FDM'nin yeri ve yönü verilmektedir.

4.1.6 Benzetim programının seçimi

FDM'lerle ilgili bilgisayarlı hesaplama yöntemi ile yapılan çalışmalarda FDM'yi analiz edebilen Energy Plus (Shen & Liu, 2016), Design Builder (Mi vd., 2016), TRYNIS (Panayiotou, Kalogirou, & Tassou, 2016), Genopt (Shen & Liu, 2016) gibi çeşitli programlar kullanılmıştır. FDM'lerle ilgili yapılan bazı çalışmalar ve

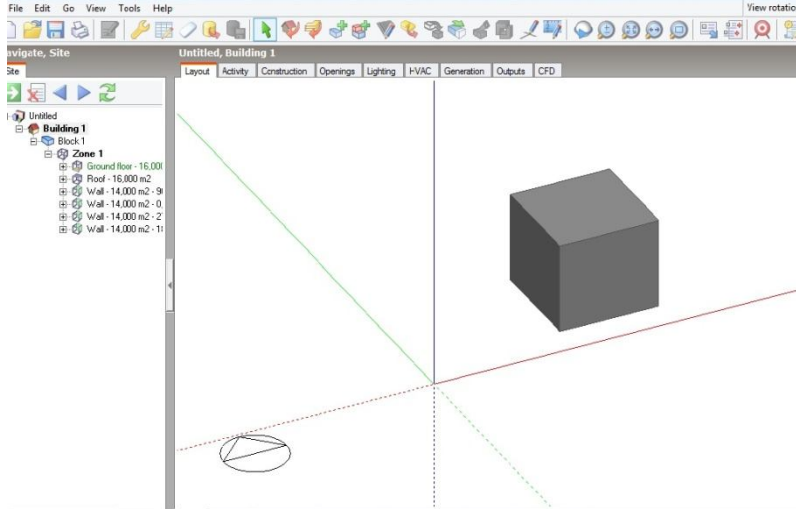
kullanılan programlar Çizelge 4.9’da belirtilmektedir. Bu çalışmada güneş ışıının FDM’lerin kullanımındaki etkisini modelleyebilmek için "Design Builder" programı tercih edilmiştir. Bu program “EnergyPlus” benzetim programı ile uyumlu çalışan bir arayüz programıdır. Dinamik hesaplama yöntemini kullanan Design Builder programında, FDM’lerin hesaplama dahil edilmesi için "sonlu fark (finite difference)" ile hesaplama yapılması gerekmektedir. Sonlu farklar algoritmasında; t_d ve t_i sıcaklıklarındaki iki ortamı ayıran, çeşitli katmanlardan oluşan, belirli kalınlıktaki opak bileşenin zaman bağılı ısı tansferi hesabı için Schmidt yöntemi kullanılmaktadır (Holman, 2002). Programda sonuçlar yıllık, aylık, günlük ve saatlik olarak grafik veya tablo halinde alınabilir.

Çizelge 4.9 : FDM’lerle yapılan çalışmalarda kullanılan programlar.

No	Çalışma	Proje Tipi	Yapı Elemanı	Program	Amaç
1	Çin’in 5 farklı iklim bölgesi	3 Katlı ofis binası	Güney ve Batı cepheleri-duvarda	Design Builder Energy Plus	Enerji tasarrufu
2	Kıbrıs	Tipik Konut	Çatıda Tuğla duvar katmanlarında farklı lokasyonlarda	TRYNSIS	Enerji tasarrufu ve kombine yaş döngüsü maliyeti (LCC) ile ekonomik değerlendirme
3	San Antonio, Texas	Prototip müstakil tek aile evi (energy plus örnek dosya)	Güney Duvarı Çatı	Energy Plus	Bina klima sisteminin tepe yükü azaltmak ve enerji tasarrufu
4	Singapur	3m x 3m x 2.8 m kübik model	Beton Duvar FDM’ siz Beton Duvar FDM’ li	Energy Plus	FDM’ in soğutma yükü ve enerji korunumuna etkisi
5	Avustralya 8 farklı şehir	4m x 4m x 3m kütle (16 m ² döşeme alanı)	Tavan FDM’ siz Tavan FDM’ li	Energy Plus V7.2	FDM’ nin enerji kazanımına etkisi
6	Ljubljana, Slovenia	Ofis hacmi: 28.2m ³	Kompozit duvar	TRYNSIS 15	Isıl kapasitesine göre farklı FDM’ lerin uygunluğunun belirlenmesi
7	Dişarbakır ve Erzurum	4x4x3 m kütle, model	Bina kabuğu- duvar	Design Builder	FDM’ nin enerji verimliliği üzerindeki etkisi
8	Uluslararası farklı iklim bölgeleri	Ashrae prototip apartman dairesi	Soğuk çatı uygulaması	Genopt	Bina enerji verimliliği ve termal konfor optimizasyonu
9	Elazığ	test odası x2	FDM’ li tuğla duvar FDM’ siz tuğla duvar	Deneyisel	FDM’ nin duvar ısı karakteristiği üzerindeki etkileri
10	Adana	test odası-prefabrik kulübe	İç mekan FDM’ siz yalıtımlı İç mekan FDM’ li İç mekan FDM+ısı yalıtımlı	Deneyisel	Isıtma soğutma yükünü azaltma

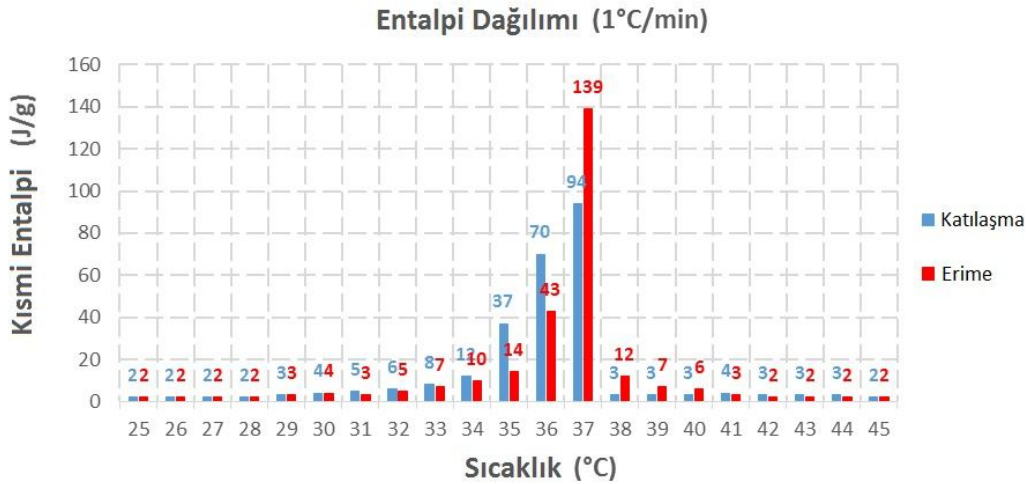
4.1.7 Benzetim modelinin hazırlanması ve şartların belirlenmesi

İzmir ilinde FDM’lerin dış duvarda kullanımında güneş ışıının katkısının bina enerji etkinliği açısından değerlendirilmesine yönelik çalışmada, Design Builder programında İzmir ili lokasyonu seçildikten sonra kurgulanan model 4mx 4mx 4m boyutlarında çizilmiştir. Programda oluşturulan model Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Design Builder Programında tanımlanan çalışma modeli.

Model çiziminden sonra İzmir ili iklimsel verilerine ve FDM seçimlerine göre oluşturulan katmanlaşmalar programda tanımlanmıştır. Bu katmanlar tanımlanırken Winco-tech FDM’li sıva ve BioPcm şilte FDM çeşitleri programın malzeme veritabanından seçilmiştir. Programda olmayan Winco-tech AL metal levha FDM çeşitleri de teknik dokümanlardan elde edilen malzeme özelliklerinin ve entalpi³ değerlerinin programa girilerek, yeni malzeme olarak tanımlanmasıyla katmanlaşmaya dahil edilmiştir. Winco-tech 35°C AL levha FDM’nin entalpi değişim grafiği Şekil 4.3’te ve Design Builder programında entalpi değerlerinin girildiği FDM tanımlama penceresi Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Winco-tech 35°C Al metal levha FDM’nin entalpi değişim grafiği.

³ Entalpi: Sistemin sabit basınç altındaki ısı değişimidir.

Point	Temperature (°C)	Enthalpy (J/kg)
Point 1	25,00	2000
Point 2	30,00	4000
Point 3	33,00	7000
Point 4	34,00	10000
Point 5	35,00	14000
Point 6	36,00	43000
Point 7	37,00	139000

Şekil 4.4 : Winco-tech 35°C Al metal levha FDM'nin entalpi değerlerinin girildiği malzeme tanımlama penceresi.

Isıtma sistemi olarak radyatörlü kazan sistemi seçilmiştir. Isıtma doğalgaz tüketimi ile, soğutma ise elektrik tüketimi ile sağlanacak şekilde tariflenmiştir. ASHRAE ve TS-825 Standartları gözönünde bulundurularak ısıtma için iç mekan sıcaklık değeri ve ayar sıcaklığı değeri⁴ sırasıyla 20-13°C ve soğutma için iç mekan sıcaklık değeri ve ayar sıcaklığı değeri sırasıyla 26-32°C olarak tanımlanmıştır. Mekanik sistemlerin çalışma tarifiesi konut kullanım tarifiesine göre ayarlanmıştır (tarifede sistemin 06:00-18:00 saat aralığında %100 verimle, diğer saatlerde %50 verimle çalıştığı kabulü yapılmıştır). Isıtma-soğutma sistemlerinin tanımlanmasında doğal havalandırma dahil edilmiş olup mekanik havalandırma etkileri ihmal edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda referans binaya ait kullanıcı ve mekanik sistemlerle ilgili kabul edilen tasarım değerleri Çizelge 4.10'da belirtilmiştir.

⁴ Ayar sıcaklığı değeri: iç mekan sıcaklığının belirlenen sınır değeri altına düştüğünde, iç mekan sıcaklığını belirli değerde tutmak için sistemin devreye girmesine imkan veren sınır değerdir.

Çizelge 4.10 : Referans bina modellemesinde kullanıcı ve mekanik sistem tasarım değerleri.

Kullanıcı sayısı:	1 kişi/ erkek	Isıtma sistemi:	kazanlı- radyatörlü ısıtma/ doğalgaz
Aktivite türü:	oturma	Isıtma için sıcaklık değeri:	20 °C
Kullanım takvimi:	tam zamanlı	Isıtma için ayar sıcaklığı değeri:	13 °C
Aydınlatma:	açık	Soğutma sistemi:	klima/ elektrik
Aydınlatma takvimi:	19:00-24:00	Soğutma için sıcaklık değeri:	26 °C
Doğal havalandırma Min. Taze hava:	2,5 l/s-kşi	Soğutma için ayar sıcaklığı değeri:	32 °C

Referans binaya ait kullanıcı ve mekanik sistem tasarım değerleri belirlendikten sonra, farklı senaryolarda modellemeler yapılmıştır. Güneşin gün içindeki hareketinden dolayı güneş ışınlarının geliş açısı günün saatlerine göre değişmektedir. Bu sebeple güneş ışıını şiddeti yönle göre de değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda güneş ışıının katkısının dış duvarda kullanılan FDM performansına etkisini tespit etmek için yıllık ve günlük olarak tüm modellemeler yapılmıştır. Tüm bu hesaplamalar ısıtma-soğutma sistemi açık olarak yapılmış olup, güneş ışıının bina enerji verimliliği açısından katkısına mekanik sistemden bağımsız olarak bakmak için ısıtma- soğutma sistemi kapalı iken ayrıca hesaplamalar yapılmıştır. İlk olarak FDM'nin bina enerji verimliliğine etkisi açısından yıllık enerji ihtiyaçlarına bakılmıştır. Oluşturulan senaryolar ayrı ayrı modellenerek binanın yıllık enerji ihtiyacı belirlenmiş ve kıyaslamalar yapılmıştır. Sonrasında İzmir İli'ne ait iklim verilerinden yıl içindeki ısıtmanın en çok istendiği gün, soğutmanın en çok istendiği gün, güneş ışıını şiddetinin en yüksek olduğu gün ve güneş ışıının en düşük olduğu gün tespit edilerek bu günlere göre senaryolar modellenmiştir. Çıkan sonuçlarda belirlenen günlerdeki iç mekan ve iç yüzey sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Modellemelerde elde edilen sonuçlar Bölüm 4.2'de tartışılmıştır.

4.2 Benzetim Bulguları Ve Tartışma

Bu çalışmada dış duvarda kullanılan FDM'lerin yazın güneş ışıınımı nedeniyle oluşan fazla ısıyı bünyesinde depolayarak soğutma yükünü azaltması yanında, kışın da güneş ışıınımı etkisiyle depoladığı enerjiyi kullanarak ısıtma yükünü azaltması ile enerji verimliliğine katkıda bulunması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, FDM'nin katmandaki yerine, çeşidine, erime sıcaklığına ve bulunduğu yönlere göre güneş ışıınımı etkisiyle bina enerji verimliliğine yapacağı katkıyı incelemek üzere oluşturulan senaryolar, iklimlendirme sistemi açık ve kapalı iken modellenmiş ve sonuçları, FDM'siz duvar katmanı ile oluşturulan senaryonun sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

İklimlendirme sistem açıkken yapılan hesaplamalarda; yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı [kWh], ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh] ve toplam enerji ihtiyacı [kWh] değerleri belirlenmiş ve bina enerji verimliliği açısından oluşturulan senaryoların karşılaştırmaları yapılmıştır. Oluşturulan senaryolar sonucunda alınan ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaç değerleri Çizelge 4.11'de belirtilmiştir. İlave olarak, güneş ışıınımı katkısının FDM'nin mevsim geçişlerindeki performansına etkisinin incelenmesi için, tüm yüzeylerde uygulanan senaryolarda en verimli ve en verimsiz ilk üç senaryo belirlenip; aylara göre ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının dağılımı da çıkarılarak aylık güneş ışıınım miktarları da dikkate alınarak tartışılmıştır.

FDM kullanılan dış duvarlarda güneş ışıınınının etkisini irdelemek amacıyla ek olarak; yıl içinde ısıtmanın ve soğutmanın en çok istendiği günler ile güneş ışıınım şiddetinin en yüksek ve en düşük olduğu günlerde ısıtma- soğutma sisteminin çalışmadığı varsayılarak modellemeler yapılmıştır. Çıkan sonuçlarda, iç hava sıcaklığı (°C), dış hava sıcaklığı (°C) ve operatif sıcaklık (°C) değerlerine bakılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda verimli gözüken senaryolardan seçimler yapılarak bunların iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları (°C) da ayrıca incelenmiştir.

Çizelge 4.11 : Analiz edilen senaryoların yıllık soğutma, ısıtma ve toplam enerji ihtiyaçları.

	DU			K			G			D			B			T		
	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ
DU	232,45	313,07	545,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FS _{23-iç}	-	-	-	232,52	312,32	544,84	232,55	312,41	544,96	232,52	312,47	544,99	232,63	312,40	545,03	232,27	310,95	543,22
SI _{21-iç}	-	-	-	231,60	310,27	541,87	231,13	310,59	541,72	231,59	310,20	541,79	230,75	310,47	541,22	227,77	302,98	530,75
SI _{23-iç}	-	-	-	231,28	310,40	541,68	230,90	310,91	541,81	231,38	310,38	541,76	230,63	310,60	541,23	227,46	303,45	530,91
SI _{29-iç}	-	-	-	238,61	310,59	549,20	239,09	311,06	550,15	239,76	310,69	550,45	238,47	310,87	549,34	255,34	304,44	559,78
AL _{21-iç}	-	-	-	233,16	310,65	543,81	233,00	310,24	543,24	233,05	310,42	543,47	232,63	310,56	543,19	235,03	303,14	538,17
AL _{23-iç}	-	-	-	231,98	311,49	543,47	231,83	311,80	543,63	232,11	311,66	543,77	231,61	311,62	543,23	232,89	307,65	540,54
AL _{30-iç}	-	-	-	235,91	311,48	547,39	236,50	311,66	548,16	236,87	311,53	548,40	236,22	311,65	547,87	244,70	307,62	552,32
AL _{35-iç}	-	-	-	232,95	311,44	544,39	232,89	311,69	544,58	233,31	311,40	544,71	232,83	311,72	544,55	234,96	307,80	542,76
AL _{40-iç}	-	-	-	233,08	311,50	544,58	232,93	311,67	544,60	233,21	311,51	544,72	232,63	311,73	544,36	235,26	307,76	543,02
SI _{21-dış}	-	-	-	211,12	326,52	537,64	189,48	365,86	555,34	182,02	341,89	523,91	191,82	338,62	530,44	96,15	442,35	538,50
SI _{23-dış}	-	-	-	211,44	326,47	537,91	190,06	366,04	556,10	182,43	341,74	524,17	192,45	338,60	531,05	97,42	442,16	539,58
SI _{29-dış}	-	-	-	211,36	326,45	537,81	189,89	366,00	555,89	182,38	341,70	524,08	192,14	338,74	530,88	100,16	442,20	542,36
AL _{21-dış}	-	-	-	211,42	326,33	537,75	189,97	365,81	555,78	182,20	341,61	523,81	192,15	338,48	530,63	97,07	441,11	538,18
AL _{23-dış}	-	-	-	212,28	326,36	538,64	190,96	365,84	556,80	183,21	341,59	524,80	193,27	338,54	531,81	100,83	441,05	541,88
AL _{30-dış}	-	-	-	210,86	326,19	537,05	189,31	365,69	555,00	181,97	341,67	523,64	191,77	338,36	530,13	98,50	441,07	539,57
AL _{35-dış}	-	-	-	209,73	326,26	535,99	188,28	365,71	553,99	180,92	341,66	522,58	190,40	338,47	528,87	94,34	441,22	535,56
AL _{40-dış}	-	-	-	209,77	326,13	535,90	188,13	365,75	553,88	180,83	341,70	522,53	190,32	338,47	528,79	94,26	441,09	535,35
SI _{21-sa}	-	-	-	233,62	311,28	544,90	233,59	311,18	544,77	234,08	311,64	545,72	233,03	311,56	544,59	236,73	307,05	543,78
SI _{23-sa}	-	-	-	233,96	311,44	545,40	233,78	311,25	545,03	234,28	311,69	545,97	233,26	311,70	544,96	238,15	307,39	545,54
SI _{29-sa}	-	-	-	235,14	311,44	546,58	235,69	311,80	547,49	235,80	311,66	547,46	235,19	311,85	547,04	244,83	307,84	552,67
AL _{21-sa}	-	-	-	233,99	311,24	545,23	234,08	310,30	544,38	234,55	311,36	545,91	233,73	310,88	544,61	239,36	305,17	544,53
AL _{23-sa}	-	-	-	235,23	311,28	546,51	235,41	310,95	546,36	235,49	311,30	546,79	234,98	311,28	546,26	243,88	306,09	549,97
AL _{30-sa}	-	-	-	234,71	311,23	545,94	236,90	311,24	548,14	236,84	311,29	548,13	237,21	311,28	548,49	248,79	306,53	555,32
AL _{35-sa}	-	-	-	233,18	311,37	544,55	234,46	311,41	545,87	233,77	311,25	545,02	235,70	311,37	547,07	240,34	306,76	547,10
AL _{40-sa}	-	-	-	233,06	311,25	544,31	232,95	311,41	544,36	232,96	311,27	544,23	233,41	311,33	544,74	235,61	306,66	542,27

SEİ: Soğutma Enerji İhtiyacı [kWh] IEİ: Isıtma Enerji İhtiyacı [kWh] TEİ: Toplam Enerji İhtiyacı [kWh]

4.2.1 FDM'nin duvar kesitinde kullanıldığı yerin performansa etkisi

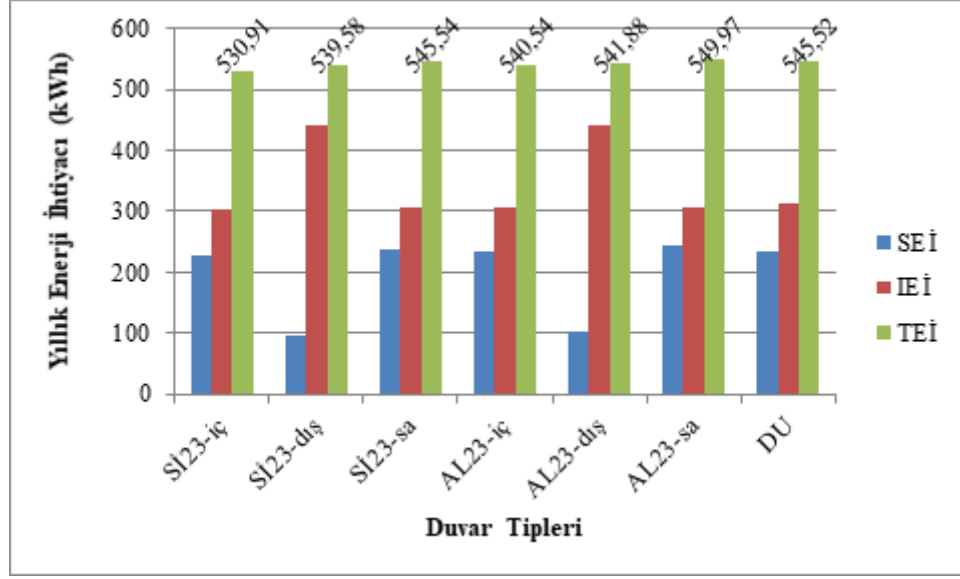
FDM'nin duvar kesitindeki yerinin performansa etkisinin incelenmesi amacıyla, seçilen FDM'lerin duvar dış yüzeyinde, iç yüzeyinde ve dış sıva altında kullanımında ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Etkinin değerlendirilebilmesi için, aynı erime sıcaklığına sahip aynı tür FDM'nin aynı yöne bakan duvarda içte, dışta ve sıva altında kullanımındaki ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Örneğin 21 °C erime sıcaklığına sahip şilte FDM'nin doğu yönüne bakan duvarda içte, dışta ve dış sıva altında kullanımındaki enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük enerji gerektiren seçenekler belirlenmiştir. Yalnızca içeride kullanımı değerlendirilen FS hariç, incelenen tüm FDM'lerde yapılan benzeri analizlerin birlikte değerlendirilmesi ve FDM kullanılmayan örneklerle karşılaştırılması ile aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yalnızca soğutma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; FDM'li duvarın baktığı yönden bağımsız olarak tüm seçeneklerde, FDM'nin dış yüzeyde kullanımının en iyi sonucu verdiği, sıva altında kullanımının ise en kötü sonucu verdiği görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; Sİ için tüm sıva altı uygulamalarında ve erime sıcaklığı 29°C olan FDM'nin içte uygulanmasında, AL için erime sıcaklığı 23°C olan FDM'nin çoğu yönde içte kullanımı hariç olmak üzere tüm içte ve sıva altı uygulamalarda, FDM'siz duvara nazaran daha yüksek soğutma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. FDM'lerin dış yüzeyde kullanımında ise, DU'ya nazaran daha düşük soğutma enerjisi gerektiği görülmüştür.
- Yalnızca ısıtma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; yine FDM'nin kullanıldığı duvarın baktığı yönden bağımsız olarak tüm dışta uygulamaların en kötü sonucu verdiği görülmüştür. En iyi sonucu ise, erime sıcaklığı 21°C ve 23°C olan AL ile tüm erime sıcaklıklarındaki Sİ'nin içte kullanımı vermiştir. Erime sıcaklığı 29°C ve yukarı olan AL uygulamalarında ise, sıva altında kullanımda en iyi sonucun elde edildiği görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; dıştaki tüm uygulamalarda FDM'siz duvara nazaran daha yüksek ısıtma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. İçte ve sıva altı uygulamalarda,

miktarları değişmekle birlikte gerekli ısıtma enerjisi FDM'siz duvarinkine nazaran daha azdır.

- Toplam enerji ihtiyacı ele alındığında; tüm yönlere bakan duvarlarda FDM kullanıldığında erime sıcaklığı 21°C ve 23°C olan FDM'lerde içte uygulamanın en iyi, sıva altı uygulamanın en kötü olduğu, erime sıcaklığı 29°C ve üzeri FDM'lerde ise tam tersine dışta uygulamanın en iyi, sıva altı uygulamanın ise en kötü olduğu görülmüştür. İyi olan tüm uygulamalardaki enerji ihtiyacı da FDM'siz duvarinkinden daha düşüktür. Yalnızca bir yöne bakan duvara FDM uygulanan senaryolarda ise; güney yönü hariç tüm yönlerde en iyi sonucu dışa yapılan FDM uygulamasının, en kötü sonucu ise sıklıkla sıva altı uygulamasının verdiği görülmüştür. Güneye bakan duvarda ise; en kötü sonuç hep dıştaki uygulamalarda iken, en iyi sonucu erime sıcaklığı 21°C ve 23°C olan FDM'lerde içteki uygulamada, daha yüksek erime sıcaklığı olan FDM'lerde ise sıklıkla sıva altındaki uygulamalarda elde edildiği görülmüştür. Yine güney yönü hariç olmak üzere, tüm en iyi uygulamalarda toplam enerji ihtiyacı FDM'siz duvardakine nazaran daha düşüktür. Güneyde ise, erime sıcaklığı 29°C ve 30°C olan FDM kullanılan senaryolar dışındaki senaryoların toplam enerji ihtiyacı FDM'sizdekinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar birarada değerlendirildiğinde; incelenen FDM türleri ile sınırlı olmak üzere; yalnızca soğutma döneminde kullanılan yazlık türü konut binalarında FDM'nin erime sıcaklığından bağımsız olarak dışta kullanımının; yalnızca ısıtma döneminde kullanılan konutlarda ise, erime sıcaklıkları 21°C ve 23°C olan FDM'lerin içte, daha yüksek olanların (erime sıcaklığı 29°C olan Sİ hariç) sıva altında kullanımının bina enerji verimliliğine değişen oranlarda katkı sağlayacağı söylenebilir. Tüm yıl boyunca kullanılan, diğer bir anlatımla hem ısıtma hem de soğutma yapılan konutlarda ise; tüm duvarlarda FDM uygulanması düşünüldüğünde 21°C ve 23°C erime sıcaklığı olan FDM'lerin içte, daha yüksek olanların sıva altında kullanılmasının, tek bir yönde FDM kullanılması düşünülüyorsa da güney hariç olmak üzere diğer yönlerde FDM'nin dışta kullanılmasının binanın enerji verimliliğine değişen oranlarda katkı sağlayacağı söylenebilir. Tüm yönlere uygulanan seçeneklerin; duvar katmanında farklı yerlerde kullanımındaki performansları Şekil 4.5'te örneklenmiştir.



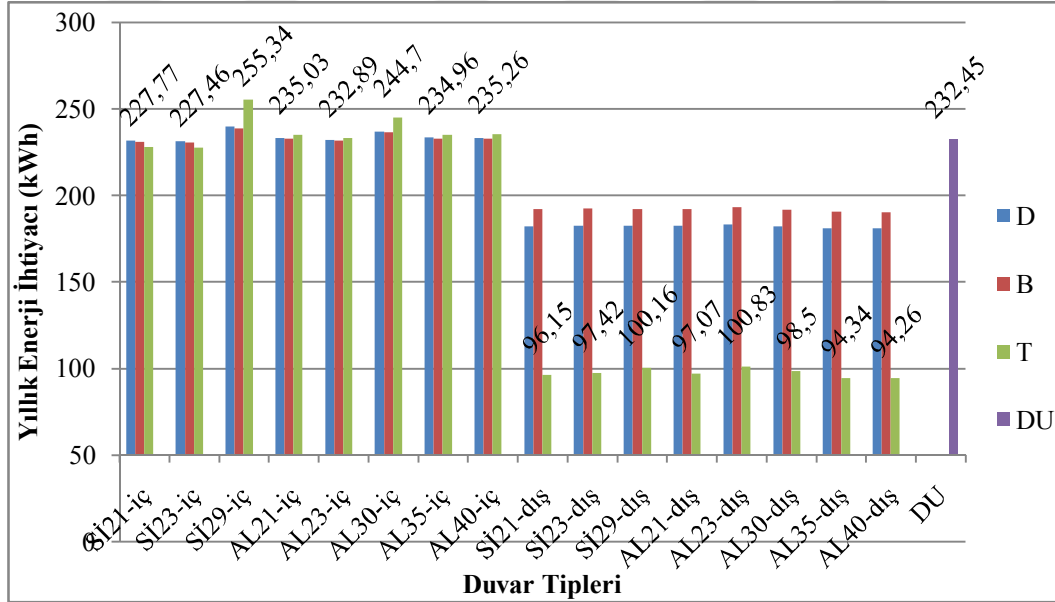
Şekil 4.5 : FDM'lerin katmanlaşmadaki yerine göre yıllık enerji ihtiyaçları grafiği.

4.2.2 FDM erime sıcaklığının performansa etkisi

FDM'nin erime sıcaklığının performansa etkisinin incelenmesi amacıyla, seçilen 21°C, 23°C, 29°C, 30°C, 35°C ve 40°C erime sıcaklıklarına sahip Sİ ve AL FDM'lerin kullanımında ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı benzetimle belirlenmiştir. Etkinin değerlendirilebilmesi için, farklı erime sıcaklığına sahip aynı tür FDM'nin aynı yöne bakan duvarda katmanlaşmada aynı yerde kullanımındaki ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Örneğin doğu yönüne bakan duvarda içte kullanılan 21°C, 23°C, 29°C erime sıcaklıklarına sahip şilte veya yine doğu yönüne bakan duvarda içte kullanılan 21°C, 23°C, 30°C, 35°C ve 40°C erime sıcaklıklarına sahip AL levha FDM'lerin enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük enerji gerektiren erime sıcaklıkları belirlenmiş ve erime sıcaklığın değişimi ile verimdeki değişim irdelenmiştir. Erime sıcaklığı açısından FS'den tek bir çeşit olduğu için değerlendirmeye dahil edilmemiş olup, incelenen tüm FDM'lerde yapılan benzeri analizlerin birlikte değerlendirilmesi ve FDM kullanılmayan örnekle karşılaştırılması ile aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yalnızca soğutma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; tek yönde uygulanan, dışta olan AL ve Sİ FDM'lerden 23°C erime sıcaklığındakilerin en kötü sonucu verdiği; erime sıcaklığı 40°C ve 21°C olan AL levha ile Sİ FDM'nin ise en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Diğer taraftan içte olan AL ve Sİ

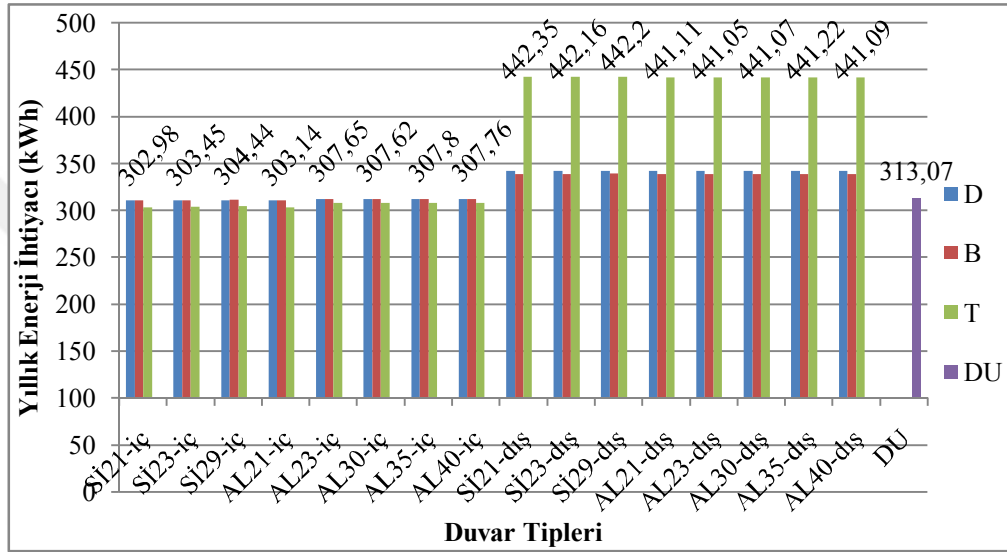
FDM'lerden 23°C erime sıcaklığındakilerin tam tersi en iyi sonucu verdiği; erime sıcaklığı 30°C ve 29°C olan AL levha ile Sİ FDM'nin ise en kötü sonucu verdiği görölmüşür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; dışta uygulanan Sİ ve AL FDM'lerin tüm erime sıcaklıkları ile içte uygulanan 21°C Sİ, 23°C Sİ ve AL FDM'lerle oluşturulan senaryolarda yönden bağımsız olarak FDM'siz duvara nazaran daha az soğutma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. İçte 23°C AL hariç tüm yönere uygulanan FDM'lerin FDM'siz duvara nazaran daha az soğutma enerjisi gerektirdiği; bununla beraber soğutma enerjisi ihtiyacının azaltılmasında dışta 40°C AL FDM'nin en iyi, içte ise 29°C Sİ'nin en kötü performansı gösterdiği belirlenmiştir. FDM'nin erime sıcaklığına bağlı olarak alınan soğutma enerjisi ihtiyacı grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : FDM'nin erime sıcaklığına göre yıllık soğutma enerjisi grafiği.

- Yalnızca ısıtma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; erime sıcaklığının FDM performansına etkisinin yöne bağlı değişkenlik gösterebildiği görölmüşür; örneğin dışta olan 23°C AL ve 29°C Sİ FDM'nin doğuda en iyi, batıda ise en kötü sonucu verdiği belirlenmiştir. İçte ve sıva altında uygulanan tüm Sİ FDM'lerin kullanıldığđı senaryolara bakıldığında, sıva altında kuzey yön uygulama hariç erime sıcaklığının artmasıyla ayrı ayrı tüm yönlerde verimliliğin azaldığđı belirlenmiştir. Dışta uygulanan tüm Sİ FDM'lerin kullanıldığđı senaryolarda ise, erime sıcaklığının artmasıyla kuzey ve doğu yönünde; dışta uygulanan tüm AL FDM'lerin kullanıldığđı senaryolarda ise,

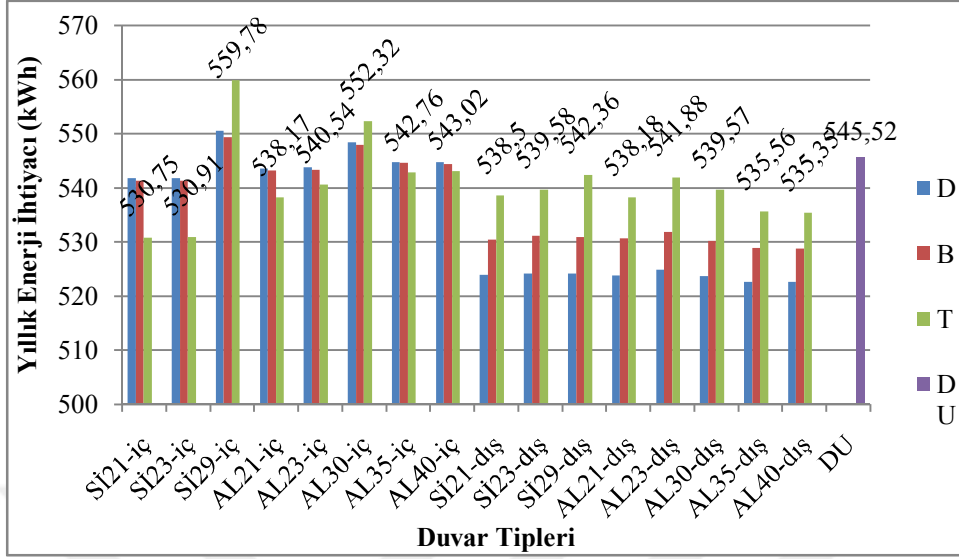
erime sıcaklığının artmasıyla doğu yönünde verimliliğin azaldığı görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; içte ve sıva altında uygulanan Sİ ve AL FDM'lerin tüm erime sıcaklıklarının yönden bağımsız olarak FDM'siz duvara nazaran daha az; dışta uygulananların ise daha fazla ısıtma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. Isıtma enerjisi ihtiyacının azaltılmasında 21°C Sİ FDM'nin içte kullanımının en iyi, dışta kullanımının ise en kötü performansı gösterdiği belirlenmiştir. FDM'nin erime sıcaklığına bağlı olarak alınan ısıtma enerjisi ihtiyacı grafiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : FDM'nin erime sıcaklığına göre yıllık ısıtma enerjisi grafiği.

- Toplam enerji ihtiyacı ele alındığında; tek yönde uygulanan, dışta olan AL ve Sİ FDM'lerden 23°C erime sıcaklığındakilerin en kötü sonucu verdiği; erime sıcaklığı 40°C AL levha ile erime sıcaklığı olan 21°C olan Sİ FDM'lerin ise en iyi sonucu verdiği görülmüştür. AL levha FDM'nin dışta uygulanmasında erime sıcaklığı arttıkça çoğu zaman verimliliğin arttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan soğutma enerji ihtiyacındaki sonuçlardan farklı olarak içteki uygulamalarda, 21°C erime sıcaklığındaki AL FDM'nin en iyi sonucu verdiği; erime sıcaklığı 30°C ve 29°C olan AL levha ile Sİ FDM'nin ise en kötü sonucu verdiği görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; içte ve sıva altında uygulanan 29°C ve 30°C erime sıcaklıklarındaki Sİ ve AL FDM'lerin yönden bağımsız olarak FDM'siz duvara nazaran toplam enerji ihtiyacının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Toplam enerji ihtiyacının azaltılmasında içte uygulanan Sİ FDM'lerde erime sıcaklığı arttıkça verimlilik azalmaktadır ve 21°C erime sıcaklığındakinin en iyi; 29°C erime sıcaklığındakinin ise en

kötü performansı gösterdiği belirlenmiştir. FDM'nin erime sıcaklığına bağlı olarak alınan toplam enerji ihtiyacı grafiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : FDM'nin erime sıcaklığına göre yıllık toplam enerji grafiği.

Bu sonuçlar birarada değerlendirildiğinde; incelenen FDM türleri ve erime sıcaklıkları ile sınırlı olmak üzere; erime sıcaklıklarının değişimi ile enerji ihtiyacı miktarlarının değişimi arasında her zaman doğrudan bir ilişki olmadığı görülmüştür. Örneğin; dışta tüm yönlerde uygulanan AL levha FDM'lerde toplam enerji ihtiyacı erime sıcaklığı arttıkça genel olarak azalmakla birlikte, 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'nin enerji ihtiyacının 21°C erime sıcaklığına sahip olandan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, genel gözlem olarak AL FDM'lerin dışta doğu yönünde ve içteki uygulamalarda erime sıcaklıkları arttıkça soğutma enerjisi ihtiyacının arttığı, toplam enerji ihtiyacının ise azaldığı, dolayısıyla verimliliğin arttığı söylenebilir. Dıştaki uygulamalarda ise erime sıcaklığı arttıkça çoğu durumda soğutma enerjisi ihtiyacı azalmakta, fakat ısıtma enerjisi ihtiyacı ise artmaktadır. Erime sıcaklığı değişimi ile enerji ihtiyacı değişimi arasında çok kesin bir ilişki bulunmaması nedeniyle, kullanılacak FDM belirlenirken farklı erime sıcaklıkları için hem ısıtma hem soğutma hem de toplam enerji ihtiyacının belirlenerek elde edilen sonuçlara bağlı olarak erime sıcaklığı seçimi yapılması önem kazanmaktadır.

4.2.3 FDM kullanılan duvarın yönünün performansa etkisi

FDM kullanılan duvarın yönünün performansa etkisinin incelenmesi amacıyla, seçilen FDM'lerin farklı yönlerde kullanımında ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacı benzetimle belirlenmiştir. Etkinin değerlendirilebilmesi için, aynı erime sıcaklığına

sahip aynı tür FDM'nin duvar kesitinde aynı yerde kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde ayrı ayrı kullanımındaki ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Örneğin dış yüzeyde uygulanan 40°C erime sıcaklığına sahip AL levha FDM'nin sırasıyla kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde kullanımındaki enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük enerji gerektiren seçenekler belirlenmiştir. İncelenen tüm FDM'lerde yapılan benzeri analizlerin birlikte değerlendirilmesi ve FDM kullanılmayan örneklerle karşılaştırılması ile aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

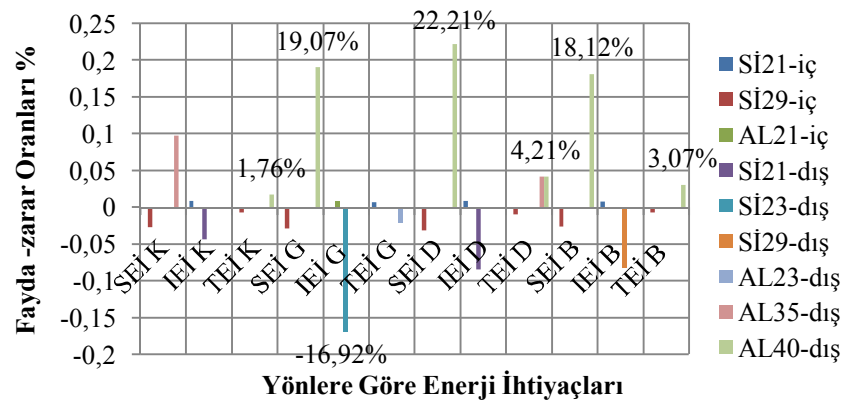
- Yalnızca soğutma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; FDM'nin erime sıcaklığından bağımsız olarak tüm dışta kullanılan Sİ ve AL seçeneklerinde doğu yönünde kullanımının en iyi sonuçları verdiği, kuzey yönünde kullanımında ise en kötü sonuçları verdiği görülmüştür. Buna ek olarak, 21°C erime sıcaklığına sahip Sİ ve AL hariç olmak üzere, dışta uygulanan diğer Sİ ve AL FDM senaryolarında, erime sıcaklığının artmasıyla doğu, güney ve batı yönlerinde verimliliğin de arttığı belirlenmiştir. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; tüm farklı yönlerdeki dış Sİ ve AL uygulamalarının FDM'siz duvara nazaran daha az soğutma enerjisi gerektiği görülmüştür. 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip AL FDM'nin farklı yönlerde kullanımı hariç olmak üzere sıva altı uygulanan tüm Sİ ve AL FDM'lerin kullanıldığı senaryolarda, erime sıcaklığının artmasıyla ayrı ayrı tüm yönlerde verimliliğin arttığı görülmüştür. 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip Sİ ile 23°C erime sıcaklığına sahip AL hariç olmak üzere tüm sıva altı ve içte kullanılan Sİ, AL ve FS FDM'lerin ayrı yönlerde uygulamasıda ise daha fazla soğutma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. Bunların hepsinin FDM'siz duvarla karşılaştırılması sonucu her bir yöne göre oluşturulan tüm senaryolar içinde, soğutma enerjisi ihtiyacının azaltılmasında 40°C erime sıcaklığına sahip dışta uygulanan AL FDM'nin kuzey yön hariç sırasıyla doğu, güney, batı yönlerinin en iyi performansı verdiği; 29°C erime sıcaklığına sahip içte uygulanan Sİ FDM'nin ise sırasıyla doğu, güney, kuzey ve batı yönlerinin en kötü performansı verdiği görülmüştür.
- Yalnızca ısıtma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; içte kullanılan FDM'lerde, 29°C erime sıcaklığına sahip Sİ hariç tüm Sİ'ler ile 35°C ve 40°C erime sıcaklığına AL FDM'nin doğu yönünde kullanımının en verimli olduğu

görülmüştür. 29°C erime sıcaklığına sahip Sİ ile 23°C ve 30°C erime sıcaklığına sahip AL'nin ise kuzey yönünde kullanımının en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. bunlardan 35°C ve 40°C erime sıcaklığına sahip AL'nin batı yönünde, diğerlerinin ise güney yönünde en kötü sonucu verdiği belirlenmiştir. dış yüzeyde kullanılan 29°C erime sıcaklığındaki Sİ FDM'nin kullanımının doğu yönünde en iyi sonucu verdiği, batıda ise en kötü sonucu verdiği görülmüştür. Sıva altında uygulanan FDM'lere bakıldığında, 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip Sİ ve AL güney yönünden en iyi sonucu verirken, doğu yönünde en kötü sonucu verdiği; buna karşın 35°C ve 40°C erime sıcaklığına sahip AL'nin ise tam tersi doğu yönünde en iyi sonucu verirken, güney yönünde en kötü sonucu verdiği görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; Sİ ve AL'nin tüm farklı yönlerdeki içte ve sıva altındaki uygulamalarında FDM'siz duvara nazaran daha az ısıtma enerjisi gerektiği; dışta kullanılan tüm farklı yönlerdeki Sİ ve AL FDM seçeneklerinde ise daha fazla ısıtma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. Bunların hepsinin FDM'siz duvara göre değerlendirilmesi sonucu her bir yöne göre oluşturulan tüm senaryolar içinde, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılmasında 21°C erime sıcaklığına sahip içte uygulanan Sİ FDM'nin sırasıyla doğu, kuzey, batı, güney yönlerinin en iyi performansı verdiği; 23°C erime sıcaklığına sahip dışta uygulanan Sİ FDM'nin güney yönünde kullanımının ise en kötü performansı verdiği gözlenmiştir.

- Toplam enerji ihtiyacı ele alındığında; iç yüzeyde kullanılan ve pozitif katkı sağlayan, 35°C erime sıcaklığına sahip AL hariç, tüm Sİ ve AL FDM'lerin batı yönünde kullanımının en iyi sonuçları verdiği, dışta uygulanan tüm seçeneklerde ise doğu yönünün en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Bununla beraber içte kullanılan 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip Sİ ve AL ile 35°C ve 40°C erime sıcaklığına sahip AL FDM'nin her bir yönde kullanımının en iyi sonuçları verirken, 29°C erime sıcaklığına sahip Sİ ile 30°C erime sıcaklığına sahip AL'nin ise en kötü sonuçları verdiği; diğer taraftan sıva altı uygulamalarda sadece 40°C erime sıcaklığına sahip AL FDM'nin her bir yönde verimli olduğu, 29°C erime sıcaklığına sahip Sİ ile 23°C ve 30°C erime sıcaklığına sahip AL FDM'nin ise verimsiz olduğu ve 23°C erime sıcaklığına sahip AL hariç diğer ikisi ve bunların dış

uygulamalarının da en verimsiz sonucunun kuzey yönde olduğu belirlenmiştir. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; tüm farklı yönlerdeki dıştan Sİ ve AL uygulamaları arasında güney yöndekilerin toplam enerji ihtiyacının FDM'siz duvara nazaran daha fazla olduğu; diğer yönlerde ise daha az olduğu belirlenmiştir. Bunların hepsinin FDM'siz duvara göre değerlendirilmesi sonucu her bir yöne göre oluşturulan tüm senaryolar içinde, toplam enerji ihtiyacının azaltılmasında 40°C erime sıcaklığına sahip dışta uygulanan AL FDM'nin doğu yönde en iyi performansı verdiği; 23°C erime sıcaklığına sahip dışta uygulanan AL FDM'nin ise güney yönde en kötü performansı verdiği görülmüştür.

Bu sonuçlar birarada değerlendirildiğinde; incelenen FDM türleri ile sınırlı olmak üzere; yalnızca soğutma döneminde kullanılan yazlık türü konut binalarında FDM'nin erime sıcaklığından bağımsız olarak dışta uygulandığı senaryolar için doğu yönünde; yalnızca ısıtma döneminde kullanılan konutlarda ise, içte ve sıva altında uygulandığı senaryolar için doğu ve kuzey yönünde kullanımının bina enerji verimliliğine en yüksek oranlarda katkı sağlayacağı söylenebilir. Tüm yıl boyunca kullanılan, diğer bir anlatımla hem ısıtma hem de soğutma yapılan konutlarda ise; FDM'nin içte uygulandığı senaryolar için batı, dışta uygulandığı senaryolar içinse doğu yönünde kullanımının bina enerji verimliliğine en yüksek oranlarda katkı sağlarken, güney yönde kullanımının verimsiz olacağı söylenebilir. FDM'nin yöne bağlı olarak belirlenen fayda-zarar oranları Çizelge 4.12'de verilmiştir. Bu çizelgeden her bir yöndeki ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçlarının en yüksek ve en düşük verimli olduğu senaryolar belirlenmiş, FDM'nin yöne bağlı performans grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir



Şekil 4.9 : FDM'nin yöne bağlı performans grafiği.

Çizelge 4.12 : FDM performansının yöne bağlı fayda-zarar oranları.

	K			G			D			B			T		
	SEİ %	IEİ %	TEİ %	SEİ %	IEİ %	TEİ %	SEİ %	IEİ %	TEİ %	SEİ %	IEİ %	TEİ %	SEİ %	IEİ %	TEİ %
FS _{23-iç}	-0,03%	0,24%	0,12%	-0,04%	0,21%	0,10%	-0,03%	0,19%	0,10%	-0,08%	0,21%	0,09%	0,08%	0,68%	0,42%
SI _{21-iç}	0,37%	0,89%	0,67%	0,57%	0,79%	0,70%	0,37%	0,93%	0,68%	0,73%	0,83%	0,79%	2,01%	3,22%	2,71%
SI _{23-iç}	0,50%	0,85%	0,70%	0,67%	0,69%	0,68%	0,46%	0,87%	0,69%	0,78%	0,79%	0,79%	2,15%	3,07%	2,68%
SI _{29-iç}	-2,65%	0,79%	-0,67%	-2,86%	0,64%	-0,85%	-3,14%	0,77%	-0,90%	-2,59%	0,70%	-0,70%	-9,85%	2,76%	-2,61%
AL _{21-iç}	-0,31%	0,77%	0,31%	-0,24%	0,90%	0,42%	-0,26%	0,85%	0,38%	-0,08%	0,80%	0,43%	-1,11%	3,17%	1,35%
AL _{23-iç}	0,20%	0,50%	0,38%	0,27%	0,41%	0,35%	0,15%	0,45%	0,32%	0,36%	0,46%	0,42%	-0,19%	1,73%	0,91%
AL _{30-iç}	-1,49%	0,51%	-0,34%	-1,74%	0,45%	-0,48%	-1,90%	0,49%	-0,53%	-1,62%	0,45%	-0,43%	-5,27%	1,74%	-1,25%
AL _{35-iç}	-0,22%	0,52%	0,21%	-0,19%	0,44%	0,17%	-0,37%	0,54%	0,15%	-0,16%	0,43%	0,18%	-1,08%	1,68%	0,51%
AL _{40-iç}	-0,27%	0,50%	0,17%	-0,21%	0,45%	0,17%	-0,33%	0,50%	0,15%	-0,08%	0,43%	0,21%	-1,21%	1,70%	0,46%
SI _{21-dış}	9,18%	-4,30%	1,44%	18,49%	-16,86%	-1,80%	21,69%	-8,43%	3,96%	17,48%	-8,16%	2,76%	58,64%	-41,29%	1,29%
SI _{23-dış}	9,04%	-4,28%	1,39%	18,24%	-16,92%	-1,94%	21,52%	-8,39%	3,91%	17,21%	-8,15%	2,65%	58,09%	-41,23%	1,09%
SI _{29-dış}	9,07%	-4,27%	1,41%	18,31%	-16,91%	-1,90%	21,54%	-8,38%	3,93%	17,34%	-8,20%	2,68%	56,91%	-41,25%	0,58%
AL _{21-dış}	9,05%	-4,24%	1,42%	18,27%	-16,85%	-1,88%	21,62%	-8,35%	3,98%	17,34%	-8,12%	2,73%	58,24%	-40,90%	1,35%
AL _{23-dış}	8,68%	-4,25%	1,26%	17,85%	-16,86%	-2,07%	21,18%	-8,35%	3,80%	16,86%	-8,14%	2,51%	56,62%	-40,88%	0,67%
AL _{30-dış}	9,29%	-4,19%	1,55%	18,56%	-16,81%	-1,74%	21,72%	-8,37%	4,01%	17,50%	-8,08%	2,82%	57,63%	-40,89%	1,09%
AL _{35-dış}	9,77%	-4,21%	1,75%	19,00%	-16,81%	-1,55%	22,17%	-8,37%	4,21%	18,09%	-8,11%	3,05%	59,41%	-40,93%	1,83%
AL _{40-dış}	9,76%	-4,17%	1,76%	19,07%	-16,83%	-1,53%	22,21%	-8,38%	4,21%	18,12%	-8,11%	3,07%	59,45%	-40,89%	1,86%
SI _{21-sa}	-0,50%	0,57%	0,11%	-0,49%	0,60%	0,14%	-0,70%	0,46%	-0,04%	-0,25%	0,48%	0,17%	-1,84%	1,92%	0,32%
SI _{23-sa}	-0,65%	0,52%	0,02%	-0,57%	0,58%	0,09%	-0,79%	0,44%	-0,08%	-0,35%	0,44%	0,10%	-2,45%	1,81%	0,00%
SI _{29-sa}	-1,16%	0,52%	-0,19%	-1,39%	0,41%	-0,36%	-1,44%	0,45%	-0,36%	-1,18%	0,39%	-0,28%	-5,33%	1,67%	-1,31%
AL _{21-sa}	-0,66%	0,58%	0,05%	-0,70%	0,88%	0,21%	-0,90%	0,55%	-0,07%	-0,55%	0,70%	0,17%	-2,97%	2,52%	0,18%
AL _{23-sa}	-1,20%	0,57%	-0,18%	-1,27%	0,68%	-0,15%	-1,31%	0,57%	-0,23%	-1,09%	0,57%	-0,14%	-4,92%	2,23%	-0,82%
AL _{30-sa}	-0,97%	0,59%	-0,08%	-1,91%	0,58%	-0,48%	-1,89%	0,57%	-0,48%	-2,05%	0,57%	-0,54%	-7,03%	2,09%	-1,80%
AL _{35-sa}	-0,31%	0,54%	0,18%	-0,86%	0,53%	-0,06%	-0,57%	0,58%	0,09%	-1,40%	0,54%	-0,28%	-3,39%	2,02%	-0,29%

SEİ: Soğutma Enerji İhtiyacı [%] IEİ: Isıtma Enerji İhtiyacı [%] TEİ: Toplam Enerji İhtiyacı [%]

4.2.4 FDM ürün türünün performansa etkisi

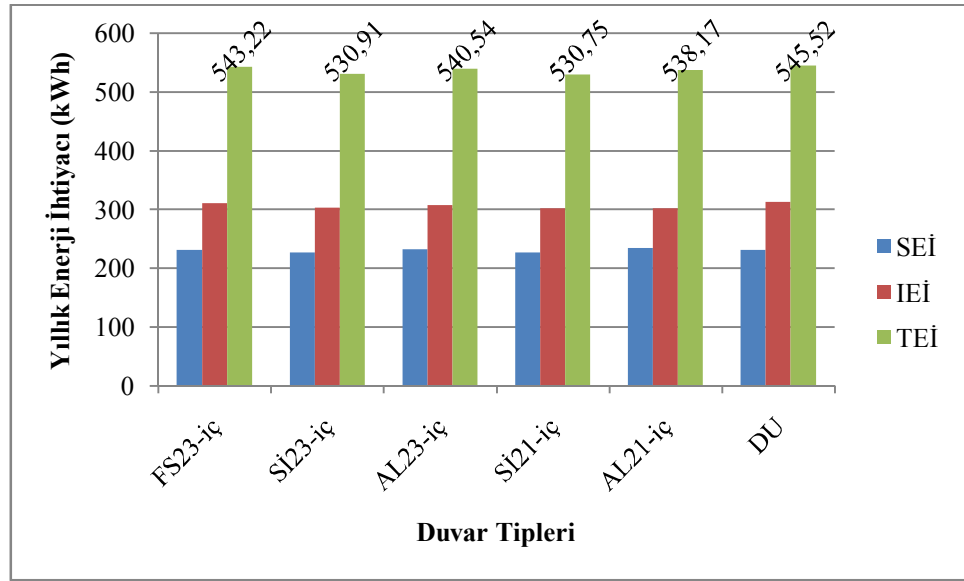
FDM ürününün performansa etkisinin incelenmesi amacıyla, seçilen FDM'lerin farklı türlerinin kullanımında ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacı benzetimle belirlenmiştir. Etkinin değerlendirilebilmesi için, yalnızca aynı erime sıcaklığına sahip farklı tür FDM'lerin tüm yönlere uygunlandığı durum için duvar kesitinde aynı yerde kullanımındaki ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Örneğin 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'li sıva (FS), şilte (Sİ) ve AL levha (AL) FDM'nin tüm yönlere bakan duvarda içte kullanımındaki enerji ihtiyaçları birbirleri ile karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük enerji gerektiren seçenekler belirlenmiştir. Bu nedenle, 29°C, 30°C, 35°C ve 40°C erime sıcaklığına sahip FDM kullanımları inceleme kapsamı dışında tutulmuştur. Yapılan benzeri analizlerin birlikte değerlendirilmesi ve FDM kullanılmayan örneklerle karşılaştırılması ile aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yalnızca soğutma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; FDM'nin tüm yönlere uygunlandığı seçeneklerde, iç yüzeyde kullanılan 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde Sİ türü en iyi sonucu verirken, FS türünün en kötü sonucu verdiği; 21°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde yine Sİ türü en iyi sonucu verirken, AL türünün en kötü sonucu verdiği görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; iç yüzeyde kullanılan 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerden Sİ türünün kullanıldığı senaryoda FDM'siz duvara nazaran daha az; AL türünün kullanıldığı senaryolarda ise daha fazla soğutma enerjisi gerektiği belirlenmiştir. Dışta ve dış sıva altında uygulanan 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip Sİ ve AL FDM türlerinin kullanıldığı senaryolarda, Sİ türünün AL türüne göre daha verimli olduğu ve her iki türün de FDM'siz duvara nazaran daha az soğutma enerjisi gerektirdiği görülmüştür.
- Yalnızca ısıtma enerjisi ihtiyacı dikkate alındığında; FDM'nin tüm yönlere uygunlandığı seçeneklerde, iç yüzeyde kullanılan 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde Sİ türü en iyi sonucu verirken, FS türünün ise en kötü sonucu verdiği; 21°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde yine Sİ türü en iyi sonucu verirken, AL türünün ise en kötü sonucu verdiği görülmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; iç yüzeyde kullanılan tüm 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde FDM'siz duvara nazaran daha az ısıtma enerjisi

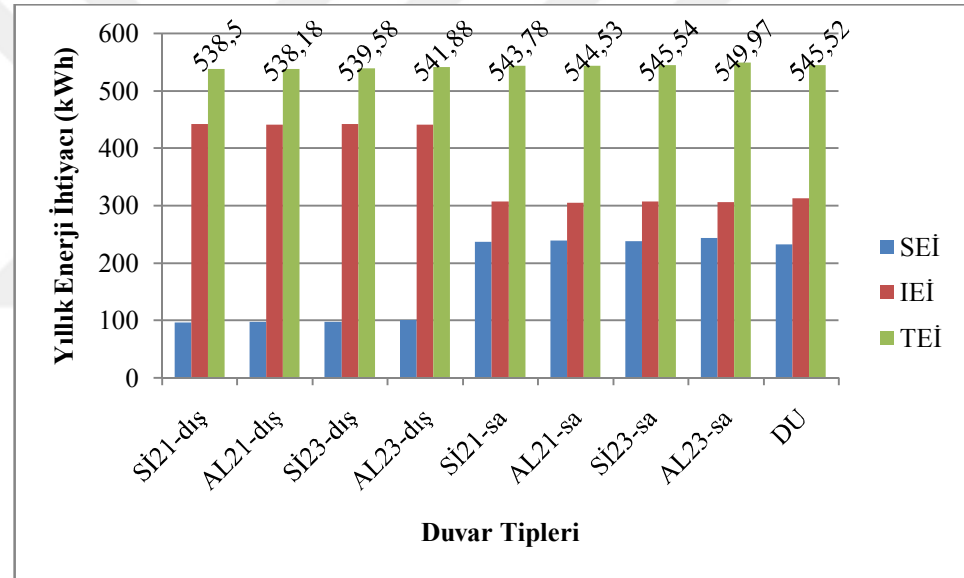
gerektiği belirlenmekle beraber en yüksek performansın Sİ türü FDM ile sağlandığı görölmüştür. Dışta ve sıva altında uygulanan 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip Sİ ve AL FDM türlerinin kullanıldığı senaryolarda, AL türünün Sİ türüne göre daha verimli olduğu ve her ikisinin de FDM'siz duvara nazaran daha az ısıtma enerjisi ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

- Toplam enerji ihtiyacı ele alındığında; FDM'nin tüm yönlerle uygunlandığı seçeneklerde, iç yüzeyde kullanılan 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde Sİ türü en iyi sonucu verirken, FS türünün en kötü sonucu verdiği; 21°C erime sıcaklığına sahip FDM'lerde Sİ türü yine en iyi sonucu verirken, AL türünün en kötü sonucu verdiği görölmüştür. FDM'siz duvarla karşılaştırıldığında; iç yüzeyde kullanılan 23°C erime sıcaklığına sahip tüm FDM türlerinde toplam enerji ihtiyacının FDM'siz duvara nazaran daha az olduğu belirlenmiştir. Dışta ve sıva altında uygulanan 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip Sİ ve AL FDM türlerinin kullanıldığı senaryolarda, FDM'siz duvar ile yapılan kıyaslamalarda toplam enerji ihtiyaçlarındaki verimlilik; ısıtma ve soğutma enerjilerinin verimlilik oranlarına göre değişkenlik göstermektedir.

Bu sonuçlar birarada değerlendirildiğinde; karşılaştırılan 21°C ve 23°C erime sıcaklığına sahip FDM türleri ile sınırlı olmak üzere; yalnızca soğutma döneminde kullanılan yazlık türü konut binalarında erime sıcaklığından bağımsız olarak FDM'nin içte, dışta ve sıva altında kullanımında Sİ türünün; yalnızca ısıtma döneminde kullanılan konutlarda ise FDM'nin içte kullanımında Sİ türünün, dışta ve sıva altında kullanımında ise AL türünün uygulanmasının bina enerji verimliliğini değişen oranlarda arttıracığı söylenebilir. Tüm yıl boyunca kullanılan, diğer bir anlatımla hem ısıtma hem de soğutma yapılan konutlarda ise erime sıcaklığından bağımsız olarak FDM'nin içte kullanımında Sİ türünün bina enerji verimliliğini değişen oranlarda arttıracığı; dışta ve sıva altı kullanımında ise Sİ veya AL türünün verimliliğinin erime sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, dolayısıyla aylık ısıtma ve soğutma kazançlarına göre kullanılacak türe karar verilmesi gerektiği söylenebilir. FDM'nin türüne bağlı olarak içte, dışta ve sıva altında uygulanmasında enerji ihtiyacı karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir



Şekil 4.10 : İçte uygulanan FDM'nin türüne göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.



Şekil 4.11 : Dışta ve sıva altında uygulanan FDM'nin türüne göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.

4.2.5 Güneş ışıınının performansa etkisi

Güneş ışıınının FDM performansına etkisinin değerlendirilmesi amacıyla, ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçlarının aylık dağılımlarının incelenmesine yönelik yapılan çalışma, Çizelge 4.12'teki fayda-zarar oranlarının kıyaslanmasına göre tüm senaryolar içinde en verimli ve en verimsiz olanlar için yapılmıştır. Buna göre; tüm yüzeylere uygulanan seçeneklerde, soğutma, ısıtma ve toplam enerji olmak üzere üç farklı grupta en çok fayda sağlayan ilk üç senaryo ile en az fayda sağlayan hatta kimi zaman zarara neden olan ilk üç senaryo Çizelge 4.13'te belirtilmiştir. Yapılan

sıralamada tüm senaryoların içinde en verimli senaryo $\dot{S}I_{21-iç}$ ve en verimsiz olan ise $\dot{S}I_{29-iç}$ olarak tespit edilmiştir. $\dot{S}I_{21-iç}$ senaryosunun tüm yüzeylere uygulanması ısıtma için en fazla verimli olurken, $\dot{S}I_{21-dış}$ ve $AL_{40-dış}$ senaryolarının soğutma için en fazla verimli olduğu görülmüştür. Buna doğrultuda; $\dot{S}I_{21-dış}$ ve $AL_{40-dış}$ senaryoları için soğutma enerji ihtiyaçlarının çok düşük değerde olmasına rağmen kışın ısıtma enerji ihtiyaçlarının çok yüksek olmasından dolayı toplam enerji ihtiyaçlarının en verimli seçenek olmadığı söylenebilir. $\dot{S}I_{21-iç}$ ' in ısıtma enerji ihtiyacının düşük olması sebebiyle de $\dot{S}I_{21-dış}$ ve $AL_{40-dış}$ seçeneklerine göre daha verimli olduğu belirlenmiştir. Tüm yüzeylerde $\dot{S}I_{29-iç}$ uygulanmasının soğutma için; $\dot{S}I_{21-dış}$ uygulanmasının da ısıtma için en verimsiz olduğu, buna rağmen $\dot{S}I_{21-dış}$ uygulamasının soğutmada fayda oranı daha yüksek olduğu için $\dot{S}I_{29-iç}$ modelinin ısıtma açısından en verimsiz seçenek olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.13 : Tüm yönlere FDM uygulandığında en verimli ve en verimsiz senaryoların sıralaması.

		SEİ	IEİ	TEİ
En verimli senaryo	1	$AL_{40-dış}$	$\dot{S}I_{21-iç}$	$\dot{S}I_{21-iç}$
	2	$AL_{35-dış}$	$\dot{S}I_{23-iç}$	$\dot{S}I_{23-iç}$
	3	$\dot{S}I_{21-dış}$	$AL_{21-iç}$	$AL_{40-dış}$
En verimsiz senaryo	1	$\dot{S}I_{29-iç}$	$\dot{S}I_{21-dış}$	$\dot{S}I_{29-iç}$
	2	$\dot{S}I_{29-sa}$	$\dot{S}I_{23-dış}$	$\dot{S}I_{29-sa}$
	3	AL_{30-sa}	$\dot{S}I_{29-dış}$	AL_{30-sa}

Belirlenen bu senaryolarda yaz ve kış aylarında ve mevsim geçişlerindeki durumu inceleyebilmek için ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçlarının aylık dağılımları çıkarılmıştır. Bunların içinden güneş ışıınının hangi aylarda verimliliğe katkı sağladığını tespit edebilmek için tüm yüzeylerde toplam enerji ihtiyacına göre dış yüzeyde en verimli olan $AL_{40-dış/T}$ ile en verimsiz seçeneklerden biri olan $AL_{30-sa/T}$ senaryoları belirlenerek, iki senaryonun soğutma, ısıtma ve toplam enerji ihtiyaç değerlerinin aylık dağılımları, direkt güneş ışıınınına bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.14'te yapılan incelemede; her iki senaryoda da Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında sadece ısıtmaya; Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında sadece soğutmaya; Mayıs ayında ise ısıtma ve soğutmaya birlikte ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Şekil 4.12'deki grafikte iki senaryo arasındaki SEİ

ve IEİ farkının güneş ışınlamına bağı aylık değişimi gösterilmiştir. Verimli ve verimsiz olarak seçilen $AL_{40-dış/T}$ ve $AL_{30-sa/T}$ senaryolarındaki değerler arasındaki farklar dikkate alındığında; sadece soğutmanın yapıldığı aylarda güneş ışınlamının artmasına bağı olarak; iki senaryodaki soğutma ve dolayısıyla toplam enerji ihtiyaçları arasındaki farkın en fazla olduğu; ısıtma ve soğutmanın birlikte yapıldığı Mayıs ayı da dahil olmak üzere, sadece soğutmanın yapıldığı aylarda $AL_{40-dış/T}$ senaryosunun soğutma ve toplam enerji ihtiyacının $AL_{30-sa/T}$ senaryosuna nazaran daha az olduğu görölmüştür. Buna karşın güneş ışınlamının azalmasına bağı olarak; sadece ısıtmanın istenildiğı aylarda ise tam tersine $AL_{40-dış/T}$ senaryosunun ısıtma enerjisi ihtiyacının $AL_{30-sa/T}$ senaryosuna nazaran daha fazla olduğu; dolayısıyla aradaki farkın pozitif değerde olmasıyla beraber; mevsim geçişi olan Ekim ayı için aradaki farkın çok aza indiğı tespit edilmiştir.

Dış yüzeyde uygulanan senaryolardan güneş ışınlamının yaz, kış ve mevsim geçişlerindeki FDM etkisine bakmak için yazın verimli olan $AL_{35-dış/T}$ senaryosunun aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçları izelge 4.14'de verilmiştir. Aynı yüzeyde uygulanan, farklı erime sıcaklığına sahip aynı tür FDM'lerle oluşturulan $AL_{40-dış/T}$ ve $AL_{35-dış/T}$ senaryolarının aylık enerji ihtiyaçları incelendiğinde; kış aylarında ve mevsim geçişlerinde aylık ısıtma enerji ihtiyaçlarının aynı değerlerde olduğu; yazın ortalama hava sıcaklığının en yüksek ($25^{\circ}C$) ve en fazla güneş ışınlamının olduğu aylarda (Haziran, Temmuz) ise soğutma enerji ihtiyacının az bir farkla $AL_{35-dış/T}$ senaryosunda daha fazla olduğu belirlenmiştir. Modeli yapılan prototipin çok küçük hacimli olmasında dolayı, bu çalışmada erime sıcaklığına bağı olarak soğutma enerjisi ihtiyacında çok fazla bir fark gözlenmemekle birlikte; gerçek konutlarda yapılan hesaplamada farkın daha belirgin olacağı söylenebilir.

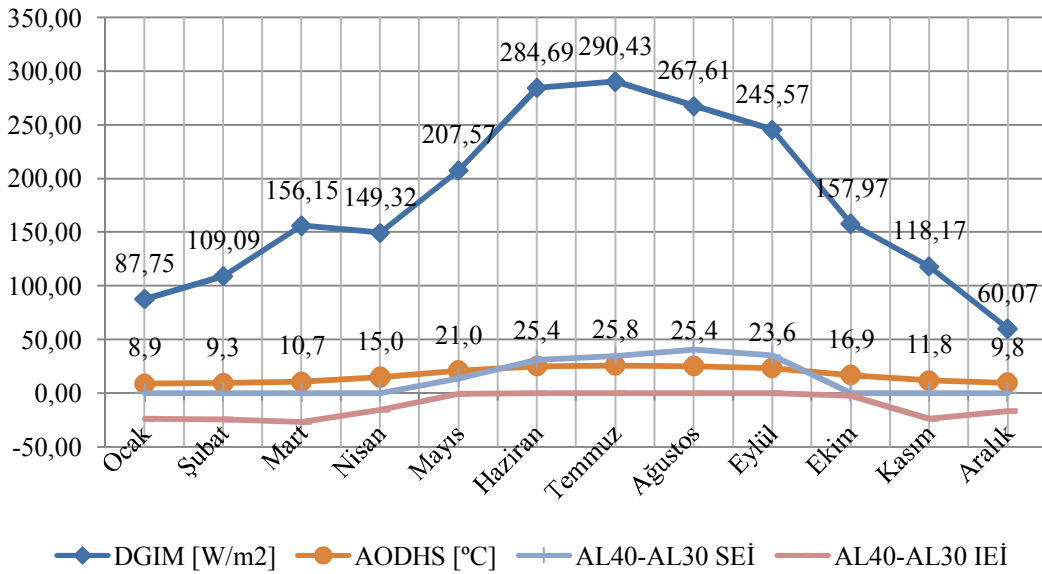
Çizelge 4.14 : Verimli ve verimsiz senaryonun güneş ışınlam miktarına göre aylık karşılaştırılması.

	DGIM [W/m ²]	AODHS [°C]	AL _{40-dış/T}			AL _{35-dış/T}			AL _{30-sa/T}		
			SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ
Ocak	87,75	8,9	0	101,23	101,23	0	101,23	101,23	0	77,19	77,19
Şubat	109,09	9,3	0	98,35	98,35	0	98,35	98,35	0	73,9	73,9
Mart	156,15	10,7	0	68,95	68,95	0	68,95	68,95	0	42,05	42,05
Nisan	149,32	15,0	0	25,68	25,68	0	25,68	25,68	0	9,88	9,88
Mayıs	207,57	21,0	0,9	1,35	2,25	0,9	1,35	2,25	14,46	0,76	15,22
Haziran	284,69	25,4	18,45	0	18,45	18,48	0	18,48	49,47	0	49,47
Temmuz	290,43	25,8	43,72	0	43,72	43,79	0	43,79	78,16	0	78,16
Ağustos	267,61	25,4	27,48	0	27,48	27,47	0	27,47	68,05	0	68,05
Eylül	245,57	23,6	3,7	0	3,7	3,7	0	3,7	38,65	0	38,65
Ekim	157,97	16,9	0	2,45	2,45	0	2,45	2,45	0	0,07	0,07
Kasım	118,17	11,8	0	64,11	64,11	0	64,17	64,17	0	40,36	40,36
Aralık	60,07	9,8	0	78,96	78,96	0	79,03	79,03	0	62,33	62,33
TOPLAM			94,25	441,08	535,33	94,34	441,21	535,55	248,79	306,54	555,33

DGIM : Doğrudan Güneş Işınım Miktarı [W/m²]

AODHS: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı [°C]

AL₄₀-AL₃₀ : AL_{40-dış/T}-AL_{30-sa/T} farkı [kWh]



Şekil 4.12 : Verimli ve verimsiz senaryonun SEİ ve IEİ farkının doğrudan güneş ışınlam miktarına ve ortalama dış hava sıcaklığına bağlı olarak aylık değişim grafiği.

Güneş ışınlamının FDM'nin katmandaki yerine bağlı olarak performansa etkisini değerlendirmek için; soğutma dönemi için en verimli bulunan seçenek olan tüm yönlerde uygulanan AL_{40-dış/T} FDM'nin aylık dağılımı ile duvar kesitinde kullanıldığı

diğer farklı yerlerdeki seçeneklerin ($AL_{40-i\check{c}/T}$ ve $AL_{40-sa/T}$) aylık dağılımları incelenerek birbirleri ve FDM'siz duvar ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.15). Yapılan incelemede;

— Dışta, sıva altında ve içte konumlandırılan FDM'lerin toplam ihtiyaç sonuçlarına bakıldığında; dış hava sıcaklığın düşük, güneş ışıınının düşük veya ortalamaya yakın olduğu aylar olan Aralık – Mart ayları arasında sıva altındaki uygulamanın; güneş ışıınının ortalamaya yakın, hava sıcaklığının ise 11-16°C olduğu Nisan, Ekim ve Kasım aylarında içteki uygulamanın; hem dış hava sıcaklığı, hem de güneş ışıınının fazla olduğu Mayıs-Eylül arasındaki aylarda ise dıştaki uygulamanın en verimli olduğu görülmüştür (Şekil 4.13).

— Dışta, sıva altında ve içte konumlandırılan FDM'lerin sonuçları FDM'siz duvarınki ile karşılaştırıldığında;

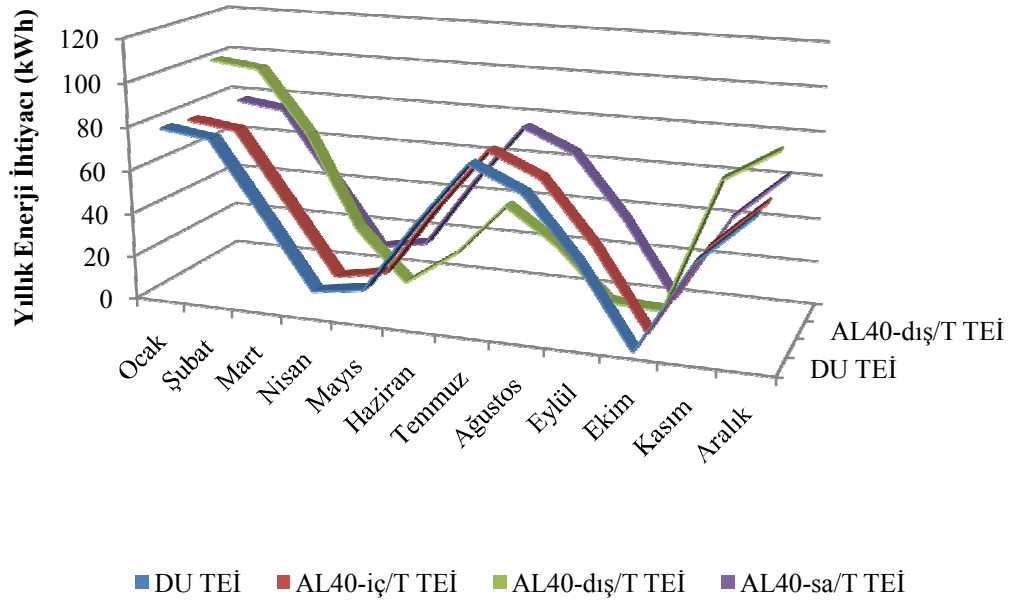
- $AL_{40-i\check{c}/T}$ senaryosunda; Ocak- Nisan ve Ekim- Aralık ayları arasında ısıtma ve toplam enerji ihtiyacında DU'ya göre azalma varken, Haziran- Eylül ayları arasında soğutma ve toplam enerji ihtiyacında artma olduğu belirlenmiştir. Mevsim geçişi olan Mayıs ayında ise ısıtma enerji ihtiyacında azalma gözlemlenirken, soğutma ve toplam enerji ihtiyacının arttığı tespit edilmiştir.
- $AL_{40-dış/T}$ senaryosunda; $AL_{40-i\check{c}/T}$ senaryosunun tam tersine; Ocak- Nisan ve Ekim-Aralık ayları arasında ısıtma ve toplam enerji ihtiyacının DU'ya göre arttığı, Haziran-Eylül ayları arasında soğutma ve toplam enerji ihtiyacının azaldığı belirlenmiştir. Mevsim geçişi olan Mayıs ayında ise ısıtma enerji ihtiyacında çok az artma gözlemlenirken, soğutma ve toplam enerji ihtiyacında azalma olduğu görülmüştür.
- $AL_{40-sa/T}$ senaryosunda; Ocak- Mayıs ayları arasında ve Kasım, Aralık aylarında ısıtma enerji ihtiyacında DU'ya göre çok az azalma yaşanırken, Haziran- Eylül ayları arasında soğutma enerji ihtiyacında da çok az artma olduğu belirlenmiştir. Mevsim geçişi olan Ekim ayında ise ısıtma enerji ihtiyacı çok az azalmıştır. Toplam enerji ihtiyacının Ocak-Mayıs ayları arasında ve Kasım,

Aralık aylarında azalırken, Mayıs- Ekim ayları arasında ise arttığı gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar birarada değerlendirildiğinde; AL₄₀ FDM'nin duvar dış yüzeyinde kullanıldığında düşük sıcaklık ve güneş ışıınımı nedeniyle kış aylarında faz değiştiremediği için ısıtma enerji ihtiyacının azaltılmasında katkıda bulunamadığı, yaz aylarında ise hem İzmir'de sıcaklıkların yüksek olması sebebiyle hem de doğrudan güneş ışıınımı katkısı ile soğutma enerji ihtiyacının azaltılmasına ciddi anlamda katkıda bulunduğu söylenebilir. Bununla beraber, AL₄₀ FDM'nin kışın dış yüzeyde kullanımında toplam enerji ihtiyacı, iç yüzey ve sıva altı kullanımına göre çok fazla olmaktadır, dolayısıyla AL₄₀ FDM'nin kış aylarında iç yüzey veya sıva altı kullanımının, iç ortamdaki fazla enerjinin depolanabilmesiyle toplam enerji ihtiyacının azaltılmasında daha etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.15 : AL₄₀ FDM'nin farklı yerlerde kullanımında ısıtma, soğutma ve toplam enerji ihtiyaçlarının aylara göre dağılımı.

	DU			AL ₄₀ -iç/T			AL ₄₀ -dış/T			AL ₄₀ -sa/T		
	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ	SEİ	IEİ	TEİ
Ocak	0	78,72	78,72	0	77,52	77,52	0	101,23	101,23	0	77,17	77,17
Şubat	0	75,51	75,51	0	74,37	74,37	0	98,35	98,35	0	73,96	73,96
Mart	0	43,14	43,14	0	42,31	42,31	0	68,95	68,95	0	42,05	42,05
Nisan	0	10,17	10,17	0	9,73	9,73	0	25,68	25,68	0	9,87	9,87
Mayıs	12,87	0,84	13,71	13,28	0,77	14,05	0,9	1,35	2,25	13,56	0,76	14,32
Haziran	45,7	0	45,7	46,55	0	46,55	18,45	0	18,45	46,75	0	46,75
Temmuz	74,45	0	74,45	74,92	0	74,92	43,72	0	43,72	74,85	0	74,85
Ağustos	63,83	0	63,83	64,45	0	64,45	27,48	0	27,48	64,56	0	64,56
Eylül	35,6	0	35,6	36,05	0	36,05	3,7	0	3,7	35,89	0	35,89
Ekim	0	0,06	0,06	0	0,05	0,05	0	2,45	2,45	0	0,07	0,07
Kasım	0	41,12	41,12	0	40,4	40,4	0	64,11	64,11	0	40,48	40,48
Aralık	0	63,52	63,52	0	62,59	62,59	0	78,98	78,98	0	62,31	62,31



Şekil 4.13 : Farklı yerlerde kullanılan FDM'nin enerji ihtiyacı-ay grafiği.

Güneş ışıınımı miktarı ve dış hava sıcaklığının FDM performansına etkisini ayrıntılı olarak inceleyebilmek için, 40°C erime sıcaklığına sahip AL FDM'nin duvar dış yüzeyinde, iç yüzeyinde ve dış sıva altında tüm yönlerde kullanımında belirli günler için iklimlendirme sistemi kapalı olarak bezetimler yapılmış ve dış hava sıcaklığı (DHS), iç hava sıcaklıkları (İHS) ile dış ve iç yüzey sıcaklıkları saatlik olarak belirlenmiştir. Güneş ışıınımı etkisinin değerlendirilebilmesi için, iklim dosyasından;

- Günlük toplam en yüksek güneş ışıınım miktarı olan günler içinde günlük ortalama en yüksek sıcaklığın olduğu 2 Temmuz;
- Günlük toplam en yüksek güneş ışıınım miktarı olan günler içinde günlük ortalama en düşük sıcaklığın olduğu 26 Nisan;
- Günlük toplam en düşük güneş ışıınım miktarı olan günler içinde günlük ortalama en yüksek sıcaklığın olduğu 15 Aralık;
- Günlük toplam en düşük güneş ışıınım miktarı olan günler içinde günlük ortalama en düşük sıcaklığın olduğu 26 Aralık

günleri belirlenerek incelenen seçenekler için saatlik olarak alınan dış ve iç hava sıcaklıkları ile duvar dış ve iç yüzey sıcaklıkları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Örneğin 2 Temmuz günü için dış hava sıcaklığı ile birlikte 40°C erime sıcaklığına sahip AL FDM'nin içte, dışta ve sıva altında uygulamasının tüm yönlerde

kullanımındaki yüzey ve iç hava sıcaklıkları iki saat arayla belirlenmiş ve FDM'siz duvarın sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda incelenen tüm seçeneklerde belirlenen günler için yapılan benzeri analizlerin değerlendirilmesi ile aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- Güneş ışınımının yüksek olduğu günler içinde dış hava sıcaklığının da yüksek olduğu **2 Temmuz** günü için yapılan değerlendirmede;
 - İç hava sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.16, Şekil 4.14), FDM'nin dış yüzeyde kullanımının en düşük, dolayısı ile en iyi sonucu verdiği, sıva altında ve iç yüzeyde kullanımının ise FDM'siz duvarınkine benzer ve yüksek olduğu görülmüştür. Gün boyunca dış hava sıcaklığı 22-34°C aralığında değişkenlik gösterirken, FDM'siz duvarda ve AL_{40-iç/T} ve AL_{40-sa/T} senaryolarında iç hava sıcaklıklarının yaklaşık 30-31°C aralığında değiştiği, AL_{40-dış/T} senaryosunda ise yaklaşık 1,5-2°C daha düşük olduğu ve 28-29°C aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.16 : 2 Temmuz (toplam en yüksek güneş ışınım miktarı-ortalama en yüksek sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).

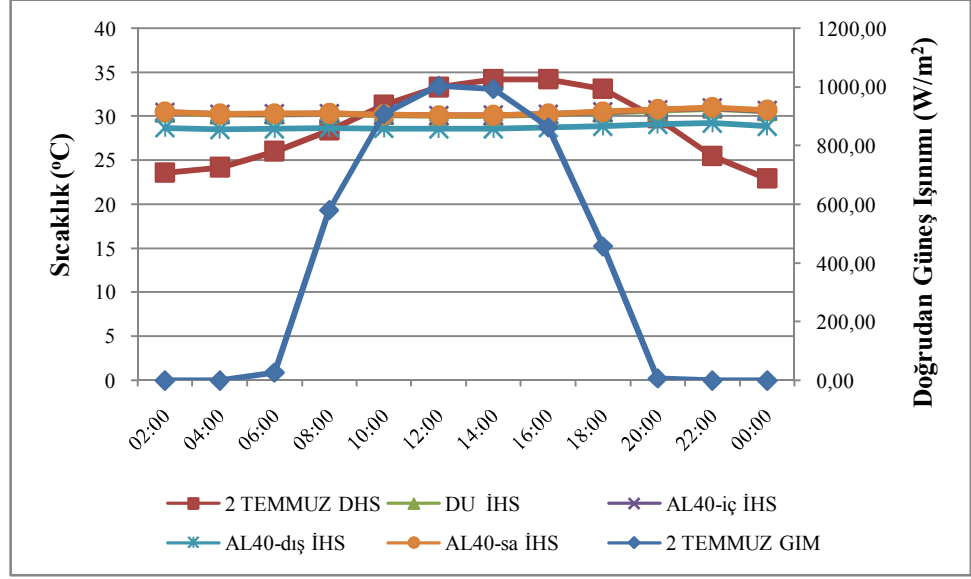
		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGIM	0,00	0,00	27,00	581,00	909,00	1004,00	994,00	864,00	458,00	7,00	0,00	0,00
	DHS	23,62	24,22	26,03	28,43	31,29	33,31	34,21	34,19	33,11	29,81	25,48	22,95
DU	İHS	30,40	30,21	30,24	30,27	30,16	30,06	30,08	30,20	30,41	30,67	30,86	30,59
	OS	30,41	30,20	30,15	30,14	30,02	29,93	29,96	30,10	30,33	30,60	30,81	30,62
AL _{40-iç}	İHS	30,47	30,26	30,28	30,32	30,20	30,11	30,13	30,27	30,50	30,77	30,96	30,67
	OS	30,34	30,15	30,10	30,10	29,98	29,89	29,90	30,03	30,24	30,51	30,71	30,54
AL _{40-dış}	İHS	28,69	28,51	28,59	28,69	28,62	28,58	28,61	28,72	28,89	29,11	29,26	28,90
	OS	28,65	28,46	28,46	28,51	28,44	28,39	28,42	28,54	28,72	28,94	29,10	28,85
AL _{40-sa}	İHS	30,51	30,29	30,31	30,34	30,21	30,11	30,14	30,29	30,53	30,82	31,02	30,73
	OS	30,46	30,23	30,17	30,16	30,02	29,93	29,96	30,11	30,36	30,65	30,87	30,67

DGIM: Doğrudan Güneş Işınım Miktarı [W/m²]

İHS: İç Hava Sıcaklığı [°C]

OS: Operatif Sıcaklık [°C]

DHS: Dış Hava Sıcaklığı [°C]



Şekil 4.14 : 2 Temmuz günü DHS ve İHS değişim grafiği.

- Örnek olarak doğu ve batı yönleri için yüzey sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.17, Şekil 4.15); DU, AL₄₀-iç/T ve AL₄₀-sa/T senaryolarında gün boyunca görülen iç yüzey sıcaklarının, iç hava sıcaklığında olduğu gibi, AL₄₀-dış/T senaryosundan yaklaşık 1,5-2°C yüksek olduğu belirlenmiştir. Gün boyunca görülen dış yüzey sıcaklıkları arasındaki değişimin ise, AL₄₀-dış/T senaryosunda en düşük olduğu (yaklaşık 10-12°C), diğer senaryolarda ise yöne de bağlı olarak daha yüksek ve 19-23°C arasında değiştiği görülmüştür. Öğlen saatlerinden itibaren güneş ışınımına maruz kalan batı yönüne bakan duvarlar örnek olarak ele alındığında; AL₄₀-dış/T senaryosunda dış yüzey sıcaklığının en çok 34,78°C'ye yükseldiği, diğer senaryolarda ise aynı saatlerde dış yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 43°C olduğu görülmektedir. Benzeri bir durum, doğu yönünde güneş ışınımına maruz kalınan sabah saatlerinde oluşmaktadır. AL₄₀-dış/T hariç olmak üzere diğer senaryolarda DYS-İYS farkının, doğu yönündeki duvarda sabah saatlerinde (saat 10:00 civarı); batı yönündeki duvarda ise akşamüzeri saatlerinde (saat 16:00 civarı) en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Gün boyunca yönden bağımsız olarak güneş ışınım miktarının ve hava sıcaklığının en fazla olduğu

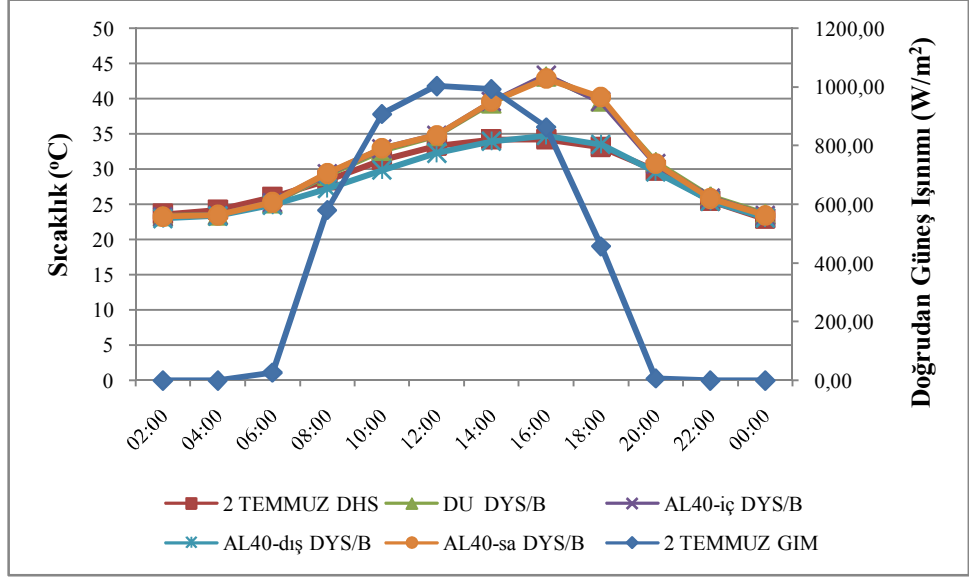
saatlerde (12:00-14:00) en düşük iç hava sıcaklığının AL_{40-dış/T} senaryosunda yaşandığı ve yöne bağlı olarak güneş ışınımına maruz kalan saatlerde bu senaryodaki dış yüzey sıcaklığının diğer senaryolardakiler kadar yükselmediği dikkate alındığında; dış yüzeyde kullanılan FDM'nin faz değiştirmek üzere özellikle güneş ışınımı kaynaklı enerjiyi biriktirdiği ve bunun sıcaklıkları olumlu yönde etkilediği söylenebilir. FDM'nin içte ve sıva altında kullanımında ise, DU ile benzer sıcaklıklar görüldüğü dikkate alındığında, güneş ışınımının ve/veya dış hava sıcaklığının çok sınırlı ve olumsuz yönde bir etkisinin olduğu düşünülebilir.

Çizelge 4.17 : 2 Temmuz (En yüksek güneş ışınım miktarı-en yüksek sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGIM	0,00	0,00	27,00	581,00	909,00	1004,00	994,00	864,00	458,00	7,00	0,00	0,00
	DHS	23,62	24,22	26,03	28,43	31,29	33,31	34,21	34,19	33,11	29,81	25,48	22,95
DU	İYS/D	30,67	30,46	30,32	30,24	30,07	29,96	30,02	30,21	30,47	30,73	30,95	30,86
	DYS/D	23,27	23,35	25,64	39,46	45,87	39,23	36,74	35,62	34,58	30,30	26,14	23,71
	İYS/B	30,63	30,45	30,32	30,25	30,07	29,93	29,88	29,97	30,18	30,48	30,78	30,78
	DYS/B	23,35	23,48	25,18	29,11	32,67	34,71	39,39	43,18	39,66	31,02	26,10	23,65
AL _{40-iç}	İYS/D	30,73	30,50	30,34	30,25	30,07	29,98	30,05	30,27	30,53	30,80	31,02	30,93
	DYS/D	23,17	23,33	25,76	40,14	46,23	39,05	36,68	35,59	34,52	30,10	25,89	23,49
	İYS/B	30,70	30,50	30,35	30,26	30,08	29,94	29,91	30,02	30,24	30,55	30,86	30,86
	DYS/B	23,27	23,46	25,25	29,31	32,88	34,81	39,60	43,30	39,56	30,75	25,87	23,46
AL _{40-dış}	İYS/D	28,82	28,63	28,55	28,54	28,43	28,36	28,37	28,48	28,67	28,90	29,10	28,99
	DYS/D	22,88	23,17	24,72	28,83	31,94	32,95	33,12	33,61	32,48	29,38	25,44	23,07
	İYS/B	28,83	28,64	28,56	28,55	28,44	28,36	28,36	28,46	28,64	28,87	29,09	28,99
	DYS/B	23,01	23,33	24,91	27,25	29,87	32,30	33,97	34,78	33,51	29,61	25,47	23,07
AL _{40-sa}	İYS/D	30,78	30,53	30,38	30,28	30,10	30,00	30,08	30,29	30,59	30,88	31,11	30,99
	DYS/D	23,19	23,36	25,91	40,04	45,22	40,00	37,17	35,62	34,50	30,03	25,83	23,44
	İYS/B	30,75	30,53	30,39	30,29	30,10	29,96	29,94	30,06	30,30	30,63	30,94	30,92
	DYS/B	23,29	23,50	25,31	29,40	32,95	34,82	39,57	42,85	40,20	30,80	25,86	23,43

DYS: Dış Yüzey Sıcaklık [°C]

İYS: İç Yüzey Sıcaklık [°C]

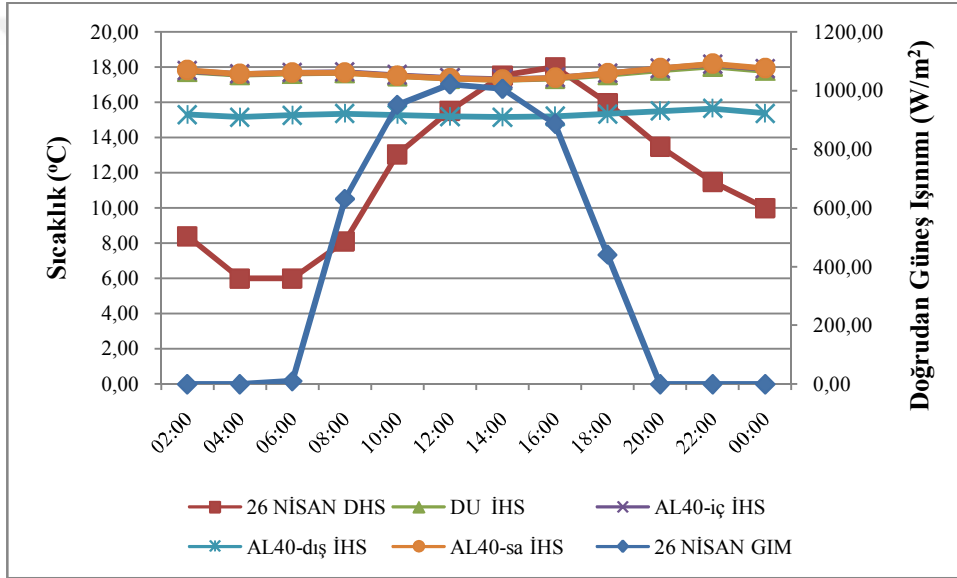


Şekil 4.15 : 2 Temmuz günü batı yönünde DYS değişim grafiği

- Güneş ışınımının yüksek olduğu günler içinde dış hava sıcaklığının düşük olduğu **26 Nisan** günü için yapılan değerlendirmede;
- İç hava sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.18, Şekil 4.16), FDM'nin sıva altında ve iç yüzeyde kullanımının FDM'siz duvarinkine benzer ve yüksek olduğu; dolayısı ile daha iyi sonuçlar verdiği, dış yüzeyde kullanımında ise iç hava sıcaklıklarının en düşük olduğu görülmüştür. Gün boyunca dış hava sıcaklığı 6-18°C aralığında değişkenlik gösterirken, FDM'siz duvar ile AL_{40-iç/T} ve AL_{40-sa/T} senaryolarında iç hava sıcaklıklarının yaklaşık 17-19°C aralığında değiştiği, AL_{40-dış/T} senaryosunda ise yaklaşık 2-2,5°C daha düşük olduğu ve 15-16°C aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca saat 14:00-18:00 arası hariç olmak üzere, gün boyunca AL_{40-dış/T} dışındaki tüm senaryolardaki iç hava sıcaklıklarının dış hava sıcaklığına nazaran daha yüksek olduğu; AL_{40-dış/T} senaryosu hariç diğerlerinin FDM'siz duvara (DU) nazaran daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.18 : 26 Nisan (toplam en yüksek güneş ışınlm miktarı-ortalama en düşük sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGIM	0,00	0,00	10,00	631,00	952,00	1022,00	1006,00	887,00	441,00	0,00	0,00	0,00
	DHS	8,39	6,00	6,00	8,10	13,05	15,52	17,52	18,00	15,95	13,48	11,48	10,00
DU	İHS	17,74	17,57	17,63	17,67	17,51	17,35	17,28	17,36	17,56	17,83	18,05	17,81
	OS	17,77	17,58	17,57	17,57	17,41	17,24	17,18	17,28	17,50	17,79	18,03	17,86
AL ₄₀ -iç	İHS	17,81	17,62	17,69	17,72	17,56	17,39	17,33	17,42	17,64	17,93	18,16	17,90
	OS	17,70	17,53	17,52	17,53	17,37	17,21	17,14	17,22	17,42	17,70	17,92	17,77
AL ₄₀ -dış	İHS	15,31	15,16	15,27	15,37	15,29	15,20	15,16	15,21	15,34	15,52	15,66	15,38
	OS	15,26	15,10	15,14	15,22	15,14	15,05	15,01	15,07	15,20	15,39	15,54	15,33
AL ₄₀ -sa	İHS	17,82	17,62	17,68	17,70	17,52	17,35	17,29	17,40	17,65	17,96	18,20	17,93
	OS	17,78	17,58	17,56	17,55	17,37	17,20	17,15	17,26	17,51	17,82	18,07	17,89



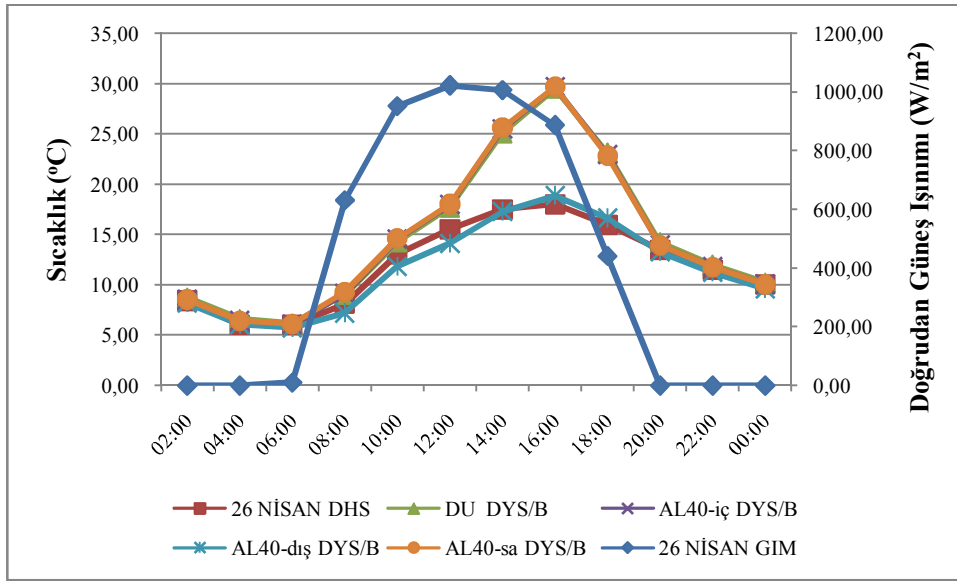
Şekil 4.16 : 26 Nisan günü DHS ve İHS değişim grafiği.

- Örnek olarak doğu ve batı yönleri için yüzey sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.19, Şekil 4.17); DU, AL₄₀-iç/T ve AL₄₀-sa/T senaryolarında gün boyunca görülen iç yüzey sıcaklarının, iç hava sıcaklığında olduğu gibi, AL₄₀-dış/T senaryosundan yaklaşık 1,5-2,5°C yüksek olduğu belirlenmiştir. Gün boyunca her senaryoda görülen dış yüzey sıcaklıklarındaki değişimin ise, 2 Temmuz tarihindeki gibi AL₄₀-dış/T senaryosunda en düşük olduğu (yaklaşık 9-14°C), diğer senaryolarda ise yöne de bağlı olarak 20-25°C arasında değiştiği görülmüştür. Öğlen saatlerinden itibaren güneş ışınlmına maruz kalan batı yönüne bakan duvarlar örnek olarak ele alındığında; AL₄₀-dış/T senaryosunda dış yüzey sıcaklığının en çok 18,87°C'ye yükseldiği,

diğer senaryolarda ise aynı saatlerde dış yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 30°C olduğu görülmektedir. Benzeri bir durum, doğu yönünde güneş ışınlamına maruz kalınan sabah saatlerinde oluşmaktadır. $AL_{40-dış/T}$ hariç olmak üzere diğer senaryolarda DYS-İYS farkının, doğu yönündeki duvarda sabah saatlerinde (10:00-12:00 civarı); batı yönündeki duvarda ise akşamüzeri saatlerinde (16:00 civarı) en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Dışta uygulama dışındaki tüm senaryolarda doğu ve batı yönündeki duvarlarda 14:00-16:00 saatleri hariç diğer saatlerde iç yüzey sıcaklıklarının dış hava sıcaklıklarına nazaran daha iyi sonuçlar verdiği; $AL_{40-iç/T}$ ve $AL_{40-sa/T}$ senaryolarının ise FDM'siz duvara nazaran daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Güneş ışınlamına maruz kalınan saatlerdeki dış yüzey sıcaklıkları dikkate alındığında; dışta kullanılan FDM'nin faz değiştirmek üzere enerjiyi biriktirmesi sebebiyle iç yüzey sıcaklıklarının diğer senaryolara nazaran düşük olduğu, 2 Temmuz'dan farklı olarak dış hava sıcaklığının düşük olması nedeniyle de diğer senaryolara göre daha olumsuz koşullar oluşturduğu söylenebilir.

Çizelge 4.19 : 26 Nisan (En yüksek güneş ışınlam miktarı-en düşük sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGİM	0,00	0,00	10,00	631,00	952,00	1022,00	1006,00	887,00	441,00	0,00	0,00	0,00
	DHS	8,39	6,00	6,00	8,10	13,05	15,52	17,52	18,00	15,95	13,48	11,48	10,00
DU	İYS/D	17,80	17,61	17,50	17,44	17,24	17,07	17,05	17,21	17,46	17,74	17,96	17,88
	DYS/D	8,74	6,74	6,97	23,18	30,86	26,60	21,64	20,26	17,40	13,86	11,91	10,21
	İYS/B	17,68	17,53	17,45	17,40	17,21	16,98	16,84	16,84	17,01	17,32	17,66	17,68
	DYS/B	8,72	6,60	6,16	9,00	14,26	17,70	25,08	29,49	23,11	14,20	11,97	10,21
$AL_{40-iç}$	İYS/D	17,86	17,65	17,52	17,44	17,24	17,07	17,08	17,26	17,52	17,81	18,03	17,95
	DYS/D	8,57	6,53	6,91	24,13	31,30	26,46	21,42	20,19	17,27	13,69	11,72	10,03
	İYS/B	17,75	17,58	17,48	17,41	17,20	16,98	16,85	16,87	17,07	17,40	17,75	17,76
	DYS/B	8,57	6,42	6,07	9,14	14,51	17,95	25,50	29,68	22,94	13,94	11,78	10,05
$AL_{40-dış}$	İYS/D	15,09	14,96	14,94	14,98	14,88	14,75	14,69	14,73	14,86	15,06	15,24	15,12
	DYS/D	8,11	6,05	5,77	9,49	14,18	15,13	16,26	17,11	15,62	13,11	11,10	9,48
	İYS/B	15,09	14,97	14,95	14,99	14,89	14,75	14,66	14,68	14,81	15,01	15,21	15,12
	DYS/B	8,16	6,05	5,70	7,19	11,82	14,11	17,26	18,87	16,61	13,25	11,22	9,60
AL_{40-sa}	İYS/D	17,87	17,64	17,52	17,44	17,22	17,06	17,08	17,28	17,57	17,87	18,10	17,98
	DYS/D	8,53	6,48	7,02	24,60	31,30	26,29	21,36	20,17	17,20	13,65	11,67	10,00
	İYS/B	17,76	17,58	17,48	17,41	17,19	16,96	16,83	16,87	17,10	17,46	17,82	17,81
	DYS/B	8,54	6,38	6,09	9,27	14,59	18,02	25,62	29,69	22,80	13,91	11,75	10,04

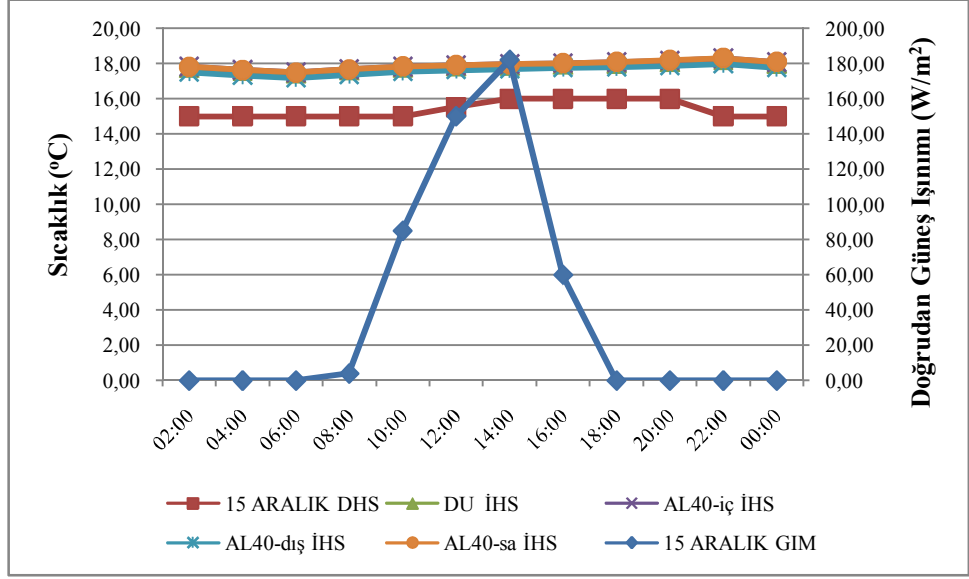


Şekil 4.17 : 26 Nisan günü batı yönünde DYS değişim grafiği.

- Güneş ışınımının düşük olduğu günler içinde dış hava sıcaklığının yüksek olduğu **15 Aralık** günü için yapılan değerlendirmede;
 - İç hava sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.20, Şekil 4.18), FDM'nin sıva altında ve iç yüzeyde kullanımının FDM'siz duvarinkine benzer ve yüksek olduğu; dış yüzeyde kullanıma göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Gün boyunca dış hava sıcaklığı 15-16°C aralığında değişkenlik gösterirken, FDM'siz duvar ile AL₄₀-iç/T ve AL₄₀-sa/T senaryolarında iç hava sıcaklıklarının 17,4-18,3°C aralığında değiştiği, AL₄₀-dış/T senaryosunda ise yaklaşık 0,2-0,3-°C daha düşük olduğu ve 17,2-18°C aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20 : 15 Aralık (toplam en düşük güneş ışınım miktarı-ortalama en yüksek sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGIM	0,00	0,00	0,00	4,00	85,00	150,00	182,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DHS	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,52	16,00	16,00	16,00	16,00	15,00	15,00
DU	İHS	17,77	17,61	17,46	17,63	17,79	17,86	17,90	17,96	18,02	18,10	18,22	18,02
	OS	17,78	17,61	17,46	17,56	17,71	17,79	17,84	17,90	17,97	18,05	18,15	18,00
AL ₄₀ -iç	İHS	17,83	17,65	17,50	17,68	17,84	17,91	17,97	18,02	18,09	18,17	18,30	18,09
	OS	17,72	17,56	17,42	17,51	17,66	17,73	17,78	17,83	17,90	17,98	18,07	17,93
AL ₄₀ -dış	İHS	17,50	17,32	17,18	17,37	17,55	17,64	17,70	17,76	17,82	17,89	17,99	17,77
	OS	17,45	17,28	17,13	17,25	17,42	17,51	17,58	17,64	17,70	17,76	17,84	17,68
AL ₄₀ -sa	İHS	17,82	17,64	17,49	17,67	17,84	17,91	17,97	18,03	18,10	18,19	18,31	18,10
	OS	17,77	17,59	17,44	17,55	17,71	17,79	17,84	17,90	17,97	18,06	18,16	18,00



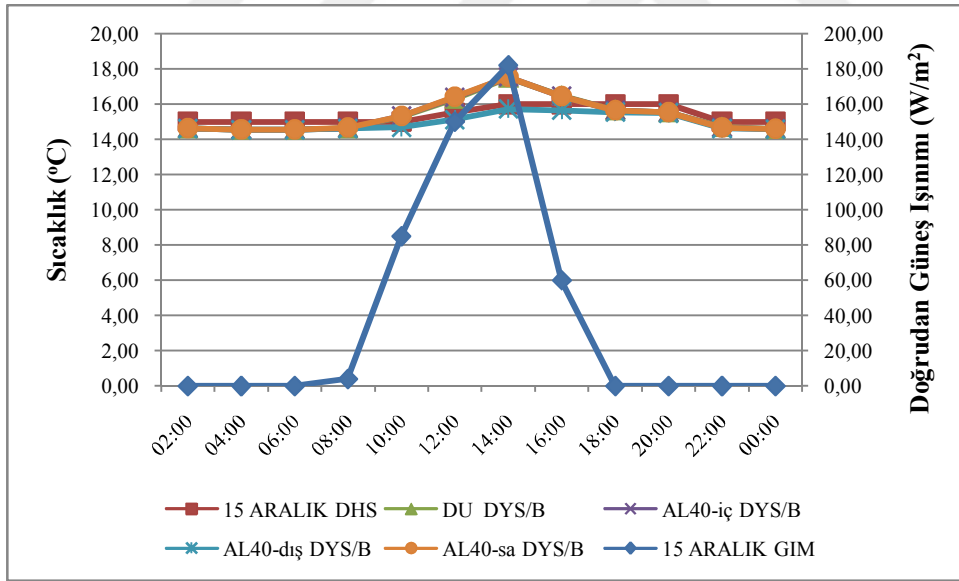
Şekil 4.18 : 15 Aralık günü DHS ve İHS değişim grafiği.

- Örnek olarak doğu ve batı yönleri için yüzey sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.21, Şekil 4.19); tüm senaryolarda gün boyunca görülen iç yüzey sıcaklıkları birbirine yaklaşık değerlerde olmakla birlikte, AL_{40-dış/T} senaryosundaki iç yüzey sıcaklıklarının, iç hava sıcaklıklarında olduğu gibi, diğerlerinden 0,20-0,35 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Gün boyunca dış yüzey sıcaklıklarında görülen değişimin ise, 2 Temmuz ve 26 Nisan tarihlerindeki gibi AL_{40-dış/T} senaryosunda en düşük olduğu, fakat miktarının ise bu günlerdekine nazaran çok az olduğu (yaklaşık 1,1°C), diğer senaryolarda ise yöne de bağlı olarak 2,6-3,0°C arasında değiştiği görülmüştür. Öğlen saatlerinden itibaren güneş ışınımına maruz kalan batı yönüne bakan duvarlar örnek olarak ele alındığında; AL_{40-dış/T} senaryosunda dış yüzey sıcaklığının saat 14:00'de en çok 15,72°C'ye yükseldiği, diğer senaryolarda ise aynı saatlerde dış yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 17,5°C olduğu görülmektedir. Tüm senaryolar için DYS-İYS farkının, doğu ve batı yönündeki duvarlarda, beklendiği gibi gündüz saatlerinde düşük, gece saatlerinde ise görece yüksek değerde olduğu görülmüştür. 15 Aralık'taki güneş ışınımı miktarının 2 Temmuz ve 26 Nisan tarihlerindeki nazaran düşük olması ve FDM'nin dış yüzeyde kullanımı ile diğer senaryolar karşılaştırıldığında görülen etkilerin miktarının da 15 Aralık'ta daha

düşük olduğu dikkate alındığında; dışta FDM kullanılan duvarın davranışında, tahmin edildiği gibi, güneş ışıını miktarının önemli etkisi olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.21 : 15 Aralık (En düşük güneş ışıını miktarı-en yüksek sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değerleri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGİM	0,00	0,00	0,00	4,00	85,00	150,00	182,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DHS	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,52	16,00	16,00	16,00	16,00	15,00	15,00
DU	İYS/D	17,62	17,47	17,33	17,35	17,49	17,55	17,59	17,63	17,70	17,78	17,86	17,78
	DYS/D	14,65	14,59	14,59	14,67	15,36	16,37	17,23	16,31	15,66	15,56	14,71	14,62
	İYS/B	17,62	17,47	17,33	17,36	17,49	17,55	17,59	17,63	17,70	17,78	17,86	17,78
	DYS/B	14,63	14,57	14,57	14,65	15,3	16,32	17,5	16,49	15,67	15,55	14,71	14,61
AL ₄₀ -iç	İYS/D	17,66	17,51	17,37	17,39	17,52	17,57	17,62	17,67	17,74	17,82	17,9	17,82
	DYS/D	14,65	14,59	14,58	14,67	15,39	16,42	17,26	16,29	15,64	15,55	14,67	14,61
	İYS/B	17,67	17,51	17,37	17,39	17,52	17,58	17,62	17,67	17,74	17,82	17,9	17,83
	DYS/B	14,63	14,57	14,56	14,65	15,33	16,38	17,55	16,47	15,64	15,54	14,67	14,6
AL ₄₀ -dış	İYS/D	17,33	17,17	17,04	17,09	17,25	17,32	17,38	17,43	17,48	17,54	17,61	17,51
	DYS/D	14,64	14,58	14,57	14,63	14,72	15,14	15,69	15,66	15,57	15,51	14,62	14,58
	İYS/B	17,33	17,17	17,04	17,09	17,25	17,32	17,38	17,43	17,48	17,54	17,61	17,50
	DYS/B	14,62	14,55	14,55	14,61	14,69	15,12	15,72	15,66	15,55	15,49	14,61	14,57
AL ₄₀ -sa	İYS/D	17,66	17,5	17,35	17,39	17,54	17,6	17,64	17,7	17,77	17,86	17,94	17,84
	DYS/D	14,65	14,59	14,58	14,67	15,4	16,45	17,25	16,27	15,64	15,55	14,66	14,61
	İYS/B	17,66	17,5	17,36	17,40	17,54	17,6	17,65	17,7	17,77	17,86	17,95	17,85
	DYS/B	14,63	14,57	14,56	14,66	15,34	16,41	17,55	16,44	15,64	15,54	14,66	14,6



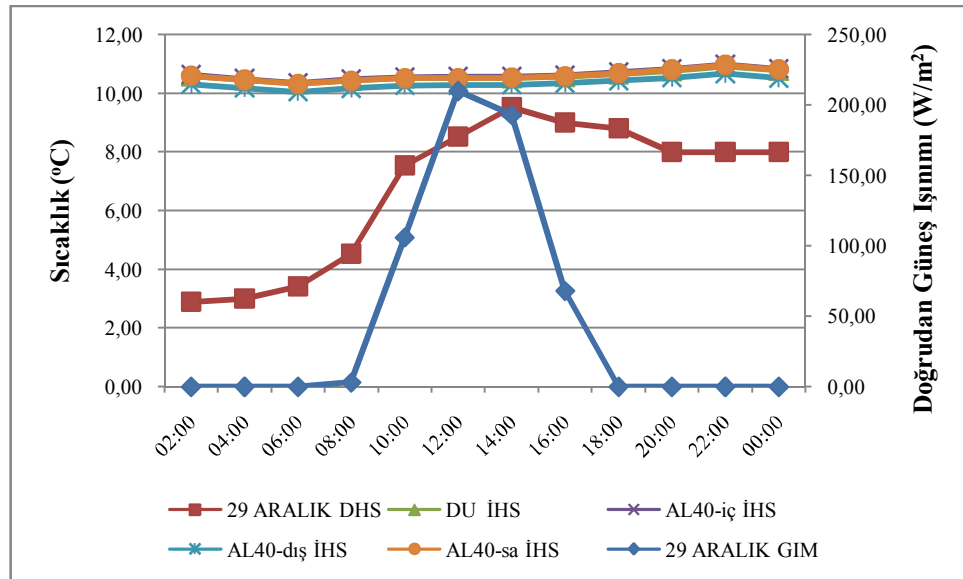
Şekil 4.19 : 15 Aralık günü batı yönünde DYS değişim grafiği.

- Güneş ışıınının düşük olduğu günler içinde dış hava sıcaklığının da düşük olduğu **29 Aralık** günü için yapılan değerlendirmede;
 - İç hava sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.22, Şekil 4.20), FDM'nin sıva altında ve iç yüzeyde kullanımının FDM'siz duvarinkine benzer ve dışta kullanımına nazaran biraz yüksek olduğu görülmüştür. Gün

boyunca dış hava sıcaklığı yaklaşık olarak 2-10°C aralığında değişkenlik gösterirken, tüm senaryolardaki iç hava sıcaklıklarının birbirine yakın (10-11°C) ve dış hava sıcaklığına nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle geceden sabaha kadarki zaman diliminde tüm senaryoların iç hava sıcaklık-dış hava sıcaklık farkı yüksek olmakla birlikte (yaklaşık 7,5-8°C); AL₄₀-dış/T senaryosu hariç diğerlerinin FDM'siz duvara nazaran daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. AL₄₀-dış/T senaryosunda görülen iç hava sıcaklıklarının ise, diğerlerine göre 0,2-0,3 °C daha düşük olduğu da görülmüştür.

Çizelge 4.22 : 29 Aralık (toplam en düşük güneş ışıınım miktarı-ortalama en düşük sıcaklık) günü saatlik DHS ve İHS değerleri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGIM	0,00	0,00	0,00	3,00	106,00	210,00	193,00	68,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DHS	2,89	3,00	3,41	4,53	7,53	8,52	9,52	9,00	8,81	8,00	8,00	8,00
DU	İHS	10,59	10,45	10,32	10,43	10,51	10,52	10,52	10,56	10,65	10,76	10,91	10,77
	OS	10,56	10,42	10,28	10,34	10,42	10,42	10,43	10,48	10,57	10,69	10,83	10,73
AL ₄₀ -iç	İHS	10,63	10,49	10,35	10,47	10,55	10,56	10,57	10,61	10,71	10,83	10,98	10,83
	OS	10,51	10,38	10,25	10,30	10,38	10,38	10,39	10,43	10,52	10,63	10,76	10,67
AL ₄₀ -dış	İHS	10,31	10,18	10,05	10,17	10,26	10,28	10,29	10,34	10,43	10,53	10,67	10,52
	OS	10,24	10,11	9,98	10,04	10,13	10,14	10,16	10,21	10,29	10,39	10,52	10,41
AL ₄₀ -sa	İHS	10,6	10,46	10,32	10,43	10,52	10,52	10,53	10,58	10,68	10,81	10,97	10,82
	OS	10,53	10,39	10,25	10,30	10,39	10,38	10,39	10,45	10,55	10,68	10,82	10,71

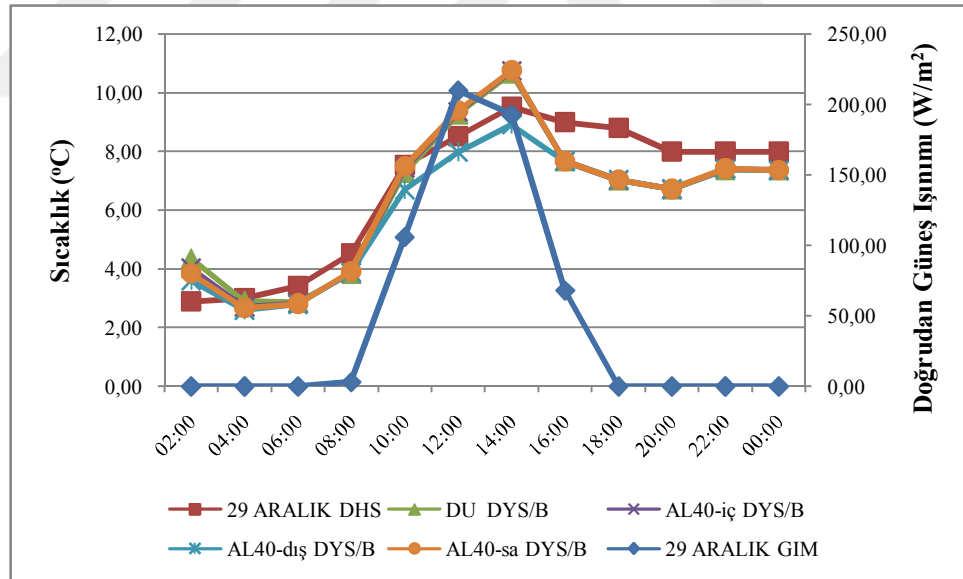


Şekil 4.20 : 29 Aralık günü DHS ve İHS değişim grafiği.

- Örnek olarak doğu ve batı yönleri için yüzey sıcaklıklarına bakıldığında (Çizelge 4.23, Şekil 4.21); tüm senaryolarda gün boyunca görülen iç yüzey sıcaklarının birbirine yaklaşık değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, iç hava sıcaklığında olduğu gibi, $AL_{40-dış/T}$ senaryosundaki iç yüzey sıcaklıklarının diğerlerine nazaran $0,2-0,3^{\circ}C$ daha düşük olduğu da tespit edilmiştir. Gün boyunca dış yüzey sıcaklıklarında görülen değişimin ise, miktarları farklı olmakla birlikte diğer tarihlerdeki gibi $AL_{40-dış/T}$ senaryosunda en düşük olduğu (yaklaşık $6,3^{\circ}C$), diğer senaryolarda ise yöne de bağlı olarak $7,6-8,1^{\circ}C$ arasında değiştiği görülmüştür. Öğlen saatlerinden itibaren güneş ışınlamaya maruz kalan batı yönüne bakan duvarlar örnek olarak ele alındığında; $AL_{40-dış/T}$ senaryosunda dış yüzey sıcaklığının saat 14:00'te en çok $8,91^{\circ}C$ 'ye yükseldiği, diğer senaryolarda ise aynı saatlerde dış yüzey sıcaklıklarının yaklaşık $10,5-11,0^{\circ}C$ olduğu görülmektedir. Tüm senaryolar için DYS-İYS farkının, doğu ve batı yönündeki uygulamalarda sabah erken saatlerde (04:00-06:00) en yüksek değerde olduğu görülmüştür. 15 ve 29 Aralık günlerinde güneş ışınlamı miktarının benzer, fakat dış hava sıcaklığında gün boyunca görülen değişimin 29 Aralık'ta daha fazla olduğu ve FDM'nin dışta kullanımı ile diğer senaryolar karşılaştırıldığında her iki gündeki etki miktarlarının benzer olduğu dikkate alındığında; dışta kullanılan FDM'nin davranışında güneş ışınlamının etkisinin hava sıcaklığına nazaran daha yüksek olduğu yorumu yapılabilir.

Çizelge 4.23 : 29 Aralık (En düşük güneş ışınlm miktarı-en düşük sıcaklık) günü saatlik DYS ve İYS değeri (°C).

		02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
	DGİM	0,00	0,00	0,00	3,00	106,00	210,00	193,00	68,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DHS	2,89	3,00	3,41	4,53	7,53	8,52	9,52	9,00	8,81	8,00	8,00	8,00
DU	İYS/D	10,20	10,09	9,98	9,98	10,05	10,03	10,01	10,04	10,13	10,24	10,36	10,32
	DYS/D	4,37	2,90	2,84	3,85	7,53	9,46	10,39	7,67	7,03	6,72	7,39	7,37
	İYS/B	10,20	10,09	9,98	9,98	10,05	10,02	10,00	10,03	10,12	10,24	10,36	10,32
	DYS/B	4,36	2,90	2,85	3,84	7,28	9,28	10,67	7,67	7,03	6,72	7,38	7,38
AL ₄₀ -iç	İYS/D	10,24	10,13	10,00	10,00	10,05	10,03	10,01	10,05	10,15	10,27	10,40	10,35
	DYS/D	4,02	2,70	2,79	3,89	7,68	9,54	10,44	7,67	7,03	6,72	7,43	7,37
	İYS/B	10,24	10,12	10,00	10,00	10,05	10,03	10,01	10,05	10,14	10,27	10,39	10,35
	DYS/B	4,02	2,70	2,80	3,87	7,43	9,36	10,75	7,67	7,03	6,72	7,41	7,38
AL ₄₀ -dış	İYS/D	9,91	9,81	9,69	9,71	9,78	9,77	9,76	9,80	9,88	9,99	10,11	10,04
	DYS/D	3,61	2,58	2,78	3,89	6,76	8,02	8,89	7,67	7,03	6,72	7,42	7,34
	İYS/B	9,91	9,80	9,69	9,71	9,78	9,77	9,76	9,80	9,88	9,99	10,11	10,04
	DYS/B	3,60	2,59	2,79	3,88	6,70	7,97	8,91	7,67	7,03	6,72	7,40	7,35
AL ₄₀ -sa	İYS/D	10,21	10,1	9,97	9,98	10,04	10,01	10	10,05	10,16	10,29	10,42	10,36
	DYS/D	3,85	2,66	2,80	3,92	7,75	9,56	10,45	7,67	7,03	6,72	7,43	7,36
	İYS/B	10,21	10,09	9,97	9,98	10,04	10,01	10	10,04	10,15	10,29	10,42	10,36
	DYS/B	3,85	2,67	2,81	3,91	7,49	9,39	10,77	7,67	7,03	6,72	7,42	7,37



Şekil 4.21 : 29 Aralık günü batı yönünde DYS değışim grafiğı.

Bu sonuçlara birarada bakıldığında; güneş ışınlm miktarının ve ortalama hava sıcaklığının fazla olduğı, aynı zamanda yaz dönemi olan 2 Temmuz günü için dışta kullanılan FDM’de özellikle güneş ışınlmı katkısının iç mekan sıcaklıklarına olumlu etkisi olduğı, içte ve sıva altındaki uygulamalarda ise, hem yüksek erime sıcaklığı, hem de güneş ışınlmı ve/veya dış hava sıcaklığına bağılı

olarak iç mekan sıcaklıklarının çok düşük miktarda olmakla birlikte FDM'siz uygulamaya göre olumsuz yönde etkilendiği; güneş ışıınım miktarının fazla, ortalama hava sıcaklığının düşük olduğu ve aynı zamanda ısıtma gerekebilecek bahar dönemi olan 26 Nisan günü için dışta kullanılan FDM'de özellikle güneş ışıınımı etkisi ile iç ortam sıcaklığının olumsuz yönde etkilendiği, içte ve sıva altındaki uygulamalarda ise güneş ışıınımı ve/veya dış hava sıcaklığı ile miktarı çok düşük olmakla birlikte FDM'siz duvara göre iç mekan sıcaklıklarının olumlu yönde etkilendiği; kış dönemi olan ve güneş ışıınım miktarının en düşük, ortalama sıcaklığın görece yüksek olduğu 15 Aralık ile güneş ışıınım miktarının ve ortalama sıcaklığın en düşük olduğu 29 Aralık günlerinde FDM'nin dışta kullanıldığı senaryo ile diğerleri karşılaştırıldığında, iç mekan sıcaklıklarında görülen olumsuz etkinin miktarının büyük oranda güneş ışıınımı miktarındaki azalmaya bağlı olarak azaldığı yorumu yapılabilir.

Bu gözlem ve yorumlar dikkate alındığında; soğutmanın istendiği dönemde dışta yer alan FDM uygulamasında istenmeyen güneş ışıınımı katkısıyla FDM'nin bünyesinde ısı biriktirmesinin sağlandığı ve dış mekân sıcaklıklarının yükselmesinin önlenmediği, diğer FDM'li senaryolarda ise böyle olumlu bir etkinin oluşmadığı söylenebilir. Buna karşın mevsim geçişi ve ısıtmanın istendiği dönemde ise 40°C erime sıcaklığına sahip FDM'nin dışta kullanımının büyük oranda güneş ışıınımı kazancını önlediği için verimli olmadığı; iç yüzeyde ve sıva altında kullanımının ise çok düşük miktarda olmakla birlikte iç sıcaklıklarının artmasında katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla, güneş ışıınımının yüksek erime sıcaklığına sahip FDM'li duvarın performansına olumlu ya da olumsuz yöndeki etkisinin, ancak FDM dış yüzeyde kullanıldığında belirgin bir biçimde değiştiği, sıva altında ve içte kullanımda ise etkinin çok sınırlı olduğu söylenebilir.

5. SONUÇ

Artan nüfus ile beraber sanayileşme ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak enerji talebinin artması ve enerji kaynaklarının gitgide azalmasıyla enerjinin etkin kullanılması önem kazanmıştır. Üretilen enerjinin israf olmadan kullanılması ve mekansal konfor şartlarının sağlanabilmesi, binalarda enerji etkin tasarımın sağlanması ve bunun ısı enerji depolama sistemleri ile desteklenmesi ile mümkündür. Bunun için enerji etkin tasarım kararları alınırken enerji depolama yönteminin belirlenmesi de önemlidir. TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Standardı'na göre iklimsel bölgelere göre tavsiye edilen ısı geçirgenlik katsayısının sağlanması için ısı yalıtımı kullanma, pencerelerde çift cam kullanma gibi kararların tasarım aşamasında planlaması gerekmektedir. Isı yalıtımı için alınan önlemler ile istenmeyen ısı kayıpları ve kazançları en aza indirilerek iklimlendirme sistemlerinin enerji harcamaları azaltılmaktadır; fakat bina içinde üretilen veya dış hava sıcaklığı ve güneş ışıınımı kaynaklı oluşan ısıtma enerjisinin israf olmadan kullanımı için bu kimi zaman yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla yazın iç mekanda üretilen soğuk havayı, kışın iç mekanda üretilen sıcak havayı koruma amaçlı uygulanan ısı yalıtımı veya dolaylı güneş kazanım sistemlerine ek olarak FDM'ler de gelişmiş bir alternatif olarak düşünülebilir.

Bu doğrultuda bu tez çalışması kapsamında; bir ısı enerji depolama malzemesi olan faz değıştiren malzemelerin (FDM) dış duvarda kullanımında güneş ışıınımı etkisinin enerji verimliliğine katkısının değerdendirilmesi amaçlanmıştır. Hava sıcaklığının yanında güneş ışıınımı ile FDM sıcaklığının artarak faz değıştirmesine olanak sağlanması düşüncesinden hareketle, gece-gündüz sıcaklık farkının az, güneş ışıınımının fazla olduğu İzmir ili için incelemeler yapılmıştır. FDM'lerin binada kullanımında, iç mekandaki sıcaklık artışıyla veya dış hava sıcaklığı ve güneş ışıınımı etkisiyle oluşan fazla enerji daha sonra kullanılmak üzere FDM'lerin bünyesinde depolanır. Böylelikle binada üretilen enerji bina içinde korunmuş olup enerji israfının da önlenmesi düşünülmektedir. Dolayısıyla güneş ışıınımı etkisiyle FDM kullanılan dış duvarın performansının bina enerji tüketimine, iç hava ve yüzey sıcaklıklarına

bağlı olarak değerlendirilmesi için; FDM'nin türü, erime sıcaklığı, duvar katmanındaki yeri ve kullanılan yöne göre farklı gruplarda benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Benzetim sonuçlarına dayanarak FDM kullanımının performansının değerlendirilmesi ile İzmir ili için izleyen maddelerde verilen sonuçlara ulaşılmıştır;

- İncelenmek üzere seçilen şilte ve alüminyum levha formundaki yüksek erime sıcaklıklarına sahip (29-40°C) FDM'ler, duvar dış yüzeyinde kullanıldığında yaz döneminde soğutma için güneş ışıınımı katkısıyla verimli olurken, kış döneminde ısıtma için çok az farkla zarara neden olmaktadır.
- İncelenen tüm farklı erime sıcaklığına sahip FDM'ler (21-40°C) açısından, dış yüzeyde uygulama direkt güneş ışıınımı aldığından toplam enerji ihtiyacı dikkate alındığında çoğu durumda verimli olurken, iç yüzeyde uygulamada erime sıcaklığına bağlı olarak verimlilik büyük değişkenlik göstermekte ve düşük erime sıcaklığına sahip FDM'ler verimli olmaktadır. Sıva altı uygulamalarda ise özellikle yüksek erime sıcaklığındaki FDM'lerin güneş ışıınımını direk almadığı için yapılan hesaplamalarda enerji verimliliğine katkısı görülmemiştir.
- FDM performansının iç mekan ve duvar yüzey sıcaklıklarına etkisine bakıldığında; güneş ışıınımı katkısıyla dış yüzeyde kullanılan FDM'nin yazın gündüz saatlerinde daha verimli olduğu, kışın ise sıva altında uygulanan FDM'nin dolaylı kazanım yapmasıyla gece verimli olduğu bilgisine ulaşılmıştır.
- FDM'nin yöne bağlı performansına bakıldığında; yalnızca soğutma döneminde kullanılan yazlık türü konut binalarında FDM'nin erime sıcaklığından bağımsız olarak dışta uygulandığı senaryolar için doğu yönünde; yalnızca ısıtma döneminde kullanılan konutlarda ise, içte ve sıva altında uygulandığı senaryolar için doğu ve kuzey yönünde kullanımının bina enerji verimliliğine katkı sağladığı görülmüştür. Hem ısıtma hem soğutma yapılan konutlarda ise; FDM'nin içte uygulandığı senaryolar için batı, dışta uygulandığı senaryolar içinse doğu yönünde kullanımının bina enerji verimliliğine en yüksek oranlarda katkı sağladığı bilgisine ulaşılmıştır.

Günümüzde enerji harcamalarının önemli bir bölümünün binalardan kaynaklanması nedeniyle, binaların tasarımında enerji etkinliğinin dikkate alınması bir gereklilik haline gelmiştir. Enerji tasarrufu sağlamada, binalarda enerjinin etkin kullanımının yanı sıra enerjinin depolanması da büyük önem taşımaktadır. Binaların teknolojik özelliklerinin artması ve bu özelliklerin sürdürülebilir şekilde kullanılabilmesi, enerjinin depolanıp ihtiyaç halinde kolay ulaşılabilir olmasıyla da sağlanabilir. Buna göre enerji etkin bina tasarımında enerji depolama sistemleri, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleriyle uyumlu olacak şekilde ele alınmalıdır. Küresel iklim değişikliği ile artan sıcaklıklar sebebiyle günümüzde soğutma enerji ihtiyacı da artmaktadır. Binalarda soğutma yüklerini azaltmanın yollarından birisi de, bina kabuğu ile alınan güneş ışıınımı miktarını kontrol edebilmektir. Pasif bir enerji depolama sistemi olan FDM'ler binalarda iklimsel konfor ve enerji korunumunun sağlanmasında enerji depolama görevi görürken aynı zamanda soğutmanın istendiği dönemde de güneş ışıınımından korunma görevi de görebileceği yapılan çalışma ile belirlenmiştir. Güneş ışıınımı ve dış hava sıcaklığına bağlı faz değişimde enerjinin depolanması ile yaz aylarında binaya fazla ısı alınmasını önleyerek FDM'ler bir nevi ısı yalıtımı görevi yapar ve dış ortam şartlarından oluşan ücretsiz enerjinin ihtiyaç duyulan zamanda kullanılmasıyla ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin azaltılmasına katkıda bulunabilir. Çıkan sonuçlarda yazın soğutma enerji ihtiyacını azaltmada yüksek erime sıcaklığına sahip duvar dış yüzeyinde kullanılan FDM'nin faydası olduğu ama ısıtmada kışın faydalı olmadığı, toplam enerji ihtiyacında ise bazen verimli olduğu bazen de verimsiz olduğu görülmüştür. Dolayısıyla farklı erime sıcaklığına sahip FDM'ler için aylara göre enerji ihtiyacı dağılımının incelenmesi ve maliyet hesabı yapıldıktan sonra kullanımına karar verilmesi veya sadece yazlık konutlarda kullanımının daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

Binalarda kullanım için FDM üretimi günümüzde çok yaygın olmamakla beraber, sıcak iklim bölgelerinde yazın güneş ışıınımından korunma sağlayarak soğutma yüklerini azaltmaya katkıda bulunmada ilerleyen yıllarda ısı yalıtımına alternatif olabileceği düşünülebilir. Ek olarak, FDM maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle yapı sektöründe yaygın

kullanılmaması ve buna yönelik binalarda kullanımının arttırılması amacıyla maliyetlerin düşürülmesi için çalışmalar yapılabilir. Bu çalışma tek hacim, tek zon ve tek aktivite için yapılmış olup, ilerideki çalışmalarda FDM'lerin çok katlı binalardaki ve farklı aktivitelerin yapılandığı binalardaki enerji verimliliği açısından etkileri araştırılabilir. Ayrıca dolaylı kazanım yöntemine alternatif olarak FDM uygulanan duvarın önüne cam koyularak trombe duvarı gibi kullanıldığındaki performansının da incelenebileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Ak, F.** (1993). *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Birimi Dizaynında Uygulanabilecek Bir Yaklaşım (Doktora tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alam, M., Jamil, H., Sanjayan, J., & Wilson, J.** (2014). Energy saving potential of phase change materials in major Australian cities. *Energy and Buildings*, 78, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.027>
- Altıntaş, B.** (2012). *Güneş enerjisi destekli ısı depolama sisteminin termodinamik modeli ve endüstriyel uygulamaları. (Yüksek lisans tezi)*. Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Alva, G., Liu, L., Huang, X., & Fang, G.** (2017). Thermal Energy Storage Materials and Systems for Solar Energy Applications. *Annual Review of Heat Transfer*, 68, 693–706. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.021>
- Arslankaya, Ş. M.** (2016). *Yerleşme Birimlerinde Kentsel Dönüşümün Enerji Korunumu Açısından Değerlendirilmesi: Zeytinburnu Sahilpark Projesi (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Azpiazu, M. N., Morquillas, J. M., & Vazquez, A.** (2003). Heat recovery from a thermal energy storage based on the Ca(OH)₂/CaO cycle. *Applied Thermal Engineering*, 23(6), 733–741. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(03\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00015-2)
- Bashar, M. A.** (2016). Experimental Investigation of the Melting Behavior and the Transient Heat Transfer in a Phase Change Material (PCM). *Electronic Thesis and Dissertation Repository*, (April), 1–166. Tarihinde adresinden erişildi <https://ir.lib.uwo.ca/etd/3719>
- Berköz, E., Küçükdoğu, M., Yılmaz, Z., Kocaaslan, G., & Vd.** (1995). *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, TUBİTAK*.
- Brown, G. Z., & DeKay, M.** (2001). *Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies*. New York: Wiley & Sons.
- Bruno, F., Belusko, M., Liu, M., & Tay, N. H. S.** (2014). Using solid-liquid phase change materials (PCMs) in thermal energy storage systems. İçinde *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications*. <https://doi.org/10.1533/9781782420965.2.201>
- Büyükmihçi, M. K.** (2003). “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (3-4 Ekim, Kayseri)*. 15–22.
- Canlı, M. E.** (2017). *Güneş ışınımı altında faz değiştiren malezemenin ısı depolama davranışının deneysel incelenmesi. (Yüksek lisans tezi)*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Cirit, A.** (2012). *Binalarda Güneş Kontrol Elemanlarının Soğutma Enerjisi Yüklerine Etkisinin İrdelenmesine İlişkin Bir Çalışma (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Crosbie, M. J.** (1998). *The passive solar design and construction handbook*. Steven Winter Associates.
- Çevik, M.** (2012). *Faz değiştiren maddelerle duvar ısı yalıtımının deneysel olarak araştırılması. (Yüksek lisans tezi)*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Depe, D.** (2017). *Yenilikçi ısı depolama sistemi faz değiştiren malzemelerin bina enerji verimliliği üzerindeki etkisinin analize yönelik yaklaşım : Diyarbakır ve Erzurum örnekleri. (Yüksek lisans tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Derviş, N.** (1984). *Güneş Evleri, İSTANBUL*.
- Dheep, G. R., & Sreekumar, A.** (2014). Influence of Nanomaterials on Properties of Latent Heat Solar Thermalenergy Storage Materials – A Review. *Energy Conversion and Management*, (83), 133–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.058>
- Dincer, I., & Rosen, M. A.** (2011). *Thermal Energy Storage Systems and Applications (2nd ed)*. Ontario, CA: Wiley.
- Dizdar, H.** (2009). *İklimsel Tasarım Parametreleri Açısından Geleneksel ve Yeni Konutların Değerlendirilmesi: Diyarbakır Örneği (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Feldman, D., Shapiro, M. M., & Banu, D.** (1986). Organic Phase Change Materials For Thermal Energy Storage. *Solar Energy Materials*, 13(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0165-1633\(86\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0165-1633(86)90023-7)
- Gazioğlu, A., Akşit, F., & Manioğlu, G.** (2013). *Enerji etkin bina tasariminda isitma enerjisi tüketimini azaltmaya yönelik bir iyileştirme çalışması (11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 17/20 Nisan 2013/İzmir)*. 907–918.
- Gemicioğlu, A. G.** (2011). *Türkiye’de Enerji Verimliliği Açısından PV Sistemlerin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Günel, Ö.** (2004). *Sürdürülebilir Bina Tasarımında İklim Verilerinin Değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hawes, D. W.** (1991). *Latent heat storage in concrete (Phd. Thesis)*. (Concordia University, Montreal, Quebec, Canada). 01.10.2018 Tarihinde adresinden erişildi: <https://spectrum.library.concordia.ca/19/1/NN64740.pdf>
- Holman, J. P.** (2002). *Heat Transfer* (9th baskı). London, United Kingdom:

McGraw-Hill Education - Europe.

Huang, M. J., Eames, P. C., & Hewitt, N. J. (2006). The application of a validated numerical model to predict the energy conservation potential of using phase change materials in the fabric of a building. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(13), 1951–1960. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.02.002>

International Energy Agency. (2008). *Energy Efficiency Requirements In Building Codes, Energy Efficiency Policies For New Buildings, France.*

International Energy Agency. (2010). *Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy, France.*

Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A., & Jain, A. (2016). Thermal energy storage based solar drying systems: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.007>

Khudhair, A. M., & Farid, M. M. (2004). A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 45(2), 263–275. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00131-6](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00131-6)

Koçlar Oral, G. (1998). *Isıtma- havalandırma ders notları, İTÜ, İstanbul.*

Koçlar Oral, G. (2010). *Güneş Enerjisi ve Yapı, Diyarç Bülten.* (41). 20.05.2019 Tarihinde adresinden erişildi: <http://www.dimod.org.tr/mimarlarodasi/diyarch/diyarch1.pdf>

Koçlar Oral, G., & Manioğlu, G. (2005). *İklimle Dengeli Tasarım: Mardin, Antakya, Tasarım.*, (157), 136–142.

Koçlar Oral, G., & Manioğlu, G. (2010). *Bina Cephelerinde Enerji Etkinliği ve Isı Yalıtımı (5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 15-16 Nisan 2010, Buca – İzmir).*

Konuklu, Y. (2008). *Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu. (Doktora tezi).* Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Konuklu, Y., & Paksoy, H. Ö. (2011). *Faz Değiştiren Maddeler ile Binalarda Enerji Verimliliği, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.* 919–930.

Kumar, A., & Shukla, S. K. (2015). A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. *Energy Procedia*, 74, 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.728>

Kundakçı, B. (2004). *Mevcut Bina Kabuğunun Dolaylı Kazanımlı Güneş Enerjisi Sistemi ile İyileştirilmesi İçin Bir Yaklaşım Önerisi (Yüksek lisans tezi).* İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Lane, G. A.** (1975). *Low Temperature Heat Storage With Phase Change Materials*, *Int. J. Ambient Energy*, vol 1, issue 3 : p.155-168.
- Lechner, N.** (1991). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods For Architects*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Lei, J., Yang, J., & Yang, E. H.** (2016). Energy performance of building envelopes integrated with phase change materials for cooling load reduction in tropical Singapore. *Applied Energy*, 162, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.031>
- Manioğlu, G.** (2002). *Isıtma Enerjisi Ekonomisi ve Yaşam Dönemi Maliyeti Açısından Uygun Bina Kabuğu ve İşletme Biçimi Seçeneğinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım (Doktora tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mehling, H., & Cabeza, L. F.** (2008). *Heat and Cold Storage with PCM: An Up to Date Introduction into Basics and Applications*. New York : Springer.
- Meriç, Z.** (2011). *Çok Katlı Konutların Enerji Korunumu Açısından Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma: Maslak Vadi Konutları Projesi (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mi, X., Liu, R., Cui, H., Memon, S. A., Xing, F., & Lo, Y.** (2016). Energy and economic analysis of building integrated with PCM in different cities of China. *Applied Energy*, 175, 324–336. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.032>
- Moore, F.** (1993). *Environmental Control Systems : Heating, Cooling, Lighting*.
- Olgyay, V.** (1963). *Design With Climate*, New Jersey, University of Princeton,.
- Orhon, A. V.** (2012). *Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı*, *Ege Mimarlık*, Aralık.18–21.
- Özdemir, B. B.** (2005). *Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, H. H., Başçetinçelik, A., & Karaca, C.** (2001). *Sera Isıtma İçin Güneş Enerjili Aktif Isıtma Sistemleri*, 6. Ulusal Seracılık Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Fethiye, Muğla. 193–203.
- Paksoy, H., & Dikici, D.** (2008). *Kanalda termal enerji depolama ile temiz soğutma*, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul.
- Panayiotou, G. P., Kalogirou, S. A., & Tassou, S. A.** (2016). Evaluation of the application of Phase Change Materials (PCM) on the envelope of a typical dwelling in the Mediterranean region. *RenewableEnergy*, 97, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.043>
- Paria, S., Baradaran, S., Amiri, A., Sarhan, A. A. D., & Kazi, S. N.** (2016).

Performance evaluation of latent heat energy storage in horizontal shell-and-finned tube for solar application. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(2), 1371–1381. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5006-1>

Pasupathy, A., & Velraj, R. (2008). Effect of double layer phase change material in building roof for year round thermal management. *Energy and Buildings*, 40(3), 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.016>

Pomianowski, M., Heiselberg, P., & Zhang, Y. (2013). Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings. *Energy and Buildings*, 67, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.006>

Sajjadian, S. M., Lewis, J., & Sharples, S. (2015). The potential of phase change materials to reduce domestic cooling energy loads for current and future UK climates. *Energy and Buildings*, 93(2015), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.029>

Serbest, S. (2014). *Yerleşme Birimlerinin Enerji Korunumu Açısından Değerlendirilmesi: Halkalı Örneği (Yüksek lisans tezi)*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. 13, 318–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>

Shen, H., & Liu, X. (2016). Energy Savings Potential of Phase Change Material Integrated Building Envelope in South Texas. *International Compressor Engineering, Refrigeration and Air Conditioning, and High Performance Buildings Conferences*, (2006), 1–8.

Stritih, U. (2009). *Phase Change Materials*. (February 2012), 28–33. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84874-7>

Sutterlin, W. R. (2011). Phase Change Materials, A Brief Comparison of Ice Packs, Salts, Paraffins, and Vegetable-derived Phase Change Materials. *Entropy Solution*, 1–15. 03.08.2018 Tarihinde adresinden erişildi: <http://www.pharmoutsourcing.com/Featured-Articles/37854-Phase-Change-Materials-A-Brief-Comparison-of-Ice-Packs-Salts-Paraffins-and-Vegetable-derived-Phase-Change-Materials/>

Tönük, S. (2001). *Bina Tasarımında Ekoloji*.

TS 825. (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*.

Xu, X., Zhang, Y., Lin, K., Di, H., & Yang, R. (2005). Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings. *Energy and Buildings*, 37(10), 1084–1091. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.016>

Yalçınkaya Çalışkan, F. (2011). *Toplu Konut Yerleşimlerinin Güneş Işınımı*

- Kazancı Açısından Değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Yaşan, A. Ş.** (2011). *Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma (Yüksek lisans tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Yılmaz, Z.** (2008). *Passive Solar Energy Systems Ders Notları.*
- Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G., & Manioğlu, G.** (2000). *Isıtma Enerjisi Tasarrufu Açısından Bina Kabağı Isı Yalıtım Değerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi, Proje No: 985 Sonuç Raporu, İ.T.Ü., İstanbul.*
- Yılmaz, Z., Owen, L., Ok, V., Koçlar Oral, G., Köknel Yener, A., & Manioğlu, G.** (2006). *Türkiye ve İrlanda'daki binaların enerji etkin tasarımı ve yapımı için sürdürülebilirlik stratejileri, İstanbul: İTÜ Araştırma Fonu.*
- Yılmazoğlu, M. Z.** (2010). Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 13131(10), 33–42. <https://doi.org/10.2339/2010.13.1>
- Zalba, B., Mariñ J., Cabeza, L., & Mehling, H.** (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer. *Applied Thermal Engineering* (C. 23). 30.11.2018 Tarihinde adresinden erişildi: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431102001928>
- Zeiher, L. C.** (2000). *The Ecology of Architecture, (s.81). New York: Watson-Guptill Publications.*
- Zheng, Y.** (2015). *Thermal energy storage with encapsulated phase change materials for high temperature applications.* 189. 15.09.2019 Tarihinde adresinden erişildi: <http://preserve.lehigh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2698&context=etd>
- Zhu, N., Ma, Z., & Wang, S.** (2009). Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review. *Energy Conversion and Management*, 50(12), 3169–3181. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.08.019>
- Zorer, G.** (1992). *Yapılarda Isısal Tasarım İlkeleri, YTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.*
- Zorer, G.** (1995). *Dersliklerde Edilgen Sistemle Isısal Konforun Sağlanmasında Tasar Ölçütü Olarak Bir Değerlendirme Yöntemi Oluşturulması (Doktora tezi). YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Url-1.** (y.y.). PhaseChange Energy Solutions. Tarihinde 15 Ekim 2019, adresinden erişildi: <https://phasechange.com/>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Esra Elvan Özyurt
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.05.1983, İstanbul
E-posta : esra_elvan@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü