

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİNALARDA ISIL ENERJİ DEPOLAMA İÇİN FAZ DEĞİŞİM
MALZEMELERİNİN KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Gamze İLGAR

AĞUSTOS-2022
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNALARDA ISIL ENERJİ DEPOLAMA İÇİN FAZ DEĞİŞİM
MALZEMELERİNİN KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE USE OF PHASE CHANGE MATERIALS FOR
THERMAL ENERGY STORAGE IN BUILDINGS IN TERMS OF ENERGY
EFFICIENCY**

YÜKSEK LİSANS

Gamze İLGAR

**AĞUSTOS-2022
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNALARDA ISIL ENERJİ DEPOLAMA İÇİN FAZ DEĞİŞİM
MALZEMELERİNİN KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE USE OF PHASE CHANGE MATERIALS FOR
THERMAL ENERGY STORAGE IN BUILDINGS IN TERMS OF ENERGY
EFFICIENCY**

YÜKSEK LİSANS

Gamze İLGAR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Meryem TERHAN

**AĞUSTOS-2022
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Binalarda Isıl Enerji Depolama İçin Faz Değişim Malzemelerinin Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından Araştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

12/08/2022

.....
Gamze İLGAR

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında engin bilgi ve deneyimleriyle bana ışık tutan, kıymetli zamanını benden esirgemeyen, danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Meryem TERHAN'a, 21.E0117.07.01 nolu proje kapsamında bu çalışmayı destekleyen Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, hayatımın her anında yanımda olan, beni her zaman destekleyen yaşamımı kolaylaştıran kıymetli anneme, varlıklarıyla gurur duyduğum, hayatımın her döneminde yanımda olan, beni her zaman maddi ve manevi olarak destekleyen sevgili kardeşlerime en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Gamze İLGAR
GÜMÜŞHANE – 2022

ÖZET

Ülkemizde kullanılan enerji kaynaklarının kısıtlı ve bu konuda dışarıya bağlı olması sebebi ile “enerji verimliliği” önemli konular arasında yer almaktadır. Enerji tüketiminin en fazla olduğu yerlerden biri de konut sektörüdür. Konutlarda harcanan enerji oranını düşürmek için de günümüzde enerji etkin bina tasarımına önem verilmektedir.

Binalarda enerji performansını artırmak için birçok çalışma yapılmış ve literatüre girmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi de binalarda ısıl enerji depolayan faz değiştiren malzemelerin (FDM) kullanılmasıdır. FDM’lerin kullanımı ülkemizde öncelikli araştırma alanları kapsamına girmektedir.

Çalışma kapsamında binaların dış duvarında FDM’lerin kullanımının enerji verimliliği incelenmiştir. Bunun için, bina simülasyon programı “DesignBuilder” kullanılarak enerji senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre en etkin tasarım belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında, enerji tüketim değerlerinin düşürülmesi sonucunda karbon emisyon oranlarının da azalmasıyla çevre dostu yaklaşımlar sunulmuştur.

Tez çalışmasında, FDM’lerin binalarda ısıl enerjiyi depolamak için kullanılmasıyla güneş enerjisinden daha uzun süre faydalanmak da amaçlanmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarından, kullanılan FDM’lerin çeşidinin ve dış duvar yapı bileşenindeki yerinin, yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi kazancında etkin bir role sahip olduğu görülmüştür. İnfiniteRPCM21C’nin yıllık soğutma enerjisi kazancının %18.99 oranında, BioPCM27/Q21’in yıllık ısıtma enerjisi kazancının %21.32 oranında olduğu ortaya çıkmıştır.

Analizler sonucunda FDM’lerin binalarda kullanımının enerji verimliliğini arttırarak, tüketim maliyetlerinin düşürülmesinde önemli derecede katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışmasının hem ulusal ve uluslararası literatüre hem de sektöre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Binalarda ısıl depolama, DesignBuilder, Enerji verimliliği, Faz değiştiren malzemeler, FDM entegreli dış duvar.

SUMMARY

Energy efficiency is priority research topics because of limited energy resources and foreign-dependent. One of the places highest energy consumption is housing sector. In order to reduce energy consumed , energy-efficient design is given importance today in residences.

Many studies have been carried out to increase energy performance in buildings, have entered the literature. One of studies is the use of phase change materials (PCM) that store thermal energy. The use of PCM is within the scope of priority research topics.

Within the scope of the study, using PCMs on the exterior walls of the buildings was examined for energy efficiency. So, energy scenarios were created by using simulation program "DesignBuilder". The most effective design was determined according to these scenarios. In addition, environmentally friendly approaches have been introduced the reduction of carbon emission rates as a result of the reduction in energy consumption values.

In thesis, it is aimed to benefit from solar energy by using FDMs. From the analysis results, it has been obtained that type of used PCMs and their location in building wall have effective role in the annual heating and cooling energy gain. It has been revealed annual cooling energy gain of InfiniteRPCM21C is 18.99%, annual heating energy gain of BioPCM27/Q21 is 21.32%.

As a result, it has been concluded that using of PCM in buildings contributes significantly to reducing consumption costs by increasing energy efficiency.

It is thought that this thesis study will contribute to both national and international literature and the sector.

Keywords: Thermal storage in buildings, DesignBuilder, Energy efficiency, Phase change materials, FDM integrated exterior wall.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	IV
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
EKLER DİZİNİ.....	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	16
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Verimliliği	1
1.2. Yenilenebilir (Alternatif) Enerji.....	3
1.3. Güneş Enerjisi	3
2. BİNALARDA ENERJİ DEPOLAMA	5
2.1. Isı Depolama Yöntemleri	5
2.2. Faz Değiştiren malzemeleri (FDM)	6
2.2.1. Binalarda FDM.....	8
2.2.2. FDM'in Kullanım Alanları.....	11
2.2.3. FDM'lerin Binalara Eklenme Yöntemleri:.....	13
2.2.4. FDM'in Sınıflandırılmaları	15
2.2.5. FDM'de Kullanılan Organik Bileşikler.....	16
2.2.6. Organik FDM'in Avantajları:.....	17
2.2.7. Organik FDM'in Dezavantajları.....	18
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
4.1. Simülasyonu Yapılan Villa için Bilgiler	26
4.1.1. Mimari Bilgiler.....	26
4.1.2. İklimsel Bilgiler.....	28
4.1.3. Simülasyonu Yapılan Villanın Program Bilgileri	32
4.1.4. Faz Değiştiren Malzemelerin Özellikleri	33
4.1.5. Faz Değiştiren Malzemelerin Isıl iletkenlik Katsayısına Etkisi	33

4.1.6.	Isıl Direnç (R).....	33
4.1.7.	Isıl İletkenlik katsayısı (U)	34
4.1.8.	Dış duvarın enerji dengesi denklemi	34
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
5.1.	Faz Değiştiren Malzemelerin Karşılaştırılması.....	37
5.2.	Faz Değiştiren Malzemelerin Farklı Tip Senaryoları.....	39
5.3.	Faz Değiştiren Malzemelerin Isıtma ve Soğutma Amaçlı Kullanılması.....	45
5.4.	Kullanılan FDM Çeşidinin İrdelenmesi	59
5.4.1.	İnfiniteRPCM21C'in performansının irdelenmesi	59
5.4.2.	İnfiniteRPCM23C'nin Performansının irdelenmesi.....	61
5.4.3.	İnfiniteRPCM25C'nin performansının irdelenmesi	62
5.4.4.	BioPCMM27/Q21'in performansının irdelenmesi.....	63
5.4.5.	BioPCMM27/Q23'ün performansının irdelenmesi	65
5.4.6.	BioPCMM27/Q25'in performansının irdelenmesi.....	66
5.4.7.	Kullanılan FDM'nin etkisinin tiplere göre irdelenmesi	67
5.4.8.	Kullanılan FDM'nin etkisinin erime sıcaklığına göre irdelenmesi	70
5.4.9.	Oluşturulan senaryoların aylara göre irdelenmesi	72
5.4.10.	Oluşturulan senaryoların farklı bir lokasyon örneğinde irdelenmesi	97
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
	KAYNAKÇA.....	107

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Simülasyonu yapılacak villanın mimari bilgileri.....	27
Tablo 2. Simülasyonu yapılacak olan villanın lokasyon bilgileri.....	29
Tablo 3. İstanbul iline ait 90 yıllık ortalama sıcaklık değerleri (MGM 2021).....	29
Tablo 4. Faz değıştiren malzemelerin özellikleri.....	33
Tablo 5. Farklı FDM'lerin yıllık enerji tasarrufları	37
Tablo 6. Senaryo1-Dış duvar yapı bileşenlerinin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri	42
Tablo 7. Senaryo2-Dış duvar yapı bileşenlerinin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri	43
Tablo 8. Senaryo3-Dış duvar yapı bileşenlerinin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri	44
Tablo 9. Senaryolara göre ısı iletkenlik katsayı değerleri.....	45
Tablo 10. FDM'siz villanın yıllık ortalama ortam şartları.....	46
Tablo 11. İnfiniteRPCM kullanılan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri	50
Tablo 12. BioPCMM27 kullanılan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri	52
Tablo 13. FDM kullanılmayan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri.....	54
Tablo 14. İnfiniteRPCM21C ve BioPCM27/Q21 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı	55
Tablo 15. İnfiniteRPCM21C ve BioPCM27/Q21 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji kazancı	56
Tablo 16. İnfiniteRPCM23C ve BioPCM27/Q23 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı	57
Tablo 17. İnfiniteRPCM23C ve BioPCM27/Q23 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji kazancı	57
Tablo 18. İnfiniteRPCM25C ve BioPCM27/Q25 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı	58
Tablo 19. İnfiniteRPCM25C ve BioPCM27/Q25 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji kazancı	58
Tablo 20. Tip1 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları.....	74
Tablo 21. Tip2 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları.....	75
Tablo 22. Tip3 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları.....	76
Tablo 23. Tip4 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları.....	77
Tablo 24. Tip5 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları.....	78
Tablo 25. Tip1 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları.....	79
Tablo 26. Tip2 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları.....	80

Tablo 27. Tip3 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları.....	81
Tablo 28. Tip 4 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları.....	82
Tablo 29. Tip 5 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları.....	83
Tablo 30. Isıtma enerjisi kazancında en verimli senaryoların aylara göre dağılımı	91
Tablo 31. FDM'lerin ısıtma enerjisi kazançlarında etkili aylara göre optimum erime sıcaklıkları.....	93
Tablo 32. FDM'lerin soğutma enerjisi kazançlarında etkili aylara göre optimum erime sıcaklıkları.....	95
Tablo 33. FDM'lerin soğutma enerjisi kazançlarında etkili aylara göre optimum erime sıcaklıkları.....	97
Tablo 34. İzmir iline ait 83 yıllık ortalama sıcaklık değerleri (MGM 2021).....	98
Tablo 35. İzmir lokasyonlu FDM'siz ve FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları.....	99
Tablo 36. İzmir lokasyonlu FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi kazancı	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Faz değişimi sırasında hissedilir ısı ve gizli ısı ile sıcaklığın kontrolü (RGEES)	7
Şekil 2. Binalarda gece ve gündüz zamanlarda FDM	10
Şekil 3. FDM ısı performans iyileştirme yöntemleri (Mundra, 2021)	11
Şekil 4. FDM’lerin bina kabuğunda kullanım yerleri (Murathan, 2020).....	12
Şekil 5. Bina yapı elemanları ile birlikte kullanılan farklı makrokapsüllenme biçimleri (Liu, 2018)	15
Şekil 6. FDM sınıflandırılması (Sivanathan vd. 2020)	16
Şekil 7. Trombe duvarının şematik gösterimi (NREL, 2005)	19
Şekil 8. Trombe duvarında güneşin mevsimsel açısı. (Keskin, 2012)	21
Şekil 9. Simülasyonu yapılan villa.....	27
Şekil 10. Güney duvara güneşin geliş açısı-1	28
Şekil 11. Güney duvara güneşin geliş açısı-2.....	28
Şekil 12. İstanbul ili yıllık sıcaklık değerlerinin saatlik verileri	30
Şekil 13. İstanbul ili yıllık hava basıncı değerlerinin saatlik verileri	30
Şekil 14. İstanbul ili yıllık rüzgar hızı değerlerinin saatlik verileri	31
Şekil 15. İstanbul ili yıllık güneş açısı değerlerinin saatlik verileri	31
Şekil 16. İstanbul ili yıllık güneş ışıma değerlerinin saatlik verileri.....	32
Şekil 17. FDM çeşitlerinin aylara göre ısıtma enerjisi kazançları	38
Şekil 18. FDM çeşitlerinin aylara göre soğutma enerjisi kazançları.....	39
Şekil 19. Senaryo 1-Tipler	40
Şekil 20. Senaryo 2-Tipler	41
Şekil 21. Senaryo 3-Tipler	42
Şekil 22. Simülasyonu yapılan villanın HVAC verileri.....	46
Şekil 23. FDM’siz villaya ait sıcaklık diyagramı	47
Şekil 24. Simülasyonu yapılan villanın zonelerine ait görsel.....	48
Şekil 25. DesignerBulder programı External Wall parametreleri penceresi	48
Şekil 26. İnfiniteRPCM21C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı.....	60
Şekil 27. İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı.....	62
Şekil 28. İnfiniteRPCM25C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı.....	63

Şekil 29. BioPCMM27/Q21 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı.....	64
Şekil 30. BioPCMM27/Q23 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı.....	66
Şekil 31. BioPCMM27/Q25 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı.....	67
Şekil 32. FDM'siz ve 21°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı	69
Şekil 33. FDM'siz ve 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı	69
Şekil 34. FDM'siz ve 25°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı	70
Şekil 35. 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model FDM'lerin erime sıcaklıklarına göre ısıtma enerjisi ihtiyacı	71
Şekil 36. 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model FDM'lerin erime sıcaklıklarına göre soğutma enerjisi ihtiyacı	72
Şekil 37. 21 Mayıs tarihli Tip1 11.20 mm İnfiniteRPCM21C'nin saatlik sıcaklık değişimi	85
Şekil 38. 22 Mayıs tarihli Tip1 22.40 mm BioPCMM27/Q23'ün saatlik sıcaklık değişimi	85
Şekil 39. 8 Ekim tarihli Tip2 model 33.60 mm İnfiniteRPCM23C'nin saatlik sıcaklık değişimi	86
Şekil 40. 11 Kasım tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'ün tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi	87
Şekil 41.4 Kasım tarihli Tip4 model BioPCMM27/Q21'in tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi	88
Şekil 42. 31 Ekim tarihli Tip5 model BioPCMM27/Q23'ün tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi	89
Şekil 43. Tip3 model 33.60 mm kalınlığında FDM'li ve FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı	90
Şekil 44. İzmir lokasyonlu FDM'li ve FDM'siz villanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	101
Şekil 45. 10 Ekim tarihli Tip3 model 22.40 mm kalınlığında BioPCMM27'in tüm erime sıcaklıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi	101
Şekil 46. 29 Ocak tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'nin tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi	102

Şekil 47. İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık soğutma enerjisi kazancı	103
Şekil 48. Tip3 model 11.20 mm kalınlığında ki İnfiniteRPCM’lerin aylık soğutma enerjisi ihtiyacı	103
Şekil 49. Tip3 model 33.60 mm kalınlığında ki BioPCMM27’lerin aylık soğutma enerjisi ihtiyacı	104



EKLER DİZİNİ

Ek 1. Tezde Kullanılan FDM'lerin ısıtma ve soğutma enerjisi (kWh)	114
Ek 2. Tezde kullanılan İzmir lokasyonlu FDM'lerin ısıtma ve soğutma Enerjisi	125



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASHRAE	: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers
FDM	: Faz değıştiren malzemeler
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
HVAC	: Heating, Ventilation, Air Conditioning
kWh	: Kilowatt saat
m	: Metre
m ²	: Metrekare
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
PCM	: Phase-change material
°C	: Santigrat derece
TED	: Termal enerji depolama
W	: Watt
vd.	: Ve diğeri

1. GİRİŞ

Ülkelerin yenilenebilir enerji için istek ve hedefleri dahilinde düzenledikleri eylem planlarının, bölgesel bağlamı yansıtan uygulanabilirlik ölçütü ile mevcut eğilimlerini ileriye taşınması ve enerji mekanizmalarına güç kazandırması enerji güvenliği açısından etkilidir. Binalarda iklimsel koşullar dikkate alınarak öncelikle yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarının azaltılması daha sonra da hacimler arasında enerji harcamalarının dengelenmesi veya minimuma indirilmesi enerjinin korunması öncelikli bir hal almıştır. Bu hedefe yönelik olarak, bu çalışmada binaların yapım kademlerinde, enerji açısından etkili tasarımlarına ilişkin alınacak önlemlerle yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarının azaltılması ve binaları oluşturan hacimler arası enerji harcamalarının dengelenmesi ele alınmıştır.

Literatürde binalarda enerji performansını artırmak için yapılan birçok çalışma mevcut olup binalarda ısıtma ve soğutma için enerji depolayan faz değişim malzemelerin kullanılması ülkemizde öncelikli araştırma alanları kapsamına girmekte olup bu tez çalışmasının hem ulusal ve uluslararası literatüre hem de sektöre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Faz değişim malzemelerinin en etkili bir şekilde kullanılması ülkemiz ekonomisine katkıda bulunacaktır.

1.1. Enerji Verimliliği

Dünya genelinde enerjinin tüketim maliyetinin boyutu ülkeler için ciddi bir mali öneme sahip olmakla beraber ekonomi stratejilerinde ve ülkelerin kalkınma planlarında göz ardı edilemeyecek bir paya sahiptir. İleri dünya görüşüyle tüketim kalıplarında olası değişiklikler sağlayabilen, enerji tasarrufu konusunda başarıyı yakalayabilen ülkeler, bu başarının geri yansımaları ile birlikte hem maliyet hem de yaşam konforu açılarından geniş bir yelpazede kazançta sahip olmaktadır. Enerji sistemlerinin uzun vadede karlı sonuçlar doğurması ileriye dönük alternatif enerji politikalarına zemin hazırlayarak, çevresel ve sosyoekonomik koşullara uygulanan bölgesel kriterleri düzenlemekle kalmayıp talep ve isteklere karşı cevap olabilmektedir.

Günümüzde dünya çapında enerji kullanımının artmasıyla birlikte enerji kaynaklarının azalması, daha verimli ve yüksek enerji elde edilmesine yönelik araştırmaların popüleritesini artırmaktadır. Enerji kullanımıyla ilgili sistem dizaynlarının akıllıca kontrol edilmesi, bina kullanıcılarına termal konfor sağlamanın yanı sıra ticari binalarda da büyük miktarda enerji tasarrufuna katkıda bulunur. Isıtma, havalandırma ve

iklimlendirme sistemleri, enerji talebinin etkin bir şekilde karşılanması ile binalardaki enerji tüketimini önemli ölçüde azaltarak karbondioksit emisyonlarını minimum düzeye indirilmesine aracılık eder (Wan vd. 2011). Binalardaki enerji kullanımıyla ilgili sistemlerin verimli bir şekilde kurulması için pasif tasarım stratejilerine ihtiyaç duyulmakta ve bu alandaki gelişmeler hızla ilerlemektedir.

Enerji teknolojilerinin desteklenmesine ilişkin politikalar ile temelde termoelektrik üretimi, hidroelektrik üretimi, biyoelektrik üretimi, ısıtma, iklimlendirme, soğutma, havalandırma, enerji üretimi gibi geniş perspektiflere yer verilmiş olup alternatif enerji kaynaklarının geliştirilip ülke ekonomisinin kalkınmasına, enerji tüketim maliyet yükünün azaltılmasına, üreticinin rekabet gücünün artırılmasına, gelişmekte olan teknoloji hızının ivme kazanmasına olanak sağlamaktadır.

Enerji tasarrufunun söz konusu olduğu teknolojilerde düşük maliyet oranının farklı kademelere yayılmasıyla ilgilenen paradokslar temelde mali dönüşümler, finansal kaynaklar, bölgesel performanslar gibi hedefleri dikkate alarak uygun çözüm odağı oluşturmayı planlamakta ve çok kriterli alternatif ölçütleri geniş kümelerde toplayarak çözüm analizlerini optimizasyon teknikleriyle geniş bir çerçevede değerlendirmektedir. Sektörlerin devamlılığını ve gelişimini sağlayan bir kalkınmayı sürdürülebilir hale getirebilmeleri için tüketim kaynaklarına ayrılan finansal bütçenin yüksek maliyetleri ile yüzleşerek enerji tasarrufuna ait teknolojilerin geliştirilmesine olanak sağlamaları gerekmektedir. Buna verilebilecek bir örnek olarak binaların yıl bazında birincil enerji tüketim kriterlerinin yıllık olarak değerlendirilmesi, alternatif potansiyellerin incelenmesi açısından temel mimari bileşenleri göz önünde bulundurularak ülke ekonomisine katkı sağlayacak sektör faaliyetleri kapsamında, piyasadaki temel aksaklıkların araştırılarak hedeflere yönelik çözüm önerilerinin sunulması ülkelerin ekonomik politikaları arasında yerini almaktadır. Bu politikalar sonucunda ortaya çıkan korumacı nitelikler sektörlerde yer alan enerji kullanım düzeyine ilişkin tasarımları teşvik etmektedir.

Geliştirilen politikalarının saha uygulamalarında istikrarlı bir şekilde ilerleme kaydeden ülkelerin yenilenebilir enerji için istek ve hedefleri dahilinde düzenledikleri eylem planlarının, bölgesel bağlamı yansıtan uygulanabilirlik ölçütü ile mevcut eğilimlerini ileriye taşıması ve enerji mekanizmalarına güç kazandırması ön görülmektedir.

Daha iyi yalıtım, hava sızdırmazlığının ve güneş ışıınının daha etkin kullanıldığı tasarıma sahip, gelişmiş bir bina kılıfına sahip olan pasif bir ev, enerji tüketimini mevcut binalara kıyasla % 50'den fazla oranda azaltabilmektedir (Feist vd., 2005). Isıtma ve soğutma yükü azaltma miktarı, binanın bulunduğu bölgenin iklimine bağlıdır (Bolattürk,

2008). İzolasyon ve hava sızdırmazlığı üzerine çalışma yapanlar, binaların enerji tüketimini etkin bir şekilde azaltmak için gelişmeleri takip etmektedirler.

1.2. Yenilenebilir (Alternatif) Enerji

Günümüz dünyasında yenilenemeyen (konvansiyonel) enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalıyor olması, bu enerji kaynaklarına ait yeni rezervlerin keşiflerle arttırılabilir olmasına karşın muhakkak ki bir gün tünecek olmasının bilinmesi gibi durumlar alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi her geçen gün biraz daha artırmaktadır.

Üretimi doğal proseslere dayalı olan ve kendini kaynağının tükenme hızına oranla çok daha kısa bir sürede yenileyebilen enerji kaynakları olarak tanımlanan alternatif enerji kaynakları limitsiz ve ekonomiktir. Gelişmekte olan ülkelerde gerek ülke ekonomisine sağladığı faydalar gerekse birçok sektörün ilerlemesine ivme kazandırmasıyla kalkınma planları arasında da büyük bir payda yerini alan enerji verimliliği konusu ülke ekonomisi açısından ciddi bir öneme sahiptir. Üretim maliyetinin ana parametrelerinden olan etkin ve verimli enerji konusu büyük öneme sahiptir.

Enerji verimliliği, binalarda enerji tüketiminin azaltılmasının amaçlanması, ekonomik avantajlar başta olmak üzere uzun dönemlerde bölgesel sürdürülebilirlik gibi kolaylıklar sağlamasından dolayı konunun araştırmacıları tarafından giderek artan bir ilgi görmüştür. Araştırmalarda bu önemli konu farklı bakış açılarıyla ele alınmış, kapsamlı detaylandırmalarla birçok çözüm önerilmiştir. Bu çözüm önerileri enerji yönetim sistemlerine dair mevcut literatürün yeni formüllerle yapılandırılmasını, gelişen teknolojilerle ve birleştirici unsurlarla yeni paradigmalar oluştırmakta, ortam ve konfor lehine odaklanarak mevcut yapı mimarilerine ve metodolojilerine farklı bir bakış açısı kazandırmayı amaçlamaktadır.

Temel özelliklerinin değiştirilmesine gerek kalmadan enerji dönüşüm yöntemleriyle elde edilen doğal enerjili primer enerji yöntemlerini řu şekilde sıralayabiliriz:

- Biyokütle Enerjisi
- Güneş Enerjisi
- Rüzgar Enerjisi
- Jeotermal Enerji ile Akarsu ve Dalgaların Kinetik Enerjisi

1.3. Güneş Enerjisi

İklim değişikliği karşısında yapı sektörünün hayati bir rolü bulunmaktadır çünkü yayılan sera gazının yaklaşık %40'ının kaynağı yapı sektördür (URL-1, 2020). Bu

nedenle sera gazı emisyonlarını azaltmak için binalarda ve inşaat sektöründe, yeni yöntemlere acil dönüşüm ve tekniklere ihtiyaç vardır (Barter vd., 2007).

Binalarda meydana gelen birçok sosyal uygulama arasında, iç mekan iklimlendirme, özellikle ısıtma, enerji tüketiminin en büyük payını oluşturmaktadır. Dünya genelinde ısıtma sektörü, konut ve diğer sektörlerdeki toplam enerji tüketiminin neredeyse üçte birini oluşturmaktadır (URL-2, 2014). Bu, tüm sektörlerde küresel enerji tüketiminin yaklaşık %12'sine eşdeğerdir. Güneş enerjisi, öncelikli olarak bol miktarda bulunan ve binaları ısıtmak için dönüşüm gerektirmeyen yenilenebilir bir kaynaktır. Mimari tasarımlarla güneş ışınlarının geliş açısı hesaba katıldığında, camlar bir ısı kapanı olarak kullanılabilmekte ve soğuk mevsimlerde güneş ışınlarının binaya girmesine izin vermektedir. Bu durum sınırsız, bedava ve yenilenebilir enerji sağlayan pasif bir sistem yaratır ve bir binanın enerji gereksinimi azaltarak iklim değişikliklerinde verim sağlanması için ideal bir çözüm oluşturur.

Yenilenebilir enerjiler çoğunlukla güneşten elde edilir. Bunlar biyokütle, güneş enerjisinin bitkiler tarafından fotosentez yoluyla dönüştürülmesiyle; hidroelektrik, güneş tarafından yönetilen su döngüsünden elektrik elde edilmesiyle; rüzgar enerjisi, atmosferin farklı bölgelerindeki hava kütlelerinin ısınmasıyla; deniz termal enerjisi, denizlerin ve okyanusların ısınmasıyla oluşur.

Güneş dünya yüzeyine muazzam bir enerji akışı sağlar. Eğer insanlık bu akışın %100'ünü günde sadece 15 saniye toplayabilseydi, günlük enerji ihtiyacının tamamını kolaylıkla karşılayacaktı. Dünya nüfusunun yaklaşık dörtte üçü tropik bölgeye yakın yaşamaktadır. Bu, insanlığın büyük çoğunluğunun yaklaşık 200 W / m²'lik ortalama bir ışınlama altında yaşadığı anlamına gelmektedir. İnsanın ihtiyaçlarını karşılamak için 10 m² arazinin üzerinde alınan, 2000 W'lık yeterli bir enerji, mevcut dünya ortalamasından biraz daha düşük bir değeri göstermektedir.

Bunun tersine, yüksek enlemlerde (45 derecenin üzerinde) güneş ışınlarının geliş mevsimsel olarak değişir. Kışın kuzey yarımkürede, güneş ufukta düşük ve güneş akışı çoğunlukla güneye bakan cephelerde daha yoğundur. Coğrafya konumu ile güneş ışımasının, binaların mimarisi ve kentsel tasarım üzerinde, özellikle lokasyonda ve cephe açıklıklarının boyutunda, güçlü bir etkisi vardır.

2. BİNALARDA ENERJİ DEPOLAMA

Son yıllarda, bina sektörü dünyadaki enerji tüketiminin sürekli artmasından sorumlu olmuştur. Binalardaki bu enerji tüketiminin %34'ünü ısıtma ve soğutma oluşturmaktadır (Dean vd., 2016).

Isı, camın şeffaflığı sayesinde pencerelerden kontrol edilebilir. Pencere, güneş radyasyonunun ve gün ışığının bir yapıya girmesine izin veren ve onu pasif olarak bir enerji sistemine dönüştüren paha biçilmez bir güneş kolektörüdür. Pencerenin verimliliği camın yönü, boyutu ve özelliklerine göre belirlenir. Buna göre, pasif güneş enerjisi mimarisi, enerji talebini azaltma stratejisi olarak görülebilir ve ısıtma ihtiyaçlarının azalmasına katkıda bulunabilmektedir.

Binalar ölçeğinde üç adım gerekli görünmektedir:

- binanın termal kütlelerinin incelenmesi ve gündüz vakti ısı kazanımları gece boyunca hafif bir hidrotermal rahatlık sağlayabilmesi;
- taban alanına göre güneş enerjisi kazanımlarının değerlendirilmesi ve;
- pasif güneş kazançlarının güneş termal enerjisi ile karşılaştırılması (veya bir ısı pompası ile birleştirilmiş fotovoltaiik güneş enerjisi).

Binalarda mevsim şartları hesaba katılarak yıllık enerji tasarrufunun sağlanmasıyla tüketim maliyetinin düşürülmesi kullanıcılar açısından büyük önem arz etmektedir. Binaların bulunduğu irtifa, güneş açısı, mevsim şartlarından doğan termo-fiziksel özellikler, binada kullanılan duvarın konumlandırılması, faz değişim malzemesinin yapı ve özellikleri, binanın kullanım alan koşullarının oluşumunda titizlikle planlanması ve hesaplanması amaçlanmaktadır.

2.1. Isı Depolama Yöntemleri

Isı depolama sistemlerinde kullanılan temel yöntemler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

- Katılarda depolama,
- Sıvılarda depolama,
- Mevsimsel depolama,
- Kimyasal depolama,
- Faz değişimli maddelerle depolama.

Binalarda depolama sistemi seçimi önemli bir konu olup ele alınması gereken kriterler aşağıda verilmiştir:

- Depolamanın birim hacimdeki kapasitesi
- Çalışma-ortam sıcaklığı
- Depolama kısmında sıcaklık katmanlaşması
- Isının depolaması veya boşaltılması esnasındaki güç tüketimi
- Depolanan hacimde dış malzemesinin seçimi
- Depolanan hacminde ısı kayıplarının önlenmesi
- Üretim faktörleri

Depolama alanı belirlenirken birim hacim bazında depolayabilme yeteneği yüksek olan malzemelerin belirlenmesi, eşit hacimde ki daha fazla ısı depolanabilmesi açısından önemlidir (Sivanathan vd. 2020). Depolama sistemleri söz konusu olduğunda ‘ısıl kütle’ kavramı ile sık sık karşılaşilmektedir. Bina kabuğu ısıl kütle özelliği yardımı ile ısıyı gün ışığının geldiği süre boyunca emmekte, bünyesinde depolamakta, iklim parametrelerinin etkilerini minimize ederek dalgalanmaları azaltılmak üzere depoladığı ısıyı iç ortama aktarmakta ve böylelikle iç ortam konfor koşullarını optimize etmektedir. Ayrıca ısıtma ihtiyacı duyulan dönemde de ısıtma enerjisi harcamasının artmasını engeller (Sivanathan vd. 2020).

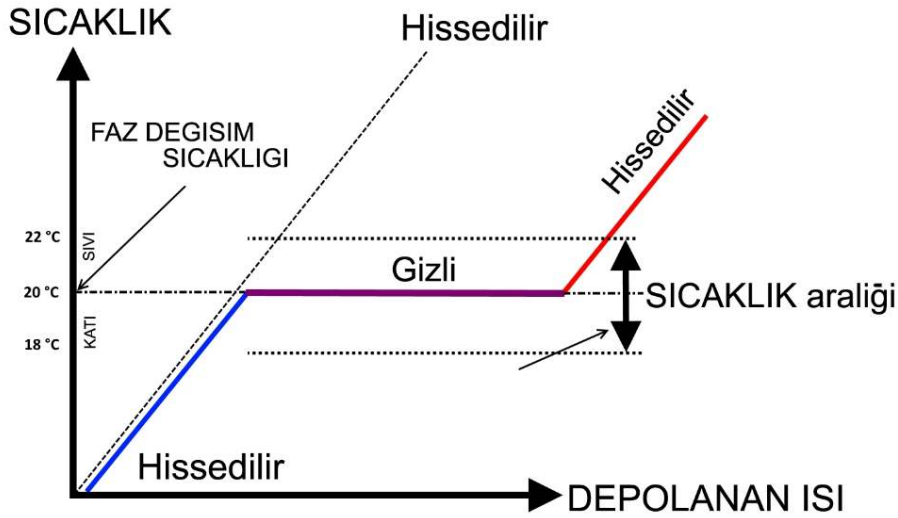
2.2. Faz Değiştiren malzemeleri (FDM)

Son yıllarda, enerji tasarrufu ve sürdürülebilir altyapı için binalarda ısıyı absorbe etme, serbest bırakma ve termal konforu artırma yetenekleri nedeniyle, FDM kullanımı hayati bir önem kazanmıştır. FDM yüksek gizli ısılarının geçici termal yükleri yönetmek için değerli bir özellik olması nedeniyle oldukça arzu edilen aday malzemeler olarak tanımlanmıştır. Hafif malzemelerden inşa edilen binalar, sıcaklık değişimlerinin iç mekanda hissedilir hava sıcaklığı dalgalanmalarına neden olabileceği için sorunludur. Buradaki sorun, hafif yapıların yeterli miktarda termal enerji depolayamamasıdır. Bu sorun termal enerji depolama kullanılarak çözülebilir. Termal enerjinin biriktirilmesi, biriken enerjinin işlem sonrasında kullanılacak olan sıcak veya soğuk maddeler şeklinde geçici olarak depolanması şeklinde tanımlanabilir (Abedin ve Rosen, 2011). İç sıcaklık ideal durumdan saptığında, yapıda biriken enerji alan boşaltmaya ve hava sıcaklığındaki dalgalanmaları stabilize etmeye başlar. Bir uygulama için bir Termal enerji depolama sisteminin seçimi, ekonomi, tedarik ve kullanım sıcaklığı gereksinimleri, depolama kapasitesi, ısı kayıpları ve kullanılabilir alan dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır (Socaciu, 2012).

FDM’ler, belirli sıcaklıklarda donarak ve eriyerek ısı enerjisini emen ve serbest bırakan maddelerdir. Diğer bir deyişle, FDM erime işlemi ve donma işlemi esnasında (bir

halden diğetine geçerek) termal enerjiyi depolayıp salıveren malzemelerdir. Bu özellikte ki malzemeler donma esnasında, gizli latent ısı ya da kristalleşme enerjisi formunda büyük bir enerji ortaya çıkarır. Aksine, malzeme eritildiğinde, katı halden sıvı hale değişirken çevre ortamından aynı oranda enerji emilir. FDM ısı enerjisi için bir pil görevi görür çünkü eridikçe ısı enerjisini emer. Kristalleşene ve depolanan enerjiyi ortama geri verene kadar soğutarak "yeniden şarj edilebilir". Isıl özelliklerinde değişiklik olmadan ısı enerjisini binlerce kez depolayabilir ve serbest bırakabilirler.

Termal enerji depolama ile ilgili iki tür ısı vardır, hissedilir ısı (sensible) ve gizli ısı (latent). Hissedilir ısı, depolanan maddenin sıcaklığını değiştiren ısı olarak tanımlanır. Sıcaklık artışına neden olan depolanan ısı miktarına genellikle depolama ortamının ısı kapasitesi denir. Faz değiştirme işlemi sırasında malzemenin sıcaklığında değişiklik olmaz. Bu sıcaklığa erime sıcaklığı denir. Öte yandan, malzemeye verilen ısıya gizli ısı denir. Gizli ısı miktarı, sıvı ve katı fazlar arasındaki entalpi farkından elde edilir. FDM tarafından gerçekleştirilen termal enerji depolaması, yalnızca hissedilir ısıdan değil, aynı zamanda özellikle gizli ısıdan yararlanır (Mehling ve Cabeza, 2008). FDM'in büyük miktarlarda enerji depolama ve salma yeteneğinin olmasının nedeni budur. Aşağıdaki Şekil 1, FDM'de gizli ve hissedilir ısı biçiminde termal enerji depolama ilkesini göstermektedir:



Şekil 1. Faz değişimi sırasında hissedilir ısı ve gizli ısı ile sıcaklığın kontrolü (RGEES).

Termal Enerji Depolama, daha sonra kullanılmak üzere sıcak ve soğukun depolanmasını sağlar. Depolamanın iki yöntemi vardır: fiziksel yöntemler (duyulur (sensible) ve gizli (latent) ısı depolama) ve kimyasal yöntemler.

Duyulur (hissedilir) ısı, sıcaklık değişimi sırasında bir madde tarafından salınan veya emilen ısı miktarıdır. Kütle, özgül ısı ve sıcaklık farkıyla hesaplanabilir (Eşitlik 1):

$$Q_{\text{hissedilir}} = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Öte yandan, gizli ısıda (Eşitlik 2), katı-sıvı durum değişikliği sırasında sıcaklıkta çok fazla değişiklik meydana gelmez:

$$\text{Depolanan gizli ısı} = m \cdot \Delta h \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Katı-sıvı fazı kullanan depolama ortamı, genellikle gizli ısı depolama malzemesi veya FDM olarak bilinir. FDM'nin temel avantajı, yaklaşık 20 °C'lık bir sıcaklıkta katılarda ve sıvılarda duyulur ısıdan hacim başına yaklaşık 3 ila 4 kat daha fazla ısı depolayabilmesidir.

Günümüz dünyasında enerjiyi yakalamak ve depolamak zordur ve bunu en iyi bir şekilde yönetmek ekonomik anlamda büyük farklar yaratır. FDM için, termal enerjinin depolanması ve salınmasının farklı uygulama alanları mevcuttur. Bazı FDM uygulamaları arasında bir odadaki sıcaklığın kontrol edilmesi, atık ısının tutulması ve depolanması veya daha sonra kullanılmak üzere soğuk bir durumda "soğuk enerji" depolanması yer alır.

Termal enerji depolama ilkesi, sıcaklıktaki artışa (hissedilir Termal enerji depolama) ve fazdaki değişime (gizli Termal enerji depolama) dayanır (Skovajsa ve ark., 2017). İlk olarak katı halden başlayarak maddeye ısı eklenmesi, önce katının hissedilir ısınmasına, ardından katıdan sıvıya faz değişimine neden olur. Bunun ardından, sıvının hissedilir bir şekilde ısınmasını, sıvıdan buhara faz değişimine ve sonunda buharın hissedilir ısınmasına sebep olur.

2.2.1. Binalarda FDM

Binalarda enerji tüketimi, iş ve konut faaliyetlerinden gelen talebe göre gündüz ve geceye göre önemli ölçüde değişmektedir. Büyük termal kapasiteleri nedeniyle, FDM'ler bina zarfı ile entegre edilerek ideal termal depolama malzemeleri olarak kullanılırlar. FDM'lerle entegre edilmiş bina kabuğu, iç mekânın termal özelliklerinin daha kararlı olmasına katkıda bulunur (Gariba, 2021). Bu nedenle, FDM tabanlı zarfın termal performansı son yıllarda binaların izolasyonunda daha fazla ilgi görmektedir.

Sıcak iklim bölgelerinde, yüksek ortam sıcaklıkları ve yoğun güneş radyasyonu nedeniyle enerjinin çoğu gün içinde tüketilir. Bu enerji tüketiminde azalma konut ve

işyeri binası kuruluşlarının zarflarına FDM dahil edilerek sağlanabilir. Binaların ısıtılması ve soğutulması için FDM uygulamaları alanında umut verici birkaç gelişme vardır. FDM'i bina zarfına yerleştirmek, bina enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır ve iç mekan termal ortamını iyileştirir. Bina zarfında uygulanan ana FDM kategorileri organik FDM'ler ve inorganik FDM'lerdir. Her ikisinin de katı-sıvı faz akış özellikleri vardır ve faz geçişi belirli bir sıcaklık aralığında gerçekleşir. Gece boyunca FDM, ısıyı hem binaya hem de dış ortama dağıtan sıvı fazdan katı faza doğru hal değiştirir. Bu işleme katılaşıma veya boşaltma işlemi denir. Bu işlem kış aylarında avantajlıdır, çünkü açığa çıkan ısı, binanın ısıtılmasına yardımcı olur.

Pek çok FDM, yüksek derecede yanıcı olan ve dolayısıyla binalarda kullanımlarını engelleyen parafin bazlı malzemelerden türetilmiştir. Parafin, kimyasal olarak kararlı, yüksek gizli füzyon ve faz değişim döngülerinden sonra termal özelliklerde düzenli bozunmaya sahip olduğu için en yaygın kullanılan organiktir. Bununla birlikte, parafin, oksijene maruz kaldığında düşük ısı iletkenliğine, yanıcı ve yavaş oksidasyona sahiptir. Bu sorunlar, konteyner tasarımında zorluklar ortaya çıkarmaktadır (Er, 2012). Tuz hidratları, inorganik FDM'in önemli bir grubu olarak, bina zarfında kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Tuz hidratlarının en ciddi sınırlaması, parafine kıyasla faz ayrımı ve aşırı soğutmadır. Diğer bir sorun, tuz hidratlarının yapı malzemeleri ve metal kaplarda korozyona neden olmasıdır. Bu sorunlar bina zarfındaki uygulamalarını sınırlamaktadır (Akçay, 2006).

Yeni geliştirilen organik bazlı FDM'ler, burada "BiyoFDM" olarak adlandırılır, geleneksel FDM'den daha az yanıcı olduğu için güvenliği artırır. BiyoFDM, erime noktasının -22.7 °C ila 78.33 °C arasında değişebileceği şekilde de üretilebilir ve bu, çeşitli iklim bölgelerinde kullanımını kolaylaştırır. BiyoFDM, aralarında hava boşlukları bulunan ayrı bloklar olarak kapsülendir. Bu bloklar bina zarfına (duvarlar, zemin ve tavan) yerleştirilir. BiyoFDM, yüksek ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonunun olduğu gün boyunca büyük miktarlarda termal enerji depolayarak erir (fazı katıdan sıvıya değiştirir). Buna eritme veya doldurma işlemi denir. Bu işlem sırasında binaya ısı kazancı azaltılır ve dolayısıyla HVAC sistemi binayı soğutmak için daha az enerji tüketir.

Bina kılıfında gizli ısı termal enerji depolama sistemi olarak FDM kullanılması, bu teknolojinin yüksek enerji depolama kapasitesi nedeniyle pasif soğutma uygulamaları için büyük ilgi görmüştür. Bununla birlikte, bir FDM'in tam potansiyelinden yararlanmak için, her döngüde tam olarak şarj edilmesi gerekir. Gece havalandırması, FDM'i gerekli her döngüde şarj etmek amacıyla FDM destekli ofis binalarında kullanılabilen etkili bir yöntemdir.

FDM'in ertesi gün ısıyı emebilmesi için gece katılaştırılması gerekir. Genellikle, iç ortam termal düzenlemesi için, FDM, bina zarfının iç tarafına kurulur. Bundan dolayı, FDM geceleri tamamen katılaşmayabilir çünkü izolasyon dış ortama ısı kaybını önler ve FDM'de depolanan ısı iç ortama boşaltılır, böylece alan soğutma için önemli bir enerji tasarrufu veya daha yüksek enerji tüketimi ile sonuçlanmaz (Chandel, 2017). (Şekil 2).



Şekil 2. Binalarda gece ve gündüz zamanlarda FDM

FDM'in en belirgin özellikleri faz değişimi esnasında sabit sıcaklık veya dar sıcaklık aralığında termal enerjiyi yani gizli ısıyı depolayabilmeleridir. FDM genellikle oda sıcaklığında katı olarak bulunmaktadır. FDM'ye sıcaklık verildiğinde kimyasal bağları ayrılarak yani eriyerek termal enerjiyi depolamaktadır. Sıcaklık düşürüldüğünde ise FDM yeniden katı faza geçerek depoladığı termal enerjiyi salıvermektedir. FDM'ler binlerce çevrim yaparak yapılarında bozulma olmadan özelliklerini korurlar. FDM içi gizli ısı depolama uygun sıcaklıkları 20-30 °C aralığında etkilidir.

Binalarda ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarının azaltılmasında FDM'in ısııl enerji depolama özelliklerinden yararlanılmaktadır. FDM'ler yüksek depolama yetenekleri sayesinde uygulandıkları bina bileşeninde ısının dengede tutulmasıyla korunmasını sağlarlar. FDM'ler iklim tiplerine göre farklı performansa sahip olmakla birlikte çeşitlerine göre hem kış aylarında hem de yaz aylarında enerji ihtiyacını azalttığı bilinmektedir. FDM uygulamalarında en iyi sonuçlar, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkının daha belirgin olduğu karasal iklimlerde elde edilmektedir (Sivanathan vd. 2020). Bir FDM'deki ısı transferi, yüksek derecede termal iletken malzemelerin eklenmesiyle artırılabilir. Üstün özellikleri - yüksek ısı iletkenliği, iyi işlenebilirlik ve kimyasal

eylemsizlik nedeniyle grafit veya metal kalıplar bu amaç için belirgin avantajlara sahiptir (Schmitt vd., 2010) (Şekil 3).



Şekil 3. FDM ısı performans iyileştirme yöntemleri (Mundra, 2021).

2.2.2. FDM'in Kullanım Alanları

Genel olarak, FDM belirli bir sıcaklık seviyesinde geçirdikleri faz değişimine göre ayırt edilirler. FDM çalışma sıcaklıklarında belirli bir fazdan diğerine fiziksel dönüşümlerine, örneğin katıdan sıvıya veya sıvıdan gaza, geçmelerine göre sınıflandırılırlar ve bunun sonucu olarak, termal enerjiyi soğurma / depolama veya serbest bırakma özellikleri gösterirler (Kee vd., 2018). FDM, genellikle erime ve kristalleşme davranışlarından yararlanılarak elde edilen kontrollü ve verimli termal enerji depolamaya (TED) ve salımlara dayanan uygulamalar için oldukça faydalıdır.

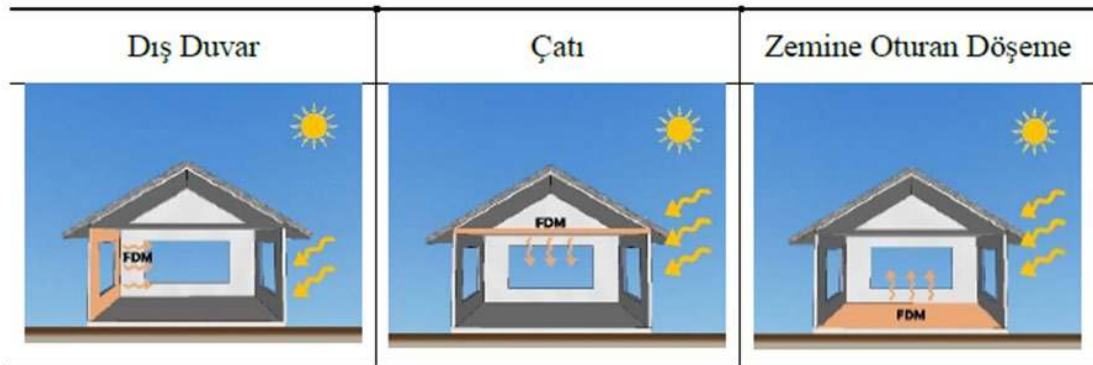
Taşıdıkları yüksek enerji yoğunluğu, doğada bol bulunması, geniş sıcaklık aralıklarına sahip olmaları ve düşük maliyetli olmaları gibi sayısız benzersiz avantajları nedeniyle, FDM'ler genellikle inşaat malzemeleri, elektronik cihazlar, lityum iyon pilleri ve su tanklarının ısı depolaması için güneş enerjisi sistemlerinin kullanım verimliliğini artırmak için ilgi çekici olmaktadır (Yang vd., 2016; Abdelsalam vd., 2020). Yüksek miktarda enerji çevrimini depolayıp serbest bırakabilen, dar bir faz değişim sıcaklık

aralığına sahip yüksek bir gizli ısı değerine sahip olduklarından FDM'ler özellikle tercih edilirler.

FDM birçok farklı uygulamada yaygın olarak kullanılır. Bunlar, akıllı termal mikro şebekelerin geliştirilmesi; taşınabilir termal piller; iç mekan ısı yönetim sistemleri; ısıyı düzenlenebilen tekstil ürünleri; güneş enerjisiyle çalışan ocaklarda, güneş enerjisiyle ısıtma sistemleri; buzdolapları; binalarda termal konforun artırılması; yapı malzemelerinin termal performansının artırılması; enerji tasarrufu sağlayan ekipmanların imalatı ve sağlık hizmetlerinde kullanılabilir (Ng vd. 2017; Umair vd. 2019).

FDM teorik olarak, kaya ve su gibi geleneksel ısı depolama malzemelerine göre birim hacim başına 5-14 kat daha fazla termal enerji depolayabilirler (Sharma vd. 2009). Yüksek depolama yoğunlukları, izotermal koşullar altında çalışan kompakt bir enerji depolama sisteminin elde edilmesini sağlar (Pomianowski vd. 2013). Son zamanlarda, fosil yakıt tüketim hacmini azaltmak için mevcut en pratik çözüm olarak kabul edildiğinden, FDM'ler bina enerji koruma sistemlerinde ve güneş enerjisiyle ısıtmada enerji verimliliğini artırmak için kullanılmakta ve geliştirilmektedir (Saafi ve Daouas, 2019; Fabiani vd. 2020). Binalarda FDM teknolojisinin kullanılması, bina zarfından aktarılan ısıyı azaltarak ısıtma ve soğutma yüklerini azaltır. Böylece sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak iç ortam sıcaklığını bina sakinlerinin termal konforu aralığında tutar. Sonuç olarak, binanın toplam enerji tüketimi önemli ölçüde azalır.

FDM, tavanların, duvarların ve zeminlerin termal depolama kapasitesini artırmak için genellikle alçıpan, alçı, beton veya diğer malzemelere empenye edilir. Bazı FDM imalatçıları, yapılar içine katmanlar olarak dahil edilebilen saf FDM "ceplerinden" matlar da sağlarlar (Şekil 4).



Şekil 4. FDM'lerin bina kabuğunda kullanım yerleri (Murathan, 2020).

Genel olarak, FDM'ler aşağıdaki istenen özelliklere sahip olmalıdır:

- Tersinir donma/eritme döngüsünün tamamlanmasını sağlamak için iyi kimyasal özelliklere sahip olmalı,
- Uzun vadeli kimyasal tutarlılık,
- Diğer malzemelerle iyi uyumluluk,
- Uzun süreli termal döngülere tabi tutulduktan sonra hiçbir bozulmaya uğramamalı,
- Aşındırıcı olmamalı,
- Toksik olmamalı,
- Yangın tehlikesi olmamalı ve yalnızca patlayıcı olmayan bileşikler içermelidir. (Khan vd. 2016).

2.2.3. FDM'lerin Binalara Eklenme Yöntemleri:

FDM'in binalarda yapı malzemesi olarak kullanılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar:

- Doğrudan birleştirme,
- Daldırma,
- Mikro veya makro kapsüllenmiş FDM,
- Şekli kararlı hale getirilmiş FDM eklenmesi ve
- Yapısı kararlı FDM kompozitlerinin eklenmesi yöntemleridir (Frigione vd., 2019).

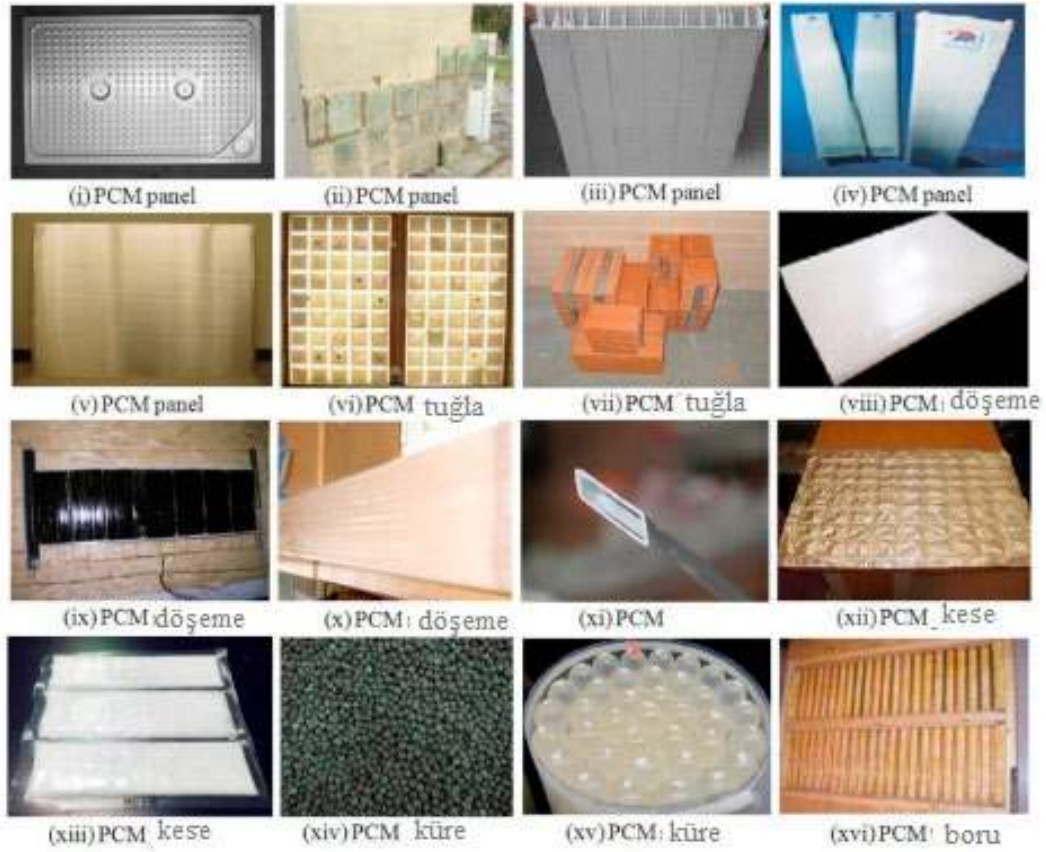
Doğrudan birleştirme, en basit, pratik ve ekonomik yöntemdir. Bu durumda aslında FDM doğrudan inşaat malzemesi ile karıştırılır. Doğrudan birleştirme yöntemleri; sıvı, jel veya toz FDM harç, sıva gibi yapı malzemesiyle karıştırılarak kullanılması işlemidir. Bu yöntemin ana avantajı, fazla ekipman gerekmediğinden prosedürün basitliği ve ucuzluğunda yatmaktadır (Zhou vd., 2012).

Daldırma yöntemi sıcak, erimiş FDM'nin içine daldırılan yapı malzemesinin boşluklarına sıvı FDM'nin emdirilerek soğumaya bırakılması işlemidir (Whiffen ve Riffat, 2013).

Bazı durumlarda yapı malzemeleri FDM'lerle etkileşime girerek onların karalılık ve özelliklerini bozabilir. Bunu azaltmak için, FDM'lerin uygun bir kabuk malzemesinde kapsüllenmesi gerekir (Hassan vd., 2016). Kapsülleme, tek tek katı parçacıklar veya sıvı damlacıklar formundaki bir veya daha fazla bileşiğin (yani, çekirdeğin), bir veya daha fazla malzemedan oluşan sürekli bir polimerik film aracılığıyla koruyucu bir tabaka (yani, kabuk) ile çevrelenmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Bir çekirdek-kabuk yapısı üretmek için veya esas olarak yalıtım ve böylece ışık, yüksek oksijen konsantrasyonu, ısı gibi

çeşitli dış çevresel faktörlerden çekirdek maddeyi (FDM) korumak için iç çekirdek malzemesinin koruyucu malzeme matrisi boyunca dağıldığı, nem ve ayrıca uçucu bileşiklerin buharlaşmasını önlemek, hoş olmayan kokuları ve tatları maskelemek veya iç malzemeyi kontrol edilebilir hızlarda serbest bırakmak için FDM kapsülleme işlemi yapılır (Comunian vd. 2016).

Kapsülleme yöntemi; FDM tüp, panel veya küre gibi kapsül içine koyularak yapı malzemesi içine entegre edilmesi makrokapsülleme işlemi; FDM polimerik film ile kaplanarak mikroskobik kapsül içinde yapı malzemesine entegre edilmesi mikrokapsülleme işlemi olarak tanımlanmaktadır. 1 nm (nanometre) ile 1mm arasında farklı boyutlarda kapsüller oluşturulabilir. Mikrokapsülleme katı halde bulunan FDM 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. FDM binalarda kullanımı için piyasada bulunan ürünlerden mikrokapsüllenmiş olarak sıva uygulamaları tercih edilmekle beraber, makrokapsüllenmiş olarak şilte FDM sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 5). Şilte FDM, uygun detay çözümleriyle farklı şekillerde kullanım imkanına sahiptir. Dolayısıyla bu FDM uygulama kolaylığı ile farklı yapı elemanlarında geniş kullanım alanına sahiptir. Bunlar binalarda, döşemelerde, duvarlarda, asma tavan ve çatılarda kullanılabilmektedir (Sivanathan vd. 2020).



Şekil 5. Bina yapı elemanları ile birlikte kullanılan farklı makrokapsülleme biçimleri (Liu, 2018).

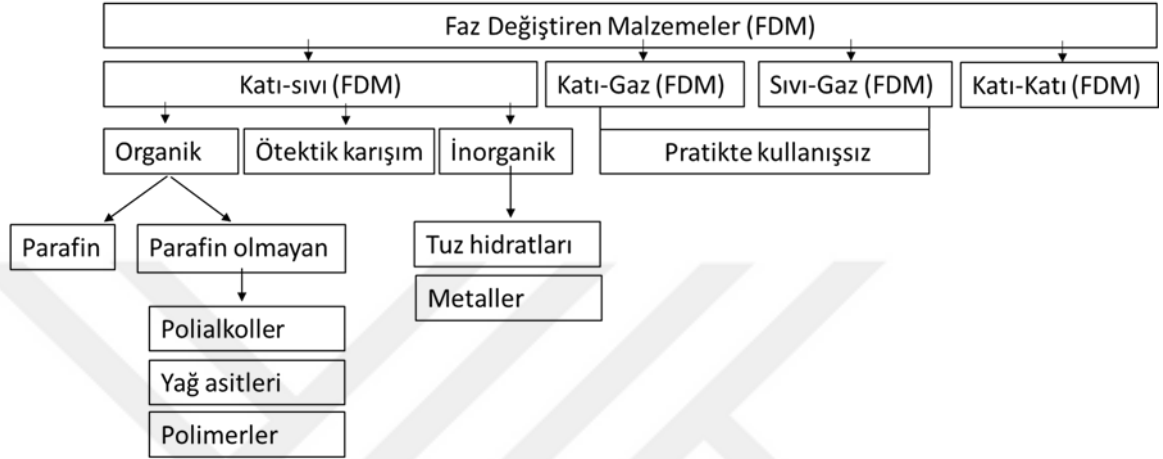
Şekli kararlı hale getirilmiş FDM ya harmanlama, adsorpsiyon ve emprenye etme gibi fiziksel yöntemlerle ya da kimyasal yöntemlerle (graft kopolimerizasyonu ve sol-jel yöntemleri dahil) elde edilebilir (Amaral vd., 2017). Şekli kararlı hale getirilmiş FDM'leri imal etmek için kullanılan malzeme destekleri, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), stiren ve bütadien gibi polimerlere dayalı organik malzemelerden ve aynı zamanda inorganik gözenekli malzemelerden oluşabilir. Şekli karalı hale getirilmiş FDM kompozitleri, karbon bazlı nanoyapıların dahil edilmesiyle gelişmiş termal iletkenlik gösterir. Bunlara örnek olarak, genişletilmiş grafit, sıkıştırılmış genişletilmiş doğal grafit, nano-grafit, nanoplateletler, grafen, nitrojen katkılı grafen ve grafen oksit verilebilir (Sivanathan vd. 2020).

Yapısı kararlı kompozit FDM, maksimum FDM yüzdesini koruyan ve kompozitin sıcaklığı FDM'in erime noktasına yaklaştığında hiçbir sızıntı göstermeyen bir kompozit malzemeyi tanımlamak için özel olarak kullanılır (Lv vd., 2017).

2.2.4. FDM'in Sınıflandırılmaları

LHTES sistemleri için kullanılan FDM'ler, maruz kaldıkları faz değişim mekanizmasına ve faz geçiş sıcaklığına göre dört durumda sınıflandırılabilir: (1) katı-katı

(K – K), (2) katı-sıvı (K – S), (3) katı gaz (K – G) ve (4) sıvı – gaz (S – G) (Şekil 6). Bununla birlikte, pratik amaçlar için, katı-sıvı FDM'ler yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü katı-gaz ve sıvı-gaz gibi diğer çeşitler, aşağıdakiler dahil bazı teknik sınırlamalar nedeniyle yapı malzemeleriyle uyumlu değildir (Su vd. 2015). FDM'ler, temel malzemelerine bağlı olarak üç ana kategoriye ayrılır: su bazlı, tuz hidratlar ve organik malzeme bazlı olanlar. Farklı malzemeler farklı avantajlar ve kullanılabilirlik sağlarlar.



Şekil 6. FDM sınıflandırılması (Sivanathan vd. 2020).

Belirli suhunet değerinde hal değiştirerek enerjiyi salıveren veya absorbe eden faz değiştiren malzemeler karbon kökenli, karbon kökenli olmayan ve ötektik bileşikler olmak üzere üç temel başlıkta toplanır. Bu üç grup arasında katı-sıvı faz değişimi esnasında yüksek düzeyde enerji depolayabilme kapasitesine sahip olmakla beraber çok fazla hacim değişikliğine uğramamaları sebebiyle organik kökenli olarak da adlandırılan karbon içeren bileşikler diğer bileşiklere nazaran daha çok tercih edilmektedirler. Organik kökenli faz değiştiren malzemelerin kullanımında enerji aktarım yüzeyinin artırılması ve hal değişim esnasında oluşabilecek hacim değişikliğinin denetim altında tutulması amacıyla kapsülleme çalışmaları yapılmaktadır. Organik kökenli faz değiştiren malzemeler arasında yer alan ısı depolama ve faz değişim esnasındaki yüksek performans kapasitesinden dolayı oldukça yoğun kullanılan parafin gibi malzemeler, faz değişim sırasında malzeme hacmindeki büyük değişim ve sızdırma sorunları dolayısıyla mikro ya da makro boyutta kapsülleme işlemine ihtiyaç duymaktadırlar. Bununla beraber değişik yapılardaki nano dolgu malzemelerle kullanılacak olan faz değiştiren malzemenin kimyasal dengesinin sağlanması ile ısı performansının artırılması da söz konusudur.

2.2.5. FDM’de Kullanılan Organik Bileşikler

- Poliglikol E 400

- Poliglikol E 600
- Poliglikol E 6000
- Onikiadol
- Tetradodokanol
- Bifenil
- HDPE
- Trans-1,4-polibütadien
- Propianid
- Naftalin
- Erititol
- Dimetil sülfoksit
- Kaprik asit
- Kaprisinik asit
- Laurinik asit
- Miristik asit
- Lakisol
- Palmitik asit
- Stearik asit
- Asetamid
- Propionamid (Demirbas, 2006).

2.2.6. Organik FDM'in Avantajları:

- Aşırı soğutma yapmazlar,
- Kristalizasyon işlemi sırasında faz ayrımı olmaz,
- Yüksek gizli ısı enerjisi depolama gerçekleştirir,
- Korozyona karşı yüksek dirençlidir,
- Toksisiteleri yoktur,
- Daha küçük hacim değişikliği içerir,
- İnşaat malzemeleri ile yüksek uyumludur,
- Yapılara doğrudan dahil edilebilir,
- Malzemelerin içine emprenye edilebilir,
- İyi kimyasal yapıları kararlıdır,
- Erime sıcaklıkları aralıkları yüksektir,
- Faz değişimi sırasında düşük buhar basıncına sahiptirler,

- Uzun süreli termal döngüye maruz kaldıktan sonra bile iyi termal performans, yani iyi termal davranış gösterirler,
- Mükemmel donma ve erime özellikleri vardır,
- İyi termal kararlılıkları vardır,
- Geri dönüştürülebilir,
- Kendi kendine çekirdeklenme özellikleri,
- Eş-erime özellikleri vardır.

Diğer tüm teknolojiler gibi, FDM'lerin de pratikte karşılaştığı bazı sınırlamaları vardır. İlk olarak, ideal bir FDM'nin, birim hacim başına yüksek entalpiye sahip olması, uygun bir faz değişim sıcaklığı içermesi, aşırı soğutmaya uğramaması, uzun vadeli kimyasal kararlılığa sahip olması ve yüksek termal iletkenlik dahil olmak üzere termofiziksel bir dizi kriteri karşılaması beklenir. Ne yazık ki, yukarıda bahsedilen değerlere çoğu FDM nadiren tam olarak sahiptir. Bunun sonucunda, bu eksiklikler sistemin performansının düşmesine neden olabileceği ve böylece nihai uygulamalarını engelleyebileceği anlamına gelir (Zhang vd. 2018). Ayrıca, FDM'in çoğu bina malzemesiyle uyumluluğu zayıf olduğundan, FDM'i birleştirebilen inşaat malzemeleri nispeten sınırlıdır. FDM'in iyi bilinen dezavantajları aşağıdaki gibidir:

(1) faz geçiş süreci sırasında meydana gelen sızıntı sorunu

(2) doğal olarak düşük termal iletkenlikleri (örneğin, zayıf çalışma verimliliği).

Sızıntı sorunu, ambalaj veya elektronik cihazlarda FDM kullanılıyorsa, kontaminasyon veya cihaz arızası gibi ciddi hasarlara neden olabilir. Düşük termal iletkenlik yani FDM'nin enerjiyi emdiği/depoladığı ve serbest bıraktığı hız son derece yavaş olacağı için malzemeyi uygunsuz hale getirebilir.

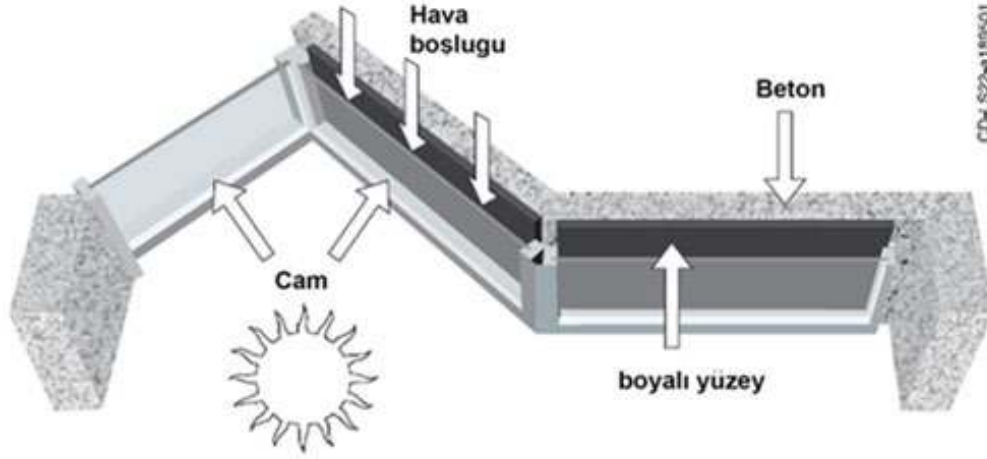
2.2.7. Organik FDM'in Dezavantajları

- Düşük termal iletkenlik (örneğin parafinler için tipik olarak yaklaşık 0,2 W/mK),
- Büyük hacim değişimi (özellikle parafinler),
- Pahalıdır, yani parafin olmayanlar, parafinlerden yaklaşık üç kat daha pahalıdır,
- Yüksek yanıcılık,
- Düşük faz değişimli entalpileri olması,
- Düşük hacimsel depolama yoğunluğu ve erime noktaları olmaları,

- Yüksek uçuculuk içermeleri.

FDM'ler Trombe duvarlarında da kullanılabilmektedirler. Pasif tasarım stratejilerinden biri olan Trombe duvarı, kaynağını gün ışığından alan, hava içerisindeki sıcaklık farkının sebep olduğu akışkan hareketiyle gerçekleşen, doğal konveksiyon aracılığıyla ısı enerjisinin konstrüksiyon içine alınması prensibine dayanır (Saadatian vd. 2012). Tipik bir Trombe duvarı, koyu renkli, ısı emici bir malzeme ile kaplanmış ve tek veya çift cam tabakası ile kaplı 20-40 cm kalınlığında bir duvardan oluşur. Küçük bir hava boşluğu oluşturmak için cam duvarları yaklaşık 2-16 cm uzağa yerleştirilir. Gün ışığından gelerek cam yüzeyinden geçen ısı, karanlıkta kalan yüzeyce emilir, duvarda depolanarak duvarın iç yüzeyinden yavaş yavaş içeriye iletilir. Duvar beton gibi yüksek ısı kapasiteli malzemelerden (suyla dolu kaplar vb.) yapılır (Zamora ve Kaiser, 2009). Emilen ısınnın iç mekana iletilmesi 10 saate kadar sürebilir. Bu duvarın harici bir camı ve depolama işlevli bir iç kütlesi vardır. Dış boşluk gölgelendirilebilir (örneğin, panjurlar ile) ve Trombe duvarları havalandırılabilir. Trombe duvarların verimliliği, dışarıya ısı kayıplarını azaltmak için low-e kaplamalı çift cam kullanılarak artırılabilir.

Low-e kaplamalar, cam yüzeyinin etkili yayılımını azaltarak, absorbe etmek yerine daha yüksek oranda uzun dalgalı kızıl ötesi radyasyonu yansıtmaktadır. İdeal olarak, gece boyunca ısı kaybını önlemek için camın dış yalıtımı ve panjurları olmalıdır (Şekil 7).

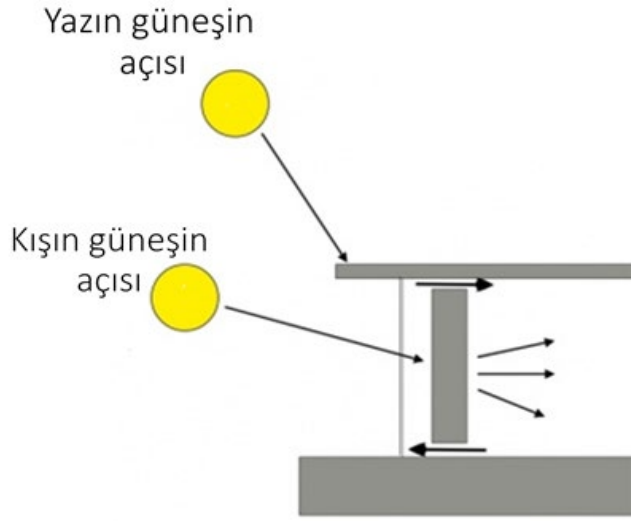


Şekil 7. Trombe duvarının şematik gösterimi (NREL, 2005).

Trombe duvarı, hava boşluğu ile iç ortam arasındaki hava ısıl sirkülasyonu için üstte ve altta havalandırma delikleri bulunan özel bir güneş duvarı türüdür. Bir Trombe duvar sisteminde, iç ortamlar ısı alışverişi hem iletim hem de havalandırma yoluyla yapılır. Çıkıntılar ve panjurlar gibi gölgeleme cihazları, güneş radyasyonunun kontrolünü sağlar.

Farklı pasif güneş sistemleri arasında, basit tasarımlarıyla büyük çekicilik uyandıran Trombe duvarları, soğuk iklimler ve yüksek irtifalarda güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla ortaya çıkmış olsalar da, sıcak iklimlere de adapte edilerek, pasif soğutma sistemi olarak da kullanılmaktadırlar. Trombe duvarı kış mevsiminin soğuk fakat güneşli geçtiği iklim bölgelerinde, kış aylarında gün ışığından daha fazla yararlanılacak şekilde binaların güney cephelerinde tercih edilmektedir (Szyzka vd. 2020). Binanın direkt güneş alan kısımlarına ısı tutucu kütlelerin yerleştirilmesiyle gündüz güneşten elde edilen ısı ile kütlelerde biriktirilen enerjinin gece olduğunda bina içerisine geri verilmesi ve bu sayede bina içerisindeki ısı dengenin sağlanması amaçlanır. Kış aylarında gündüz vakitlerinde ara boşlukta (açık panjurlarda) hapsolmuş ısı bir kısmı, doğrudan havalandırma deliklerinden çevreye aktarılırken diğer bir kısmı ise kendi içerisinde depolanır. Depolanan bu ısı gece olduğunda, ısı dağılımını sınırlamak için ayarlanabilir havalandırma boşlukları ve dış panjurlar kapatılarak Trombe duvarı tarafından radyasyon yoluyla bina içerisine geri verilir.

Trombe duvarlarının yukarıda belirtilen enerji tasarrufuna ilişkin avantajlarına nazaran halihazırda geliştirilmesi gereken bazı yönler de bulunmaktadır. Bunlara, kullanıcılar tarafından sistem yönetimi, yaz kış enerji performansı ve yüksek çevresel yükler gibi geliştirilmesi gereken kısımlar örnek olarak verilebilir (Şekil 8). Trombe duvar sistem yönetiminin karmaşık olması, hizmet planları açısından ana dezavantajıdır. Kışın, resirkülasyon menfezlerinin ve panjurların akşam kapanması için sağlanan orijinal servis çizimleri sabah tekrar açılmak üzere ayarlanmıştır. Panjurların kapanması, ısı gök yüzüne doğru yayılmasını önlemeyi amaçlarken, havalandırma deliklerinin kapatılması, termal akışın tersine çevrilmesini ve bunun sonucunda soğuk havanın alt havalandırma deliklerinden çevreye girmesini önlemektir. Havalandırma delikleri, kullanıcılar için karmaşık bir operasyona neden olmakla kalmaz, aynı zamanda yükselen toz ile çevre sorunu da ortaya çıkarır.



Şekil 8. Trombe duvarında güneşin mevsimsel açısı (Keskin, 2012).

Trombe duvar sistemleri, genellikle üretim aşamasında yüksek çevresel yüklerle karakterize edilen malzeme ve bileşenlerden oluşurlar. Dahası, aşırı ısınma, çevreyi etkileyen yüksek bir elektrik enerjisinin kullanımını içerir.

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde yapıların çeşitli kısımlarında faz değişim malzemelerinin kullanımıyla enerji depolanması ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Literatürde, binalarda faz değişim malzemeleri genellikle güney dış duvarı başta olmak üzere döşeme ve çatılarda uygulanmıştır. Bu çalışmaların bazıları belirli bir bölge için soğutma veya ısıtma amaçlı olarak yapılmıştır. Soğutma yükünü azaltmak ve böylelikle enerji tasarrufu elde etmek amacıyla sıcak iklim bölgelerinde numerik ve deneysel uygulamalar yapılmıştır. Numerik çalışmalarda genellikle GenOpt v3.1.1, Ecotect v5.50, DesignBuilder, Energy Plus ve Carrier HAP simülasyon programları kullanılmıştır (Saffari vd., 2017; Cabeza vd., 2015; Piselli vd., 2017; Chel ve Kaushik, 2018; Tunçbilek vd., 2020).

Rahman vd. (2010) tarafından, subtropikal (sıcak ve nemli) bir iklime sahip Queensland, Avustralya’da bulunan örnek binalar için yaptıkları bir çalışmada, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerine ilişkin çeşitli enerji tasarrufu önlemleri bir enerji simülasyon programı, “DesignBuilder” kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ele alınan binanın, optimum yalıtım kalınlığının tespiti yanı sıra ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin uygun tasarlanmasıyla kullanıcı termal konforundan ödün vermeden %41.87’ye varan enerji tasarrufu sağlayabileceği bulunmuştur (Rahman vd., 2010).

İzmir lokasyonlu diğer bir çalışmada, farklı cam türleri ve farklı yönlerdeki pencere/duvar alanındaki oransal değişiminin cam türlerinin ve yönünde etkisi hesaba katılarak enerji verimliliğine etkisi “EnergyPlus” enerji simülasyon programı yardımıyla araştırılmıştır. Bu araştırmacılar, pencere-duvar alan oranlarının, duvar oryantasyonunun ve cam türlerinin binanın toplam enerji tüketiminde önemli faktörler olduğunu vurgulamışlardır. Bu tür değerlendirmelerin, binaların mimari tasarımının erken aşamalarında veya mevcut binaların yenileme aşamalarında gerçekleştirilmesinin enerjinin verimli kullanılmasına önemini belirtmişlerdir. (Yıldız, 2011).

Diğer bir çalışmada, referans bir binada harcanan enerji miktarı ve maliyeti ile sebep olduğu karbondioksit emisyonları ve yıllık enerji tüketimi üzerindeki etkisini Carrier HAP simülasyon programını kullanarak araştırmıştır. Referans binanın tüm enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu salımı yüzdesini yıllık olarak hesaplayarak enerji tüketimini azaltmak amacıyla binanın mimari ve mekanik tesisatıyla ilgili alternatif stratejiler değerlendirilmiştir (Yılmaz, 2009).

Özyurt (2019), çalışmasında faz değişim materyallerinin enerji performansına etkisi duvar katmanındaki yeri, yönü, ürün türüne göre çeşitli simülasyonlar “Design Builder” programıyla değerlendirilmiş ve FDM'lerin özellikle soğutma ihtiyacının arttığı dönemlerde verimli olduğu belirlenmiştir (Özyurt 2019).

Yıldız (2008), referans bir binada enerji verimliliğini sağlamaya yönelik ısı yalıtımı, çift cam ve Polivinil Klorür pencere kullanımını “Ecotect v5.50” simülasyon programını kullanarak araştırmıştır. Mekanik sistemlerin enerji verimliliğine katkıda bulunması ve çevreyle uyumlu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması vurgulanmıştır (Yıldız 2008).

Sıcak iklim bölgesinde (Güney Texas, A.B.D.) bir prototip müstakil ev duvar konstrüksiyonuna kolayca yerleştirilebilen piyasada bulunan beş FDM katmanının termal iyileştirme performansları EnergyPlus programı kullanılarak araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, FDM katmanlarının yıllık termal talebi azaltmadaki performansı, ısı akışındaki kadar belirgin olmadığı belirtilmiştir. Isıtma talebindeki azalma %7.9'dan %54.34'e, soğutma talebindeki azalma ise %1.2'den %7.2'ye kadar değiştiği rapor edilmiştir (Shen ve Liu, 2016).

Tropikal iklime sahip Singapur'da yapılan bir çalışmada soğutma yükünün azaltılması için FDM'ler ile entegre edilmiş bina zarflarının enerji performansı 3x3x2.8 m kübik bir modelde Energy Plus programıyla hesaplanmıştır. FDM'lerin yapı dış yüzeylerine uygulanmasının yüksek performans gösterdiği ve optimum faz değişim sıcaklığı, tüm FDM katmanının tam erime-katılaşma döngüsüne izin veren en düşük sıcaklık olduğu belirtilmiştir. Daha geniş bir faz değişimi sıcaklık aralığı, FDM'lerin sıcaklık değişimlerine uyarlanabilirliğini iyileştirdiği, ancak FDM'lerin elde edebileceği en büyük enerji tasarrufunu tehlikeye atabildiği belirtilmiştir. Daha kalın FDM katmanı bina kabuğu yoluyla ısı kazanımlarını azaltırken, daha ince FDM katmanı daha yüksek verimlilik ve maliyet avantajları sağladığı vurgulanmıştır (Lei vd., 2016).

Çin'in farklı iklim bölgelerini temsil eden beş farklı şehirde (Shenyang, Zhengzhou, Changsha, Kunming ve Hong Kong) bulunan tipik birçok katlı ofis binasının enerji tüketimi üzerindeki etkisi EnergyPlus kullanılarak bir yıl boyunca simüle edilmiş, FDM uygulamasından kaynaklanan enerji tasarrufunun, Shenyang ve Zhengzhou gibi soğuk bölgelerde bulunan ofis binalarının yanı sıra, sıcak yaz ve soğuk kış aylarına sahip Changsha bölgesinde daha belirgin olduğunu göstermiştir (Mi vd., 2016).

İngiltere'nin Londra şehrindeki konutlarda 2020, 2050 ve 2080 yıllarının yaz aylarında hava senaryolarında çeşitli FDM'lerin termal konfor ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için DesignBuilder'ı kullanılmıştır. 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, iki katlı ve üç odalı müstakil bir ev modelinde simülasyonları yapılmıştır. 48 mm'lik kalınlıktaki 25°C erime sıcaklığına sahip FDM uygulaması 25 mm'lik hava boşluğunun soğutma enerjisi yüklerini azaltması açısından konut binaları için önemli avantajlara sahip olduğunu rapor etmişlerdir (Sajjadian vd., 2015).

Avustralya'nın sekiz farklı şehrinde, beş farklı faz değişim sıcaklık aralığı bulunan FDM'lerin etkinlikleri EnergyPlus programı kullanarak simülasyonlarla karşılaştırılmıştır. Araştırılan farklı FDM'nin yılın farklı zamanlarında etkili olduğu bulunmuştur. FDM'nin etkinliğinin büyük ölçüde yerel hava durumuna, termostat aralığına, FDM katman kalınlığına ve yüzey alanına bağlı olduğu belirtilmiştir. FDM'nin entegrasyonu, Darwin gibi sıcak ve nemli şehirlerde bulunan evlerde yıllık %17-23 enerji tasarrufu sağlayabileceği bildirilmiştir. FDM'nin erime noktası ilgili şehrin termostat aralığının dışında olduğunda enerji tasarrufu potansiyelinin azaldığı bulunmuştur (Alam vd., 2014).

Yapılan bir çalışmada dünyanın farklı bölgelerinden 19 iklim koşuluna karşılık gelen 57 farklı şehir için FDM erime sıcaklığının binaların enerji performansı üzerindeki etkilerini EnergyPlus v8.4 ve GenOpt programları yardımıyla araştırmıştır. 20°C ve 26°C'lik optimum FDM erime sıcaklığının sırasıyla ısıtma ve soğutma yüklerinin azalmasına katkıda bulunduğunu bulunmuştur. Soğutmanın baskın olduğu bir iklimde, FDM'nin yıllık enerji talebini azaltmak için optimum faz geçiş sıcaklığı 26 °C ayar noktasına yakın olduğunu; buna karşın, ısıtmanın baskın olduğu iklimlerde, yaklaşık 20 °C'lik bir faz geçiş sıcaklığına sahip FDM'nin daha yüksek yıllık enerji faydaları sağlayacağını bildirilmiştir (Saffari vd., 2017).

Doğal havalandırma kullanılarak FDM entegrasyonu ile konut binalarının enerji performansını iyileştirmek için EnergyPlus yardımı ile sayısal bir çalışma yürütülmüştür. Sonuçlar, FDM ve doğal havalandırma kontrolünün optimum kombinasyonu ile önemli miktarda enerji tasarrufu elde edildiğini göstermiştir (Piselli vd., 2020).

Marmara Bölgesinde FDM katkılı tuğlaların mevsimsel ve yıllık performansı ile soğutma ve ısıtma yükü için gizli ısısının enerji tasarrufunu sayısal olarak araştırılmıştır. Geleneksel hava dolgulu boşluk tuğlasına kıyasla FDM'in konumu, erime sıcaklığı ve FDM miktarını göz önünde bulundurarak, FDM ile tuğla dolgulu boşlukların farklı modellerini karşılaştırılmıştır. Bulgularına göre, iç mekana yakın yerleştirilen FDM dolgulu modelin daha yüksek enerji tasarrufuna sahip olduğunu ve 18 °C ile 26 °C arasında değişen mevsime bağlı olarak en uygun erime sıcaklığının olduğunu

gösterilmiştir. Tüm mevsimler için optimum FDM erime sıcaklığını belirlemek için yıllık bir analiz yapılmıştır ve bunu 18 °C olarak rapor edilmiştir. Çalışma, FDM'nin tuğlalara dahil edilmesinin kış mevsiminde yaz mevsiminden daha iyi termal performans sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, soğutma yükünü önemli ölçüde artıran aşırı ısınmayı önlemek için uygun FDM erime sıcaklığının seçimi gerekli olduğu vurgulanmıştır (Tunçbilek vd., 2020).

Alawadhi, sıcak iklim bölgelerinde ısı iletimindeki potansiyel azalmayı araştırmak için FDM ile bütünleşik silindirik boşluklu yapı tuğlasının sayısal bir analizi yapılmıştır. Boşluklar FDM ile doldurulduğunda ve FDM miktarı arttıkça önemli miktarda soğutma yükünün azaldığı (%24.2'ye kadar) gözlemlenmiştir (Alawadhi, 2008).

Fas'taki altı farklı iklim bölgesinde FDM dolgulu tuğlaların enerji tasarrufu potansiyeli üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bulgulara göre, FDM'nin uygun faz geçiş sıcaklığı seçimi ile %40'a varan enerji tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir (Aketouane vd., 2018).

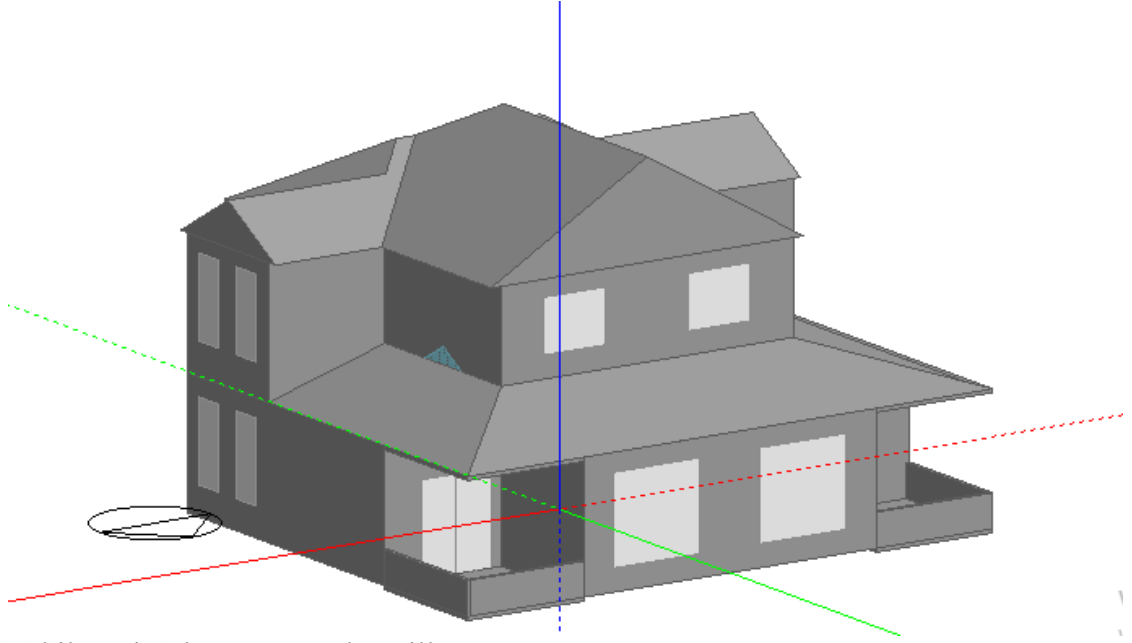
4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında iki farklı lokasyonda İstanbul ve İzmir illerinde, uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak çizilen bir villa projesi DesignBuilder Simülasyon programı yardımı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellenen binanın dış kabuğunda çeşitli faz değiştiren malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan FDM'in termodinamik özelliklerine farklı kaynaklardan taranan literatürler ve çeşitli üretici firmalardan elde edilen ürün belgeleri aracılığı ile ulaşılmıştır. Tez çalışmasında modellenen villanın dış duvar girdi verileri değiştirilerek farklı senaryolar kullanılmıştır. Senaryolar da öncelikle FDM'in yapı bileşenlerindeki yerleri, çeşitleri ve kalınlıkları değiştirilerek farklı duvar konfigürasyonları oluşturulmuştur. Modellenen villanın DesignBuilder Simülasyon programı algoritmaları kullanılarak dış duvar bina kabuğunun HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme koşullarının yıllık, aylık ve saatlik sıcaklık verileri analiz edilmiştir. Bina dış kabuğunda kullanılan çeşitli faz değiştiren malzemelerin ısıtma sistemlerine ve soğutma sistemlerine etkileri araştırılmıştır. Daha sonra da oluşturulan senaryolarda kullanılan FDM'lerin farklı erime sıcaklıklarının (21°C, 23°C ve 25°C) enerji modellemesine etkileri üzerine karşılaştırmalar yapılmıştır.

4.1. Simülasyonu Yapılan Villa için Bilgiler

4.1.1. Mimari Bilgiler

Simülasyonu yapılmak üzere mimari projesi oluşturulan iki katlı villa öncelikle vektör tabanlı bir tasarım yazılımı olan AUTOCAD çizim programında iki boyutlu (2D) olarak çizilmiştir. AUTOCAD çizim programında ki iki boyutlu (2D) çizimler daha sonra DesignBuilder Simülasyon programında üç boyutlu (3D) olarak enerji hesaplarında etkin olan tüm sistemlerin girdi verileri dikkate alınarak tek tek modellenmiştir. Villanın DesignBuilder Simülasyon programında modellenmesine ait görsel Şekil 9'da verilmiştir. Model toplamda 13 blok, 17 Zone ve çatıdan oluşmaktadır. Villa yaklaşık 500 metre kare oturma alanına ve 7 metre yüksekliğine sahiptir. Simülasyonu yapılacak olan villanın mimari bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

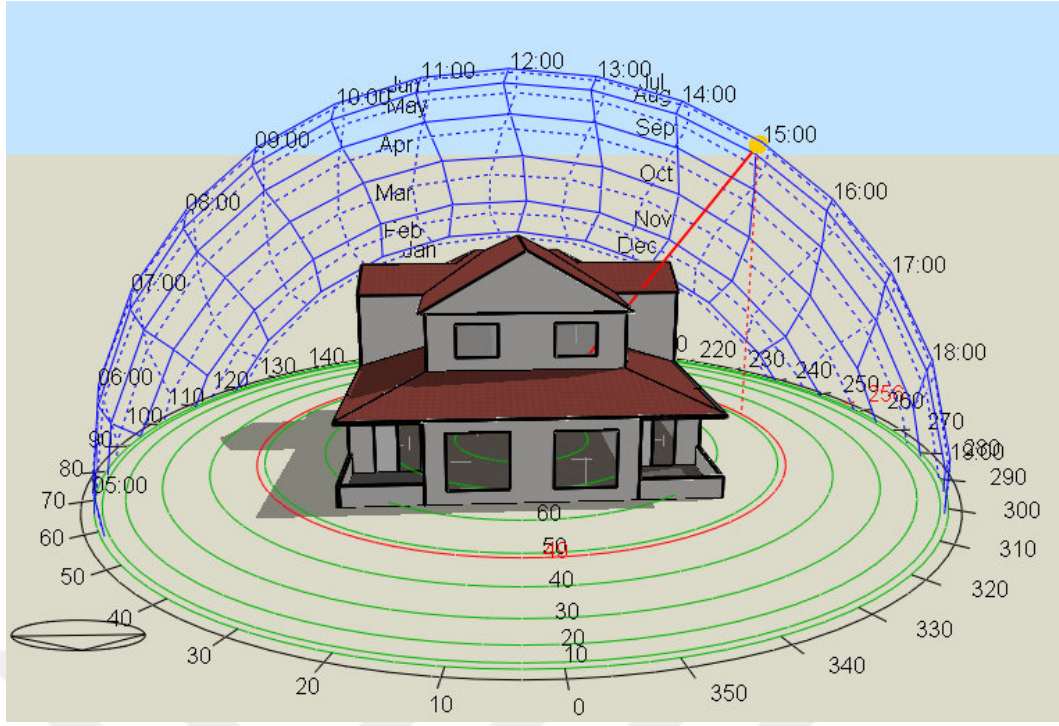


Şekil 9. Simülasyonu yapılan villa

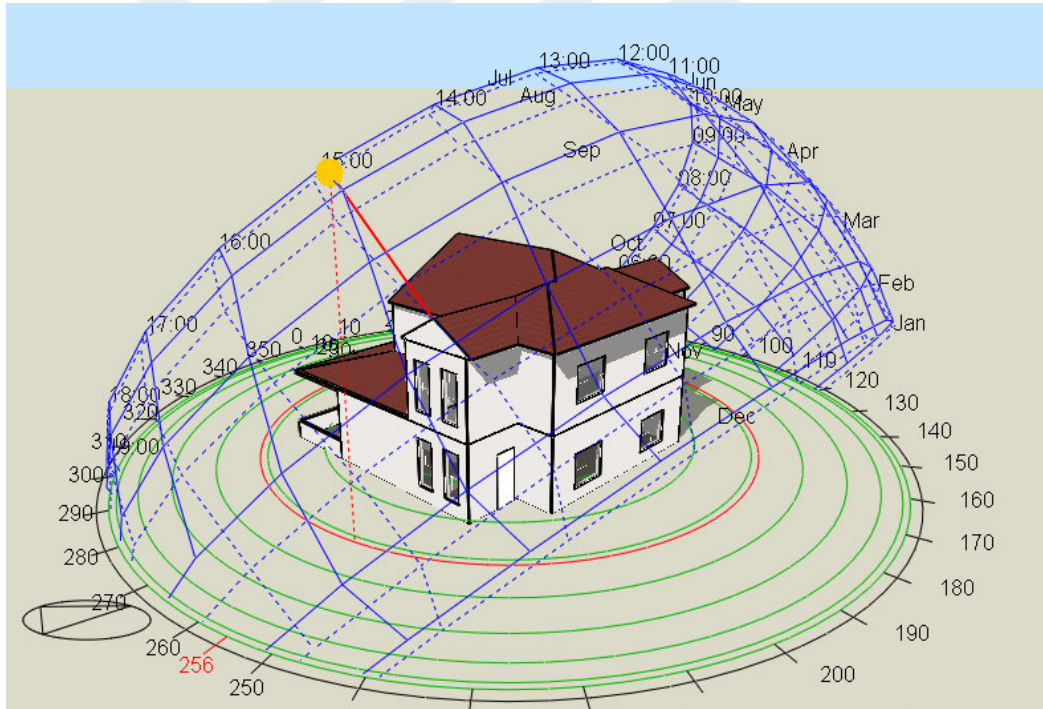
Tablo 1. Simülasyonu yapılacak villanın mimari bilgileri

	Toplam	Kuzey 315°- 45°	Doğu 45°-135°	Güney 135°- 225°	Batı 225°- 315°
Toplam İnşaat Alanı (m²)	505.13	-	-	-	-
Toplam Çatı Alanı (m²)	262.25	-	-	-	-
Bürüt Alan (m²)	407.85	113.84	90.15	113.72	90.15
Net Alan (m²)	405.05	113.16	89.43	113.04	89.43
Pencere Alanı (m²)	48.92	22.19	7.60	11.52	7.60
Bürüt Pencere-Duvar Oranı (%)	11.99	19.49	8.44	10.13	8.44
Net Pencere-Duvar Oranı (%)	12.08	19.61	8.50	10.19	8.50

Hesaplamalarda güneşin gelme açısının etkilendiği faktörler göz önünde bulundurularak güneş gelme açısının en yüksek ve azimut açısı değerinin 0 olduğu güneye bakan dış duvarın Blok2-Zone2 bölgesi seçilmiştir. Güney duvarın güneşin geliş açısına ait görsel Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10. Güney duvara güneşin geliş açısı-1



Şekil 11. Güney duvara güneşin geliş açısı-2

4.1.2. İklimsel Bilgiler

Modelleme yapılacak villa için iki farklı lokasyon olarak ilk adımda İstanbul ve ikinci adımda izmir illeri seçilmiştir. Simülasyonu yapılacak olan villaya ait lokasyon bilgileri Tablo 2’de verilmiştir. Marmara bölgesinde bulunan İstanbul deniz etkisinde kalması sebebi ile nem oranı yüksek bir şehirdir. Nemin ısıyı tutma kapasitesi yüksektir. Nemli bölgeler gündüz vakitlerinde tutukları ısıyı gece vakitlerinde bırakırlar. İstanbul’un

nemli bir bölgede olması sebebi ile günlük sıcaklık farkı çok fazla olmamaktadır. İstanbul yüksek sıcaklık ortalamaları ile ısıtma amaçlı kullanılan faz değiştiren malzemelerin (21°C, 23°C ve 25°C erime sıcaklığına sahip) enerji modellemelerindeki etkisinin araştırılabilirliği açısından uygun bulunmuştur. Simülasyonu yapılacak olan villanın ısıtma sistemlerinin enerji modellemesi için programda İstanbul iline ait ortalama sıcaklık değerleri kullanılacaktır.

Tablo 2. Simülasyonu yapılacak olan villanın lokasyon bilgileri

İSTANBUL

Ülke	Türkiye
Bölge	Marmara
Enlem (deg)	40.97°
Boylam (deg)	28.32°
Yükseklik (m)	37.00 m
Simule Edilmiş Saat	8760.00 sa
Saatte İşlenen Veri sayısı	12
Saatte İşlenen Dakika Aralığı	5

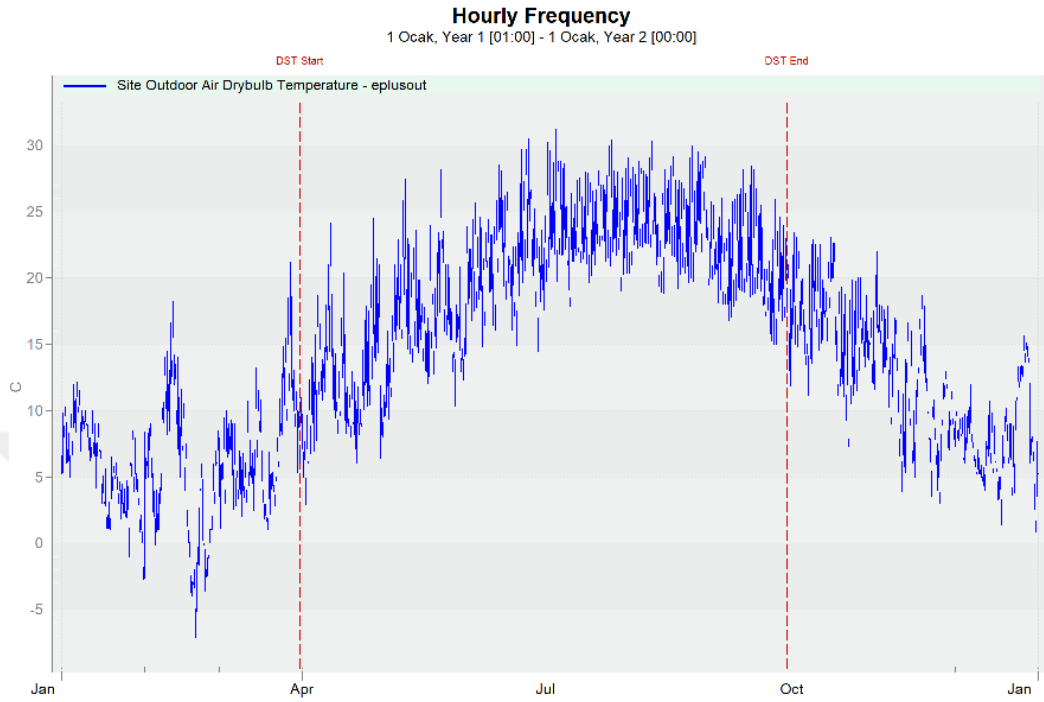
İstanbul iline ait 90 (1927-2021 yılları arası) yıllık ortalama sıcaklık değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. İstanbul iline ait 90 yıllık ortalama sıcaklık değerleri (MGM 2021)

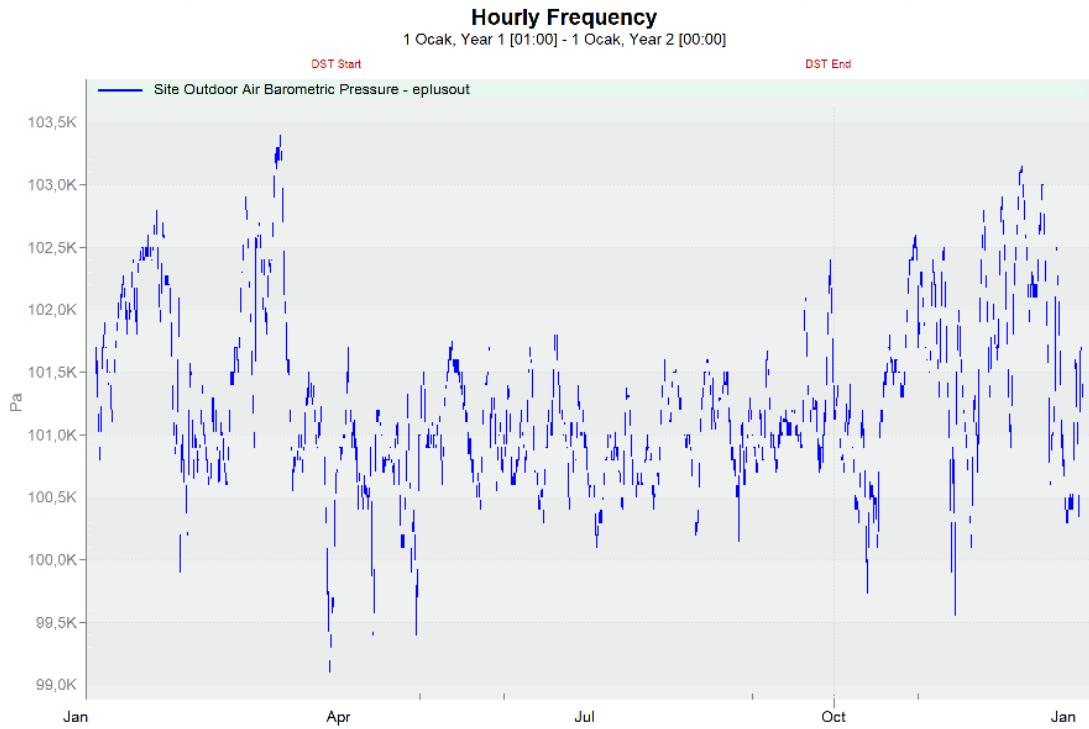
Aylar (Ölçüm Periyodu 1931-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	5.7	8.5	3.1	3.0
Şubat	5.8	9.1	3.2	3.6
Mart	7.4	11.3	4.4	4.6
Nisan	11.6	16.2	7.9	5.6
Mayıs	16.5	21.2	12.5	8.8
Haziran	21.1	25.9	16.6	10.6
Temmuz	23.8	28.8	19.3	11.5
Ağustos	23.9	28.8	19.6	10.7
Eylül	20.04	25.2	16.3	8.3
Ekim	16.0	20.1	12.7	5.7
Kasım	11.9	15.3	9.0	4.0
Aralık	8.1	10.9	5.5	2.8
Yıllık	14.3	18.4	10.8	6.7

Programda simülasyonları yapılacak olan modellemeler için seçilen lokasyon verileri ASHRAE standartlarında son 25 yılın ortalama değerlerinden oluşturulmuştur. İstanbul iline ait yıllık sıcaklık değerlerinin saatlik verileri Şekil 12’de, yıllık hava basıncı

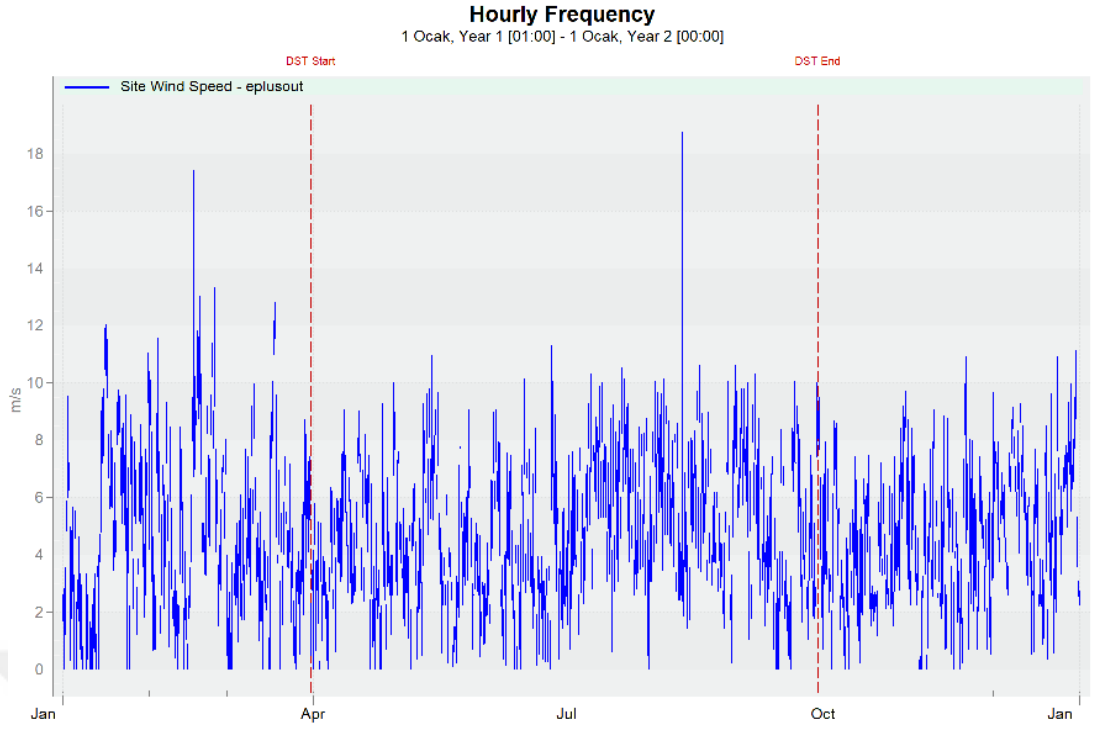
değerlerinin saatlik verileri Şekil 13’de, yıllık rüzgar hızı değerlerinin saatlik verileri Şekil 14’de verilmiştir. İstanbul iline ait yıllık güneş açısı değerlerinin saatlik verileri Şekil 15’de, yıllık güneş ışıınım değerlerinin saatlik verileri Şekil 16’da verilmiştir.



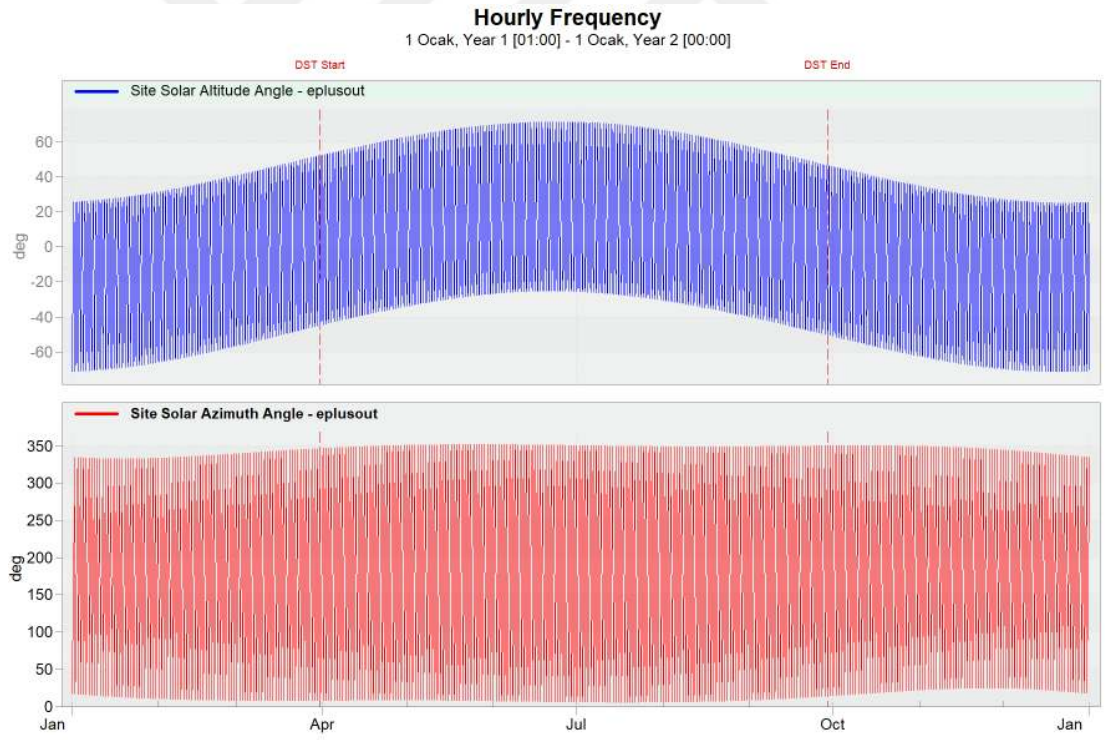
Şekil 12. İstanbul ili yıllık sıcaklık değerlerinin saatlik verileri



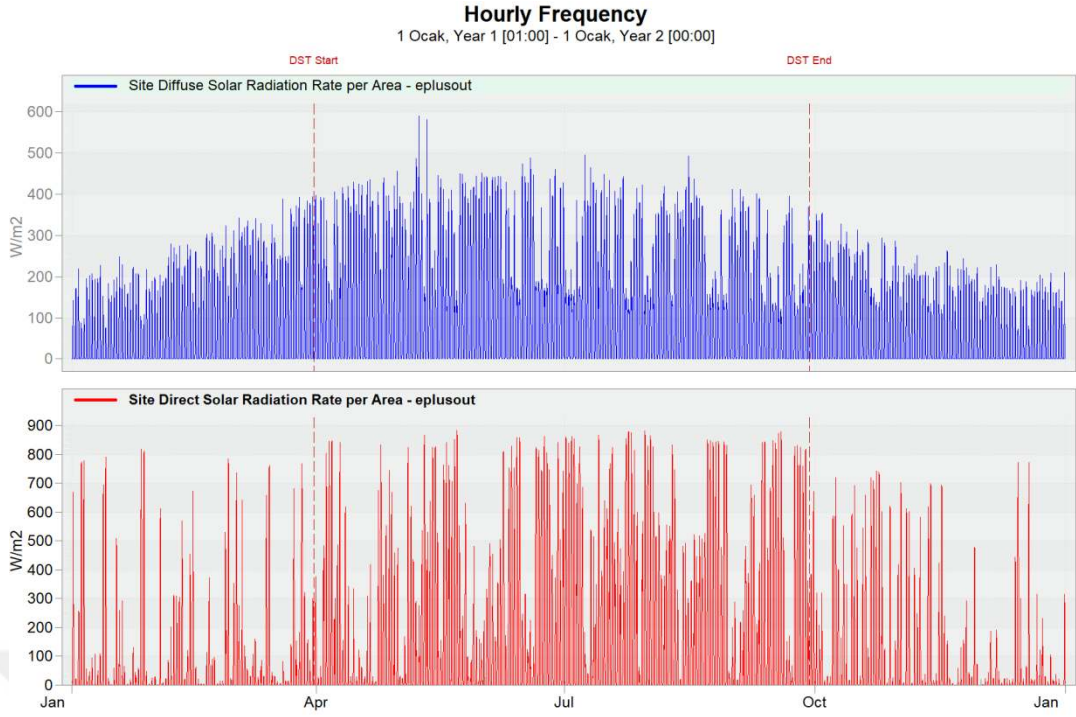
Şekil 13. İstanbul ili yıllık hava basıncı değerlerinin saatlik verileri



Şekil 14. İstanbul ili yıllık rüzgar hızı değerlerinin saatlik verileri



Şekil 15. İstanbul ili yıllık güneş açısı değerlerinin saatlik verileri



Şekil 16. İstanbul ili yıllık güneş ışıınım değerlerinin saatlik verileri

4.1.3. Simülasyonu Yapılan Villanın Program Bilgileri

Simülasyonu yapılan villa Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği (ASHRAE-55 2004- American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) standartlarına uygun olarak modellenmiş olup proje çizimleri ve hesaplamaları bina enerji modelleme programlarından yüksek hesaplama performansına sahip, DOE-2 ve BLAST model temelli geliştirilmiş EnergyPlus programının en etkili ara yüz programı olan DesignBuilder Simülasyon programı yardımı ile yapılmıştır.

Bina tasarımlarının üç boyutlu modellenmesinde kullanılan DesignBuilder Simülasyon programı yüksek performans sağlaması açısından bina simülasyon süreçlerini kısaltmaya yarayan özel fonksiyonları ve dinamik simülasyonları sayesinde enerji modelleme programları arasında büyük öneme sahiptir. DesignBuilder Simülasyon programının hızlı modelleme teknikleri, tasarım detaylarındaki geniş çalışma yelpaze arağında etkin modülleri yardımıyla kolay ve ekonomik olarak analizler yapılabilmektedir. DesignBuilder Simülasyon programı kullanarak modellenen binaların ısıtma, soğutma, enerji hesaplamaları, konfor ve aydınlatma hesaplamaları, karbon salınımı, nem ve sıcaklık verileri, iklim verilerine kolaylıkla ulaşılabilir.

DesignBuilder Simülasyon programında iç konveksiyon algoritmalarında TARP, dış konveksiyon algoritmalarında DOE-2 modelleri temel alınmıştır. Araştırması yapılan villanın simülasyonlarında farklı senaryolar için FDM'siz villanın sıcaklık değerleri için

Conduction Transfer Function (CTF) algoritması ve faz değıştiren malzemelerin ısıcalık etkisinin araştırılması için Finite Difference algoritması kullanılmıştır. Simölasyonu yapılan modelin tüm girdi değeri ASHRAE 90.1 standartlarına göre yapılmıştır. Simölasyonlarda Simple Sky Diffuse Modelling, Sutherland Hodgman algoritmaları, Average over days in frequency ve Polygon clipping metotları seçilmiştir. Yapılan simölasyonlardan elde edilen her bir analiz ile yılın 365 gününün 24 saatinde, saatte 12 veri işlenmiş ve araştırmalarda kullanılacak olan farklı senaryoların simölasyonları için yıllık 10.512.000 veriye ulaşılmıştır.

4.1.4. Faz Değıştiren Malzemelerin Özellikleri

Simölasyonu yapılan villa için oluşturulan senaryolarda erime sıcaklıklarına ve kalınlıklarına göre farklı faz değıştiren malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan FDM'lerin DesignBulder programından alınan özellikleri Tablo 4. Faz değıştiren malzemelerin özellikleri'de verilmiştir.

Tablo 4. Faz değıştiren malzemelerin özellikleri

	Kalınlığı	Yoğunluk	İletkenlik	Öz Isı	Erime Sıcaklığı
	(m)	(kg/m ³)	(W/m-K)	(j/kg-K)	(°C)
BioPCM182	0.0742	235.00	0.2000	1970.00	21-23-25-27-29
İnfiniteRPCM	-	929.00	0.8150	3140.00	18-21-23-25-29
BioPCM27	0.0112	235.00	0.2000	1970.00	21-23-25-27-29
BioPCM51	0.0208	235.00	0.2000	1970.00	21-23-25-27-29
BioPCM91	0.0371	235.00	0.2000	1970.00	21-23-25-27-29
WINCO	0.0030	832.00	0.1480	2500.00	21-23-29

4.1.5. Faz Değıştiren Malzemelerin Isıl İletkenlik Katsayısına Etkisi

Çalışmalarda simölasyonu yapılacak villa için farklı duvar tiplerinde, dış duvarlarında farklı faz değıştiren malzemeler seçilerek analizler yapılmış ve bu analiz sonuçları ile dış duvarında FDM kullanılmadan elde edilen analiz sonuçları ısıtma ve soğutma yükleri açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar performans hesaplarında yıllık ortalamalar, aylık ortalamalar ve yıllık saatlik veriler baz alınarak hesaplanmıştır.

4.1.6. Isıl Direnç (R)

Bir maddenin ısı transferine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Isıl direnç R ile gösterilir ve birimi m².K/W' dir. Bir malzemenin ısıl direnci ne kadar yüksek ise yalıtım değeri o kadar yüksektir. Bina yalıtımlarında ısıl direncin yüksek tutulması esastır.

4.1.7. Isıl İletkenlik katsayısı (U)

Bir yapı elemanının dışındaki ve içindeki sıcaklık değerleri farkından kaynaklanan ve 1 m²'lik alanından birim zamanda geçen ısı miktarıdır. Bir metrekareye düşen ısı kaybı olarak ifade edilen ısıl iletkenlik katsayısının birimi W/m²K 'dir. Isıl geçirgenlik katsayı değeri ne kadar düşük olursa ısı kaybı o kadar az olur. Enerji tasarrufu açısından verimli olması planlanan binalarda bu değerin düşük olması önemlidir.

4.1.8. Dış duvarın enerji dengesi denklemi

FDM'lerin bina dış duvarı yapı bileşenlerinde kullanılmasındaki termal davranışlarının tanımlanmasında kullanılan dış duvarın enerji dengesi denklemleri aşağıda verilmiştir (Holman, 2012).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Eşitlik 3'de verilen T sıcaklık (°C), t zaman, x malzeme kalınlığı (mm), α Termal yayılım (m²/s), malzemenin ısıl iletkenliğinin yoğunluğuna oranı ve ısıl iletkenlik (k/pc)'dir.

FDM'nin erime sürecini ve katılaşma sürecini gösteren eşitlik Eşitlik4'de verilmiştir (Zivkovic, 2001).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{L_H}{c_p} \frac{\partial f}{\partial t} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Denklem 4'de verilen c_p sabit basınç altındaki özgül ısıyı (kJ/kg.K), L_H gizli latent ısıyı (kJ) ve f faz değişim esnasında erişmiş olan FDM oranını ifade etmektedir.

Fraksiyon sıvı 0 ile 1 değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. Sıvı fraksiyonun değerinin değişim aralığını gösteren denklik Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$f = \begin{cases} 0 & \text{ise eğer } T \geq T_1 & (\text{katılaşma}) \\ \frac{T-T_s}{T_1-T_s} & \text{ise eğer } T_1 > T \geq T_s & (\text{kritik bölge}) \\ 1 & \text{ise eğer } T < T_s & (\text{erime}) \end{cases} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Eşitlik 5'te verilen denklikte T_1 ile gösterilen ifade FDM'nin sıvılaşma sıcaklığını, T_s ile gösterilen ifade ise FDM'nin katılaşma sıcaklığını belirtmektedir. (Al-Yasiri vd. 2021). Yapının dış duvarı üzerindeki iç yüzey ve dış yüzey sınır koşullarını gösteren denklem, Eşitlik 4'te verilmiştir (Arıcı vd. 2020).

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} |_{giriş} = h_{giriş} [T_a - T_{giriş}] - k \frac{\partial T}{\partial x} |_{çıkış} = h_{çıkış} [T_{çıkış} - T_{hava}] + \varepsilon \sigma F_{gök} \beta [T_{çıkış}^4 - T_{gök}^4] + \varepsilon \sigma (1 - \beta) [T_a^4 - T_{hava}^4] + \varepsilon \sigma F_{yer} \left[\frac{T_{çıkış}^4}{T_{air}^4} - 1 \right] + aG1 \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Eşitlik 6’da verilen ifadelerden, k termal iletkenliği (W/mK), $h_{giriş}$ iç duvar ısı transfer katsayısını (W/m²K), $h_{çıkış}$ dış duvar ısı transfer katsayısını (W/m²K), $T_{giriş}$ ölçüme tabi olan odanın iç ortam-iç yüzey sıcaklığını (°C), $T_{çıkış}$ ölçüme tabi olan odanın dış yüzey sıcaklığını (°C), ε dış yüzeyin emisyon faktörünü göstermektedir ve genelde 0,9’a eşit olduğu varsayılır (Lassorn, 2011). σ Stefan-Boltzmann sabiti (5.67×10^{-8} W/m² . K⁴). β gökyüzü ve hava radyasyonu arasındaki değişimdir, uzun dalgalı ısıları böler. T_{hava} ortam sıcaklığını (°C), $T_{gök}$ termometre sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Hesaplama tahminlerinde kullanılan Swinbank aracılığı ile önerilen açık gökyüzü denklemi, Eşitlik 7’de verimiştir (Swinbank, 1963).

$$T_{gök}(t) = 0.0552 [T_{hava}(t)]^{1.5} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Eşitlik 7’de verilen $T_{gök}$ termometre sıcaklığını (K), T_{hava} ortam sıcaklığını (K) vermektedir.

Hesaplamalarda yıllık mevsim değişikliklerinin ortam sıcaklık değerlerine etki etmesi sonucunda konfor sıcaklık değerlerinin de değiştiği göz önünde bulundurulmaktadır. Dış ısı transfer katsayı denklemi, Eşitlik 8’de verilmiştir (Izquierdo vd. 2012).

$$h_x(t) = \begin{cases} 6 + 4 v(t) & \text{eğer } v(t) \leq 5 \text{ m/s} \\ 7.4 v(t)^{0.78} & \text{eğer } v(t) > 5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Eşitlik 8’de verilen v rüzgar hızını (m/s) ifade etmektedir.

FDM kullanılan binaların verimliliğinin hesaplanmasında enerji tasarrufu E , azaltma faktörü DF ve gecikme zamanı TL tanımları, malzeme performansında etkin role sahip göstergelerdir. FDM’nin ısıtma ve soğutma periyotlarını gösteren denklik, Eşitlik 9’da verilmiştir (Al-Yasiri vd. 2021).

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} h_{giriş} [T_a - T_{giriş}] & \text{ısıtma periyodu için} \\ h_{giriş} [T_{giriş} - T_a] & \text{soğutma periyodu için} \end{cases} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Eşitlik 9’da verilen $\dot{Q}$ ısıının geçişi boyunca anlık olarak ısıının kaybı ve ısıının kazancısıdır (W/m^2).

$$Q = d[(\sum_{t=0}^p \dot{Q}(t)) \Delta T] \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$E_{FDM} = Q_{referans} - Q_{FDM} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$DF_{\Phi} = \frac{\Phi_{giriş}^{max} - \Phi_{giriş}^{min}}{\Phi_{çıkış}^{max} - \Phi_{çıkış}^{min}} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Eşitlik 12’de verilen $\Phi_{giriş}$ iç ısı akısını (W/m^2), Φ_{max} harici ısı akısını (W/m^2) vermektedir.

$$TL_{\Phi max} = t\Phi_{giriş}^{max} - t\Phi_{giriş}^{min} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

$$TL_{\Phi min} = t\Phi_{giriş}^{min} - t\Phi_{çıkış}^{min} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Burada verilen Eşitlik 13 ve Eşitlik 14yardımı ile $\Phi_{çıkış}$ ve $\Phi_{giriş}$ esaplanarak Eşitlik 15 ve Eşitlik 16 elde edilir. (Mazzeo, 2017)

$$\Phi_{çıkış} = h_r(T_{gök} - T_{çıkış.s}) + h_c(T_{çıkış.a} - T_{çıkış.s}) + a_g I \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$\Phi_{giriş} = h_{giriş.s}(T_{giriş.s} - T_a) \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Eşitlik 16’da yer alan h_r dış ortamın ışıınım yolu ile olan ısı iletim katsayısı, h_c taşınım yolu ile olan ısı iletim katsayısı ve $h_{giriş}$ duvar iç yüzeyinin ısı transfer katsayısıdır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Faz Değiştiren Malzemelerin Karşılaştırılması

Bu bölümde İstanbul lokasyonu seçilerek simule edilen villanın DesignBulder programı yardımı ile yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yıllık ortalama ısıtma ve soğutma verileri karşılaştırılmıştır. Villanın dış kabuğunda kullanılan farklı kalınlıklarda (74.2 mm, 11.2 mm, 20.8 mm, 37.1 mm, 3 mm) aynı erime sıcaklığına sahip (21 °C erime sıcaklığı) farklı FDM'lerin (BioPCMdesing 182, BioPCM27, BioPCM51, BioPCM91, İnfiniteRPCM, WINCO TECHNOLOGIES ENERCIEL) yıllık enerji tüketimleri incelenmiştir. Bu amaçla 74.2 mm kalınlığında BioPCM182, 74.2 mm kalınlığında İnfiniteRPCM, 11.2 mm kalınlığında BioPCM27, 20.8 mm kalınlığında BioPCM51, 37.1 mm kalınlığında BioPCM91, 3 mm kalınlığında WINCO TECHNOLOGIES ENERCIEL'den her birinin 21 °C de ki erime sıcaklıklarına göre toplam enerji tasarrufları incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Farklı FDM'lerin yıllık enerji tasarrufları

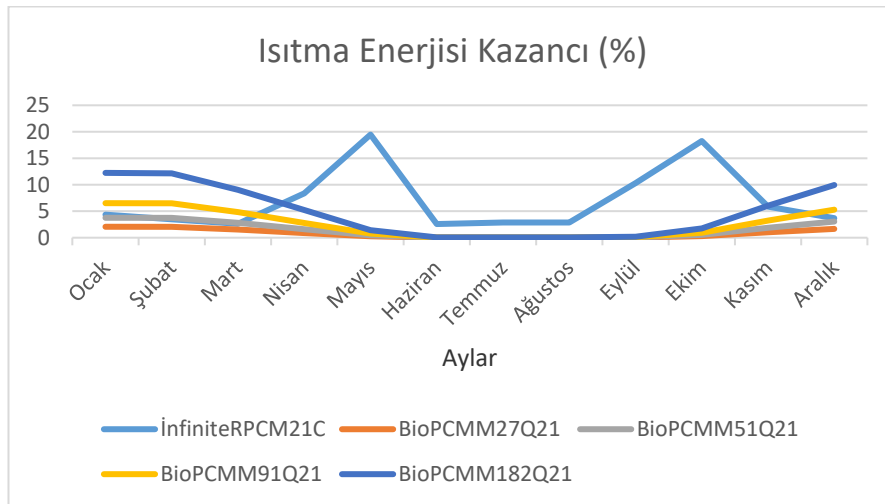
	FDM Kalınlığı (mm)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Toplam HVAC (kWh)	Toplam Enerji Tasarrufu (%)	mm Başına Düşen Enerji Tasarrufu (%)
BioPCM182Q21	74.2	20822.3	16167.8	36990.1	6.04	8.14
İnfiniteRPCMQ21	74.2	20497	17617.6	38114.6	3.20	4.31
BioPCM27Q21	11.2	20931.8	18009.1	38940.8	1.10	9.82
BioPCM51Q21	20.8	20921	17674.9	38595.8	1.97	9.47
BioPCM91Q21	37.1	20896.4	17156.7	38053.1	3.35	9.03
WINCOQ21	3	20941.3	18273.2	39214.5	0.40	13.33
FDM siz Villa	0	20939.7	18431.5	39371.2	0	0.0

Tablo 5 incelendiğinde erime sıcaklıkları 21 °C olan 6 farklı FDM çeşidinin mm başına elde edilen yıllık enerji tasarruf oranları; BioPCM182Q21 kullanıldığında yüzde 8.14, İnfiniteRPCMQ21 kullanıldığında yüzde 4,31, BioPCM27Q21 kullanıldığında yüzde 9.32, BioPCM51Q21 kullanıldığında yüzde 9.47, BioPCM91Q21 kullanıldığında yüzde 9.03 ve WINCO TECHNOLOGIES ENERCIEL kullanıldığında ise yüzde 13.33 olarak hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak yapılan incelemeler sonucunda bu 6 farklı FDM çeşidi arasından WINCO TECHNOLOGIES ENERCIEL malzemesinin diğer FDM çeşitlerine göre yıllık bazda daha fazla enerji tasarrufu sağladığı ve toplam enerji

tasarrufunda en iyi performansı gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak bu malzemenin çok ince bir tabaka olarak uygulanabilmesi, çatı ve cam aralarında kullanılması toplam enerji tasarrufunda minimum katkı sağlamasına sebep olmaktadır. Uygulanabilen kalınlıklar göz önüne alındığında ise en iyi performansı %6.04 ile BioPCM182Q21 malzemesinin sağladığı görülmektedir.

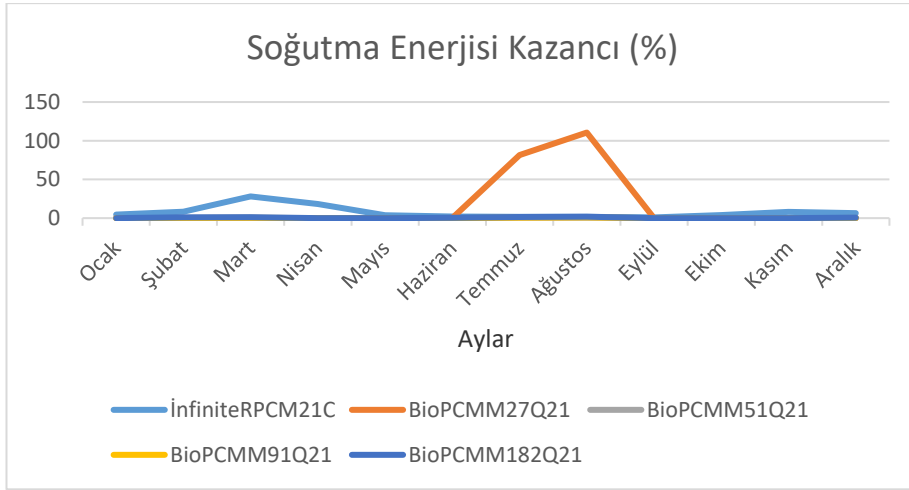
Tablo 5 de verilen analiz sonuçlarına bakıldığında dikkat çeken bir diğer ayrıntı ise faz değiştiren malzemelerin binanın yıllık ısıtma enerji ve yıllık soğutma enerji ihtiyaçlarını karşılamaındaki performanslarının farklı olmasıdır. Aynı bina kabuğunda, eşit kalınlıkta (74.2 mm) BioPCM182Q21 ve İnfiniteRPCMQ21 malzemeleri kullanılarak ayrı ayrı elde edilen analizler karşılaştırıldığında, BioPCM182Q21 malzemesi kullanılan villanın yıllık soğutma ihtiyacının İnfiniteRPCMQ21 kullanılan villanın yıllık soğutma ihtiyacından 325.26 (kWh) daha büyük olduğu görülmekte yani BioPCM182Q21 kullanıldığı taktirde binanın soğutulması için daha çok enerjiye ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Simülasyonu yapılan villanın yıllık ısıtma enerji ihtiyacı incelendiğinde ise BioPCM182Q21 kullanılan villanın yıllık ısıtma ihtiyacının, İnfiniteRPCMQ21 kullanılan villanın yıllık ısıtma ihtiyacından 1449.79 (kWh) daha az olduğu görülmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere BioPCM182Q21 soğutma amaçlı kullanıldığında düşük performans gösterirken ısıtma amaçlı kullanıldığında ise daha iyi performans göstermektedir.

Sonuç olarak farklı malzemelerin analizi incelendiğinde malzemeler arasında tercih yapabilmek için ısıtma veya soğutma amaçlı mı uygulanacağını yanı sıra uygulama yüzeyinin kalınlığının da bilinmesi önem arz etmektedir. FDM çeşitlerinin aylara göre ısıtma enerjisi kazançlarını gösteren grafik Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. FDM çeşitlerinin aylara göre ısıtma enerjisi kazançları

FDM çeşitlerinin aylara göre soğutma enerjisi kazançlarını gösteren grafik Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. FDM çeşitlerinin aylara göre soğutma enerjisi kazançları

5.2.Faz Değiştiren Malzemelerin Farklı Tip Senaryoları

Bu bölümde yapı bileşenlerinde faz değiştiren malzeme kullanımının yapının ısı iletkenlik kat sayısını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla bina dış kabuğunda yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme birlikte kullanılarak, yalıtım malzemesi kullanılmadan faz değiştiren malzeme ile birlikte yapı bileşenlerinden tuğlanın kullanım oranı ve yapı bileşen sıralamasındaki yeri değiştirilerek dört farklı duvar konfigürasyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan farklı duvar konfigürasyonlara göre yapının ısı iletkenlik kat sayısındaki değişimi incelenmiştir. Araştırmalar İnfiniteRPCM21C’in farklı kalınlık (1 cm, 2cm, 3cm) değerleri için dört tip duvara göre üç ayrı senaryo oluşturularak yapılmıştır.

Senaryo 1:

Dış duvar yapı bileşenlerinin dıştan içe doğru sıralı seçimi;

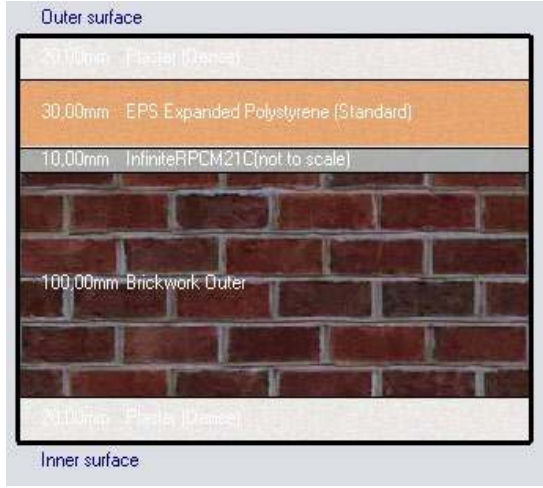
Tip1: 2 cm dış sıva, 3 cm yalıtım malzemesi EPS, 1 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva

Tip2: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 1 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva

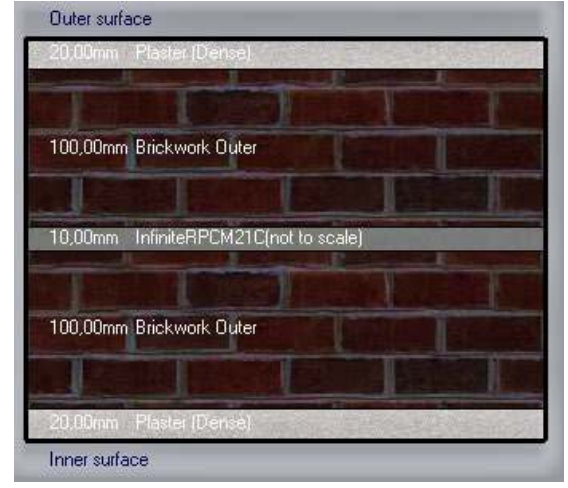
Tip3: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 1 cm İnfiniteRPCM21C, 2 cm dış sıva

Tip4: 2 cm dış sıva, 1 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva

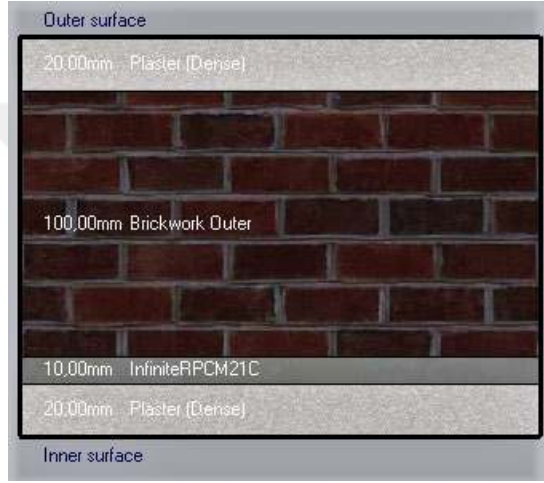
Senaryo1 de kullanılan dış duvara ait görsel Şekil 19’da verilmiştir.



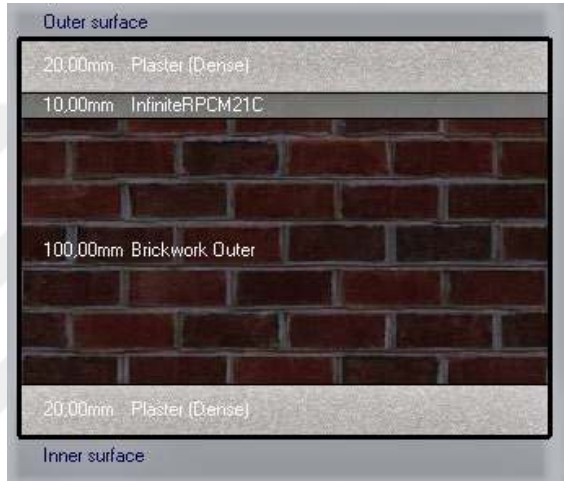
Senaryo1-Tip1



Senaryo1-Tip2



Senaryo1-Tip3



Senaryo1-Tip4

Şekil 19. Senaryo 1-Tipler

Senaryo 2:

Dış duvar yapı bileşenlerinin dıştan içe doğru sıralı hali;

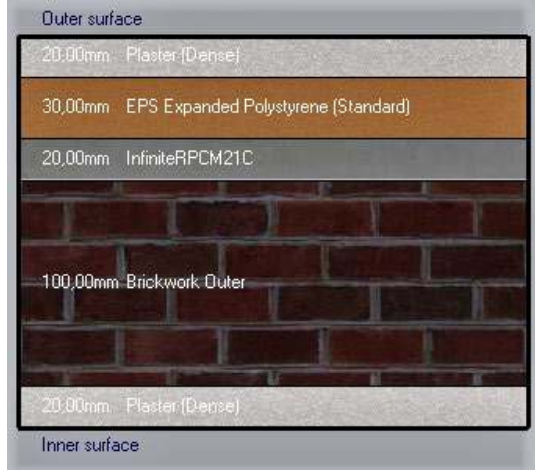
Tip1: 2 cm dış sıva, 3 cm yalıtım malzemesi EPS, 2 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva,

Tip2: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 2 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva

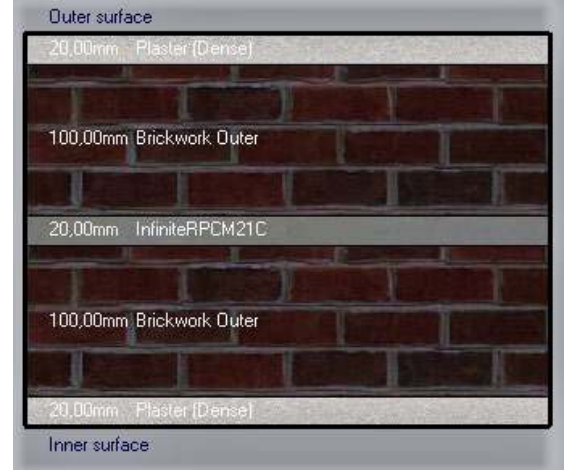
Tip3: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 2 cm İnfiniteRPCM21C, 2 cm dış sıva

Tip4: 2 cm dış sıva, 2 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva olarak seçilmiştir.

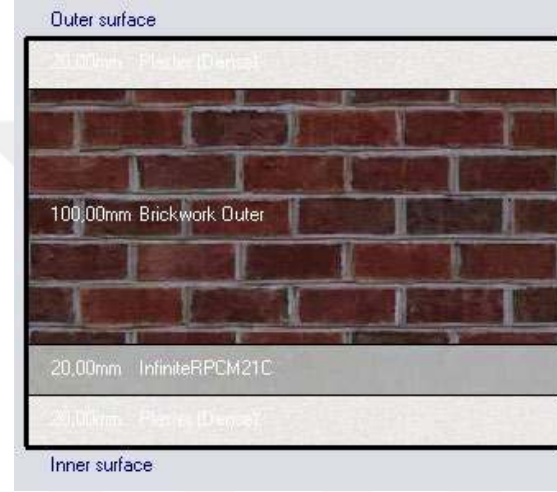
Senaryo2 de kullanılan dış duvara ait görsel Şekil 19'de verilmiştir.



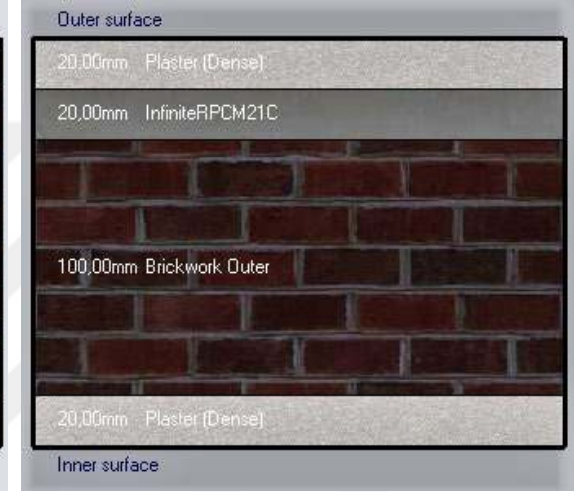
Senaryo2-Tip1



Senaryo2-Tip2



Senaryo2-Tip3



Senaryo2-Tip4

Şekil 20. Senaryo 2-Tipler

Senaryo 3:

Dış duvar yapı bileşenlerinin dıştan içe doğru sıralı hali;

Tip1: 2 cm dış sıva, 3 cm yalıtım malzemesi EPS, 3 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva,

Tip2: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 3 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva

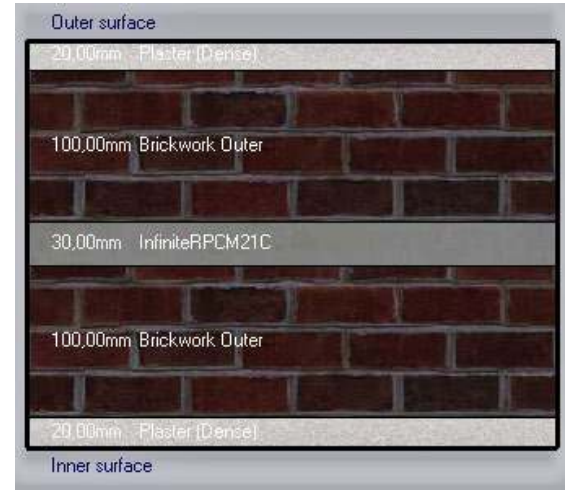
Tip3: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 3 cm İnfiniteRPCM21C, 2 cm dış sıva

Tip4: 2 cm dış sıva, 3 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva olarak seçilmiştir.

Senaryo3'de kullanılan dış duvara ait görsel Şekil 21'de verilmiştir.



Senaryo3-Tip1



Senaryo3-Tip2



Senaryo3-Tip3



Senaryo3-Tip4

Şekil 21. Senaryo 3-Tipler

Senaryo1 de kullanılan dış duvara ait yapı bileşenlerinin fiziksel özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Senaryo1 de hesaplanan dış duvarın ısı direnç değerleri, Tip1 için R_{s1t1} , Tip2 için R_{s1t2} , Tip3 için R_{s1t3} , Tip4 için R_{s1t4} olarak ifade edilmiştir.

Tablo 6. Senaryo1-Dış duvar yapı bileşenlerinin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği λ (W/m.K)	$R=1/U$ ($m^2.K/W$)
Tip 1	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Yalıtım (EPS)	0.03	0.40	0.7500
	FDM	0.01	0.815	0.0123
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	R_{s1t1}			1.131

Tablo 6. (Devamı)

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği λ (W/m.K)	$R=1/U$ (m ² .K/W)
Tip 2	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	FDM	0.01	0.815	0.0123
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs1t2			0.500
Tip 3	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	FDM	0.01	0.815	0.0123
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs1t3			0.381
Tip 4	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	FDM	0.01		0.0123
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs1t4			0.381

Senaryo2 de kullanılan dış duvara ait yapı bileşenlerinin fiziksel özellikleri Tablo 7’de verilmiştir. Senaryo2 de hesaplanan dış duvarın ısı direnç değerleri, Tip1 için Rs2t1, Tip2 için Rs2t2, Tip3 için Rs2t3, Tip4 için Rs2t4 olarak ifade edilmiştir.

Tablo 7. Senaryo2-Dış duvar yapı bileşenlerinin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği λ (W/m.K)	$R=1/U$ (m ² .K/W)
Tip 1	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Yalıtım (EPS)	0.03	0.40	0.7500
	FDM	0.02	0.815	0.02454
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs2t1			1.144
Tip 2	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	FDM	0.02	0.815	0.02454
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs2t2			0.513

Tablo 7. (Devamı)

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği λ (W/m.K)	$R=1/U$ (m ² .K/W)
Tip 3	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	FDM	0.02	0.815	0.02454
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs2t3			0.394
Tip 4	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	FDM	0.02	0.815	0.2454
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs2t4			0.394

Senaryo3 de kullanılan dış duvara ait yapı bileşenlerinin fiziksel özellikleri Tablo 8’de verilmiştir. Senaryo3 de hesaplanan dış duvarın ısı direnç değerleri, Tip1 için Rs3t1, Tip2 için Rs3t2, Tip3 için Rs3t3, Tip4 için Rs3t4 olarak ifade edilmiştir.

Tablo 8. Senaryo3-Dış duvar yapı bileşenlerinin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği λ (W/m.K)	$R=1/U$ (m ² .K/W)
Tip 1	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Yalıtım (EPS)	0.03	0.40	0.7500
	FDM	0.03	0.815	0.03681
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs3t1			1.156
Tip 2	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	FDM	0.03	0.815	0.03681
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs3t2			0.525
Tip 3	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	FDM	0.03	0.815	0.03681
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs3t3			0.406

Tablo 8. (Devamı)

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği λ (W/m.K)	$R=1/U$ (m ² .K/W)
Tip 4	Dış sıva	0.02	0.50	0.0400
	FDM	0.03	0.815	0.03681
	Tuğla	0.10	0.84	0.1190
	İç Sıva	0.02	0.50	0.0400
	Rs4t4			0.406

Senaryo1, Senaryo2 ve Senaryo3 dikkate alınarak hesaplanan dış duvar için ısı iletkenlik kat sayı değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Senaryolara göre ısı iletkenlik katsayı değerleri

	Tip1-U (W/m2K)	Tip2-U (W/m2K)	Tip3-U (W/m2K)	Tip4-U (W/m2K)
Senaryo1	0.884	1.999	2.622	2.622
Senaryo2	0.874	1.951	2.541	2.541
Senaryo3	0.865	1.905	2.464	2.464

Tablo 9’dan açıkça görüleceği üzere FDM malzemelerinin kendi aralarında farklı ısı iletkenlik etkilerinin olmasına rağmen asıl etkiyi bu malzemelerin duvar içindeki yerleşimi yapmaktadır. En çok kazancı bütün FDMler için TIP1 ve TIP2 yerleşimleri yapmaktadır. Ayrıca TIP1 yerleşiminde yer alan yalıtım malzemesi (EPS) de bu katsayının düşmesinde büyük katkı sağlamaktadır.

5.3.Faz Değiştiren Malzemelerin Isıtma ve Soğutma Amaçlı Kullanılması

Çalışmanın bu bölümünde faz değiştiren malzemelerin binaların dış duvarında kullanımının ısıtma ve soğutma performansına etkisi araştırılmıştır. Araştırmalarda simlasyonu yapılacak villa için iki farklı lokasyon olarak İstanbul ve İzmir illeri seçilmiştir. Simlasyonu yapılan villa için farklı duvar tipleri tasarlanmıştır. Tipler DesignBuilder programında modellenirken her tip için aynı mimari yapı ve aynı lokasyon kullanılmıştır. Tip modellerde kullanılan villanın ısıtma ihtiyacı için ASHRAE 90.1 standartlarına uygun olarak doğal gaz ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri için elektrikli soğutma sistemi kullanımı kabulleri yapılmıştır. HVAC verilerini gösteren bilgiler şekil 22’de verilmiştir.

HVAC Template

Template **Fan Coil Unit (4-Pipe), Air cooled Chiller**

Mechanical Ventilation

☒ **On**

Outside air definition method: 4-Min fresh air (Sum per person + per area)

Operation: >>

Economiser (Free Cooling): >

Type: 1-None

Heat Recovery: >

☒ **On**

Heat recovery type: 1-Sensible

Sensible heat recovery effectiveness: 0.700

Auxiliary Energy >>

Heating >

☒ **Heated**

Fuel: 2-Natural Gas

Heating system seasonal CoP **0.830**

Sizing Zone Equipment: >>

Type: >>

Operation: >>

Cooling >

☒ **Cooled**

Cooling system Default

Fuel: 1-Electricity from grid

Cooling system seasonal CoP **1.670**

Supply Air Condition: >>

Operation: >>

Şekil 22. Simülasyonu yapılan villanın HVAC verileri

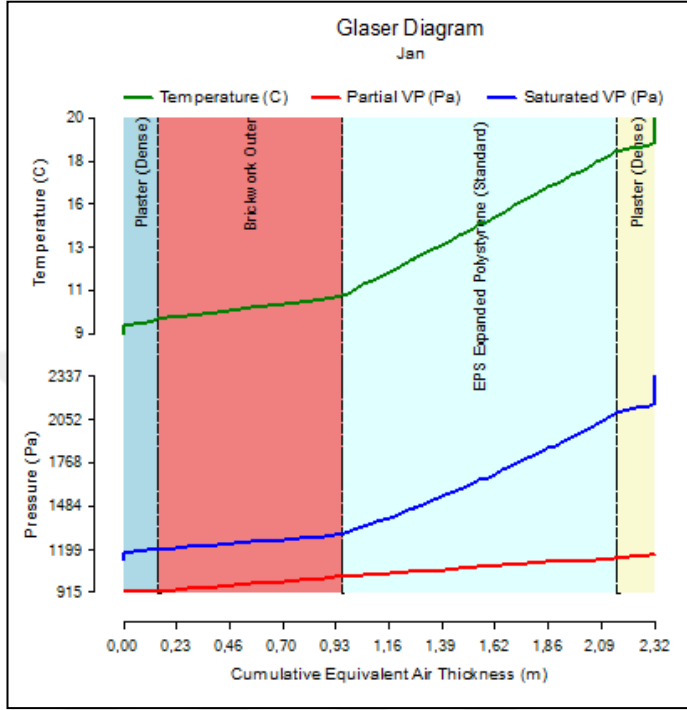
Tip modeller için incelemeler yapılırken öncelikle FDM'siz villanın analizi yapılmış ardından tüm tip modeller için analizler yapılarak FDM kullanılan dış duvarın ve FDM kullanılmayan dış duvarın ısıtma ihtiyacına ve soğutma ihtiyacına etkisi üzerine karşılaştırmalar yapılmıştır. DesignerBuilder programı condensation analysis kısmından alınan FDM'siz villanın yıllık ortalama ortam şartlarını gösteren analiz raporu Tablo 10'da, sıcaklık diyagramı Şekil 23'de verilmiştir.

Tablo 10. FDM'siz villanın yıllık ortalama ortam şartları

	Harici		Uluslararası		Min	Min	Tsı
	Sıcaklık	RH (%)	Sıcaklık	RH (%)	Sıcaklık Faktörü	Tsi	
Ocak	3.0	85	20.0	50	0.652	14.1	18.6
Şubat	3.0	82	20.0	50	0.652	14.1	18.6
Mart	5.0	79	20.0	50	0.606	14.1	18.8
Nisan	8.0	75	20.0	50	0.507	14.1	19.0
Mayıs	11.0	73	20.0	50	0.343	14.1	19.3
Haziran	14.0	75	20.0	50	0.014	14.1	19.5
Temmuz	15.0	75	20.0	50	-0.183	14.1	19.6
Ağustos	15.0	77	20.0	50	-0.183	14.1	19.6
Eylül	13.0	80	20.0	50	0.155	14.1	19.4

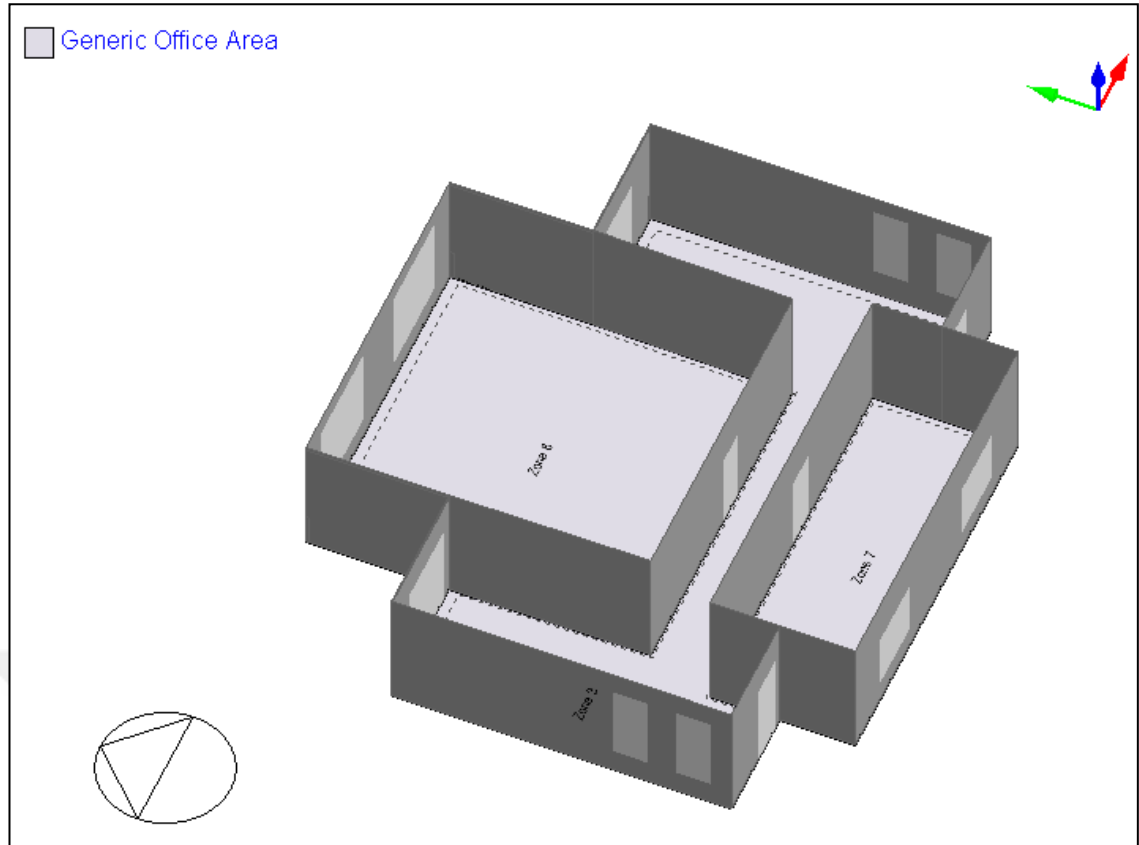
Tablo 10. (Devamı)

	Harici		Uluslararası		Min Sıcaklık	Min	
	Sıcaklık	RH (%)	Sıcaklık	RH (%)	Faktörü	Tsi	Tsı
Ekim	10.0	83	20.0	50	0.409	14.1	19.2
Kasım	6.0	85	20.0	50	0.578	14.1	18.9
Aralık	4.0	86	20.0	50	0.630	14.1	18.7

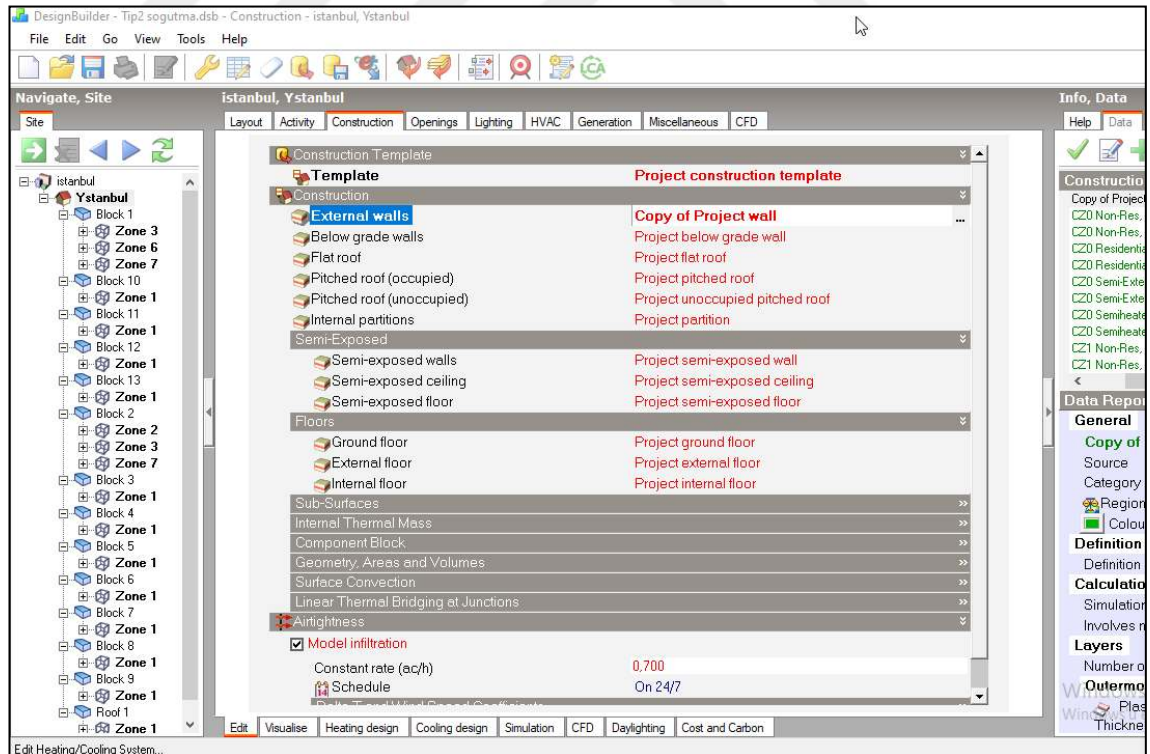


Şekil 23. FDM'siz villaya ait sıcaklık diyagramı

Karşılaştırmalarda kullanılan tip modellerde sadece dış duvar yapı bileşenleri değiştirilmiştir. Tip modellerde iç duvar yapı bileşenleri, çatı yapı bileşenleri ve döşeme yapı bileşenleri sabit tutulmuştur. Her bir duvar tipine göre DesignBuilder program girdilerinde Construction kısmından External Wall parametleri simülasyonu yapılacak olan tipe özel olarak seçilmiş ve program girdileri değiştirilerek ayrı ayrı analiz edilmiştir. Simülasyonu yapılan tüm tip modellerin analizlerinden elde edilen sonuçlar tüm blok ve zonelerinin verilerinin değerlerinde meydana gelen değişikliklere bakılarak incelenmiştir. Kullanılan FDM'nin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının, FDM'nin aylık ısıtma enerjisi ihtiyacının ve aylık soğutma enerjisi ihtiyacının belirlenmesi amacıyla FDM'li ve FDM'siz duvarın ısıtma ve soğutma ihtiyacı değerleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Simülasyonu yapılan villanın zonelerine ait görsel Şekil 24'de verilmiştir. Tip modellerin dış duvar yapı bileşenlerinin seçiminin yapıldığı DesignBuilder program penceresine ait görsel Şekil 25'de verilmiştir.



Şekil 24. Simülasyonu yapılan villanın zonelerine ait görsel



Şekil 25. DesignerBulder programı External Wall parametreleri penceresi

Analizlerde Tip1 (20 mm dış sıva, 30 mm yalıtım malzemesi, FDM (kalınlıklar değişken), 100 mm tuğla, 20 mm iç sıva), Tip2 (20 mm dış sıva, 100 mm tuğla, FDM (kalınlıklar değişken), 100 mm tuğla, 20 mm iç sıva), Tip3 (20 mm dış sıva, 100 mm

tuğla, FDM (kalınlıklar değişken), 20 mm iç sıva), Tip4 (20 mm dış sıva, FDM (kalınlıklar değişken), 100 mm tuğla, 20 mm iç sıva) ve Tip5 (20 mm dış sıva, 100 mm tuğla, FDM (kalınlıklar değişken), 30 mm yalıtım malzemesi, 20 mm iç sıva) olmak üzere beş farklı tip kullanılmıştır. Duvar tiplerinde İnfiniteRPCM ve BioM27 malzemelerinin 3 farklı erime sıcaklığı (21°C, 23°C, 25°C) ve 3 farklı kalınlığı (11.20 mm, 22.40 mm, 33.60 mm) kullanılmıştır. Faz değiştiren malzemelerin erime noktalarının seçiminde İstanbul ilinin ortalama en yüksek sıcaklığı ve ortalama en düşük sıcaklığı arasında değerler olmasına dikkat edilmiştir. Faz değiştiren malzemelerin seçiminde ısı iletkenlik katsayıları göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan duvar tiplerine göre ısı iletkenlik değerini gösteren çizelge Tablo 11, Tablo 12 ve Tablo 13'te verilmiştir. Faz değiştiren malzemelerin kullanılmasında ısıtma enerjisi ihtiyacı ve soğutma enerjisi ihtiyacındaki etkilerinin karşılaştırılabilmesi için aynı kalınlıklarda ki FDM'ler kullanılmıştır.

Tablo 11. İnfiniteRPCM kullanılan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri

Tip 1 İNFİTERPCM-1		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 1 İNFİTERPCM-2		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 1 İNFİTERPCM-3		d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.13		hi			0.13		hi			0.13
	iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04
	tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048
	EPS	0.03	0.4	0.075		EPS	0.03	0.4	0.075		EPS	0.03	0.4	0.075
	fdm	0.0112	0.815	0.013742		fdm	0.0224	0.815	0.027485		fdm	0.0336	0.815	0.041227
	dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04
	ho			0.04		ho			0.04		ho			0.04
Tip 2 İNFİTERPCM-1	Rtop			0.45779	Tip 2 İNFİTERPCM-2	Rtop			0.471532	Tip 2 İNFİTERPCM-3	Rtop			0.485275
	U(W/m2.K)			2.184408		U(W/m2.K)			2.120746		U(W/m2.K)			2.060689
		d(m)	k(W/m.K)	R			d(m)	k(W/m.K)	R			d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.13		hi			0.13		hi			0.13
	iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04
	tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048
	fdm	0.0112	0.815	0.013742		fdm	0.0224	0.815	0.027485		fdm	0.0336	0.815	0.041227
	tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048
Tip 3 İNFİTERPCM-1	dış siva	0.02	0.5	0.04	Tip 3 İNFİTERPCM-2	dış siva	0.02	0.5	0.04	Tip 3 İNFİTERPCM-3	dış siva	0.02	0.5	0.04
	ho			0.04		ho			0.04		ho			0.04
	Rtop			0.501838		Rtop			0.51558		Rtop			0.529322
	U(W/m2.K)			1.992677		U(W/m2.K)			1.939564		U(W/m2.K)			1.889208
		d(m)	k(W/m.K)	R			d(m)	k(W/m.K)	R			d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.13		hi			0.13		hi			0.13
	iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04
	fdm	0.0112	0.815	0.013742		fdm	0.0224	0.815	0.027485		fdm	0.0336	0.815	0.041227
Tip 3 İNFİTERPCM-1	tuğla	0.1	0.84	0.119048	Tip 3 İNFİTERPCM-2	tuğla	0.1	0.84	0.119048	Tip 3 İNFİTERPCM-3	tuğla	0.1	0.84	0.119048
	dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04
	ho			0.04		ho			0.04		ho			0.04
	Rtop			0.38279		Rtop			0.396532		Rtop			0.410275
	U(W/m2.K)			2.612399		U(W/m2.K)			2.521863		U(W/m2.K)			2.437392
		d(m)	k(W/m.K)	R			d(m)	k(W/m.K)	R			d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.13		hi			0.13		hi			0.13
	iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04

Tablo 11. (devamı)

Tip 4 INFINITEPCM-1		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 4 INFINITEPCM-2		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 4 INFINITEPCM-3		d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.13		hi			0.13		hi			0.13
	iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04
	tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048
	fdm	0.0112	0.815	0.013742		fdm	0.0224	0.815	0.027485		fdm	0.0336	0.815	0.041227
	dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04
	ho			0.04		ho			0.04		ho			0.04
	Rtop			0.38279		Rtop			0.396532		Rtop			0.410275
	U(W/m2.K)			2.612399		U(W/m2.K)			2.521863		U(W/m2.K)			2.437392
Tip 5 INFINITEPCM-1		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 5 INFINITEPCM-2		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 5 INFINITEPCM-3		d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.13		hi			0.13		hi			0.13
	iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04		iç siva	0.02	0.5	0.04
	tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048		tuğla	0.1	0.84	0.119048
	fdm	0.0112	0.815	0.013742		fdm	0.0224	0.815	0.027485		fdm	0.0336	0.815	0.041227
	EPS	0.03	0.4	0.075		EPS	0.03	0.4	0.075		EPS	0.03	0.4	0.075
	dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04		dış siva	0.02	0.5	0.04
	ho			0.04		ho			0.04		ho			0.04
	Rtop			0.45779		Rtop			0.471532		Rtop			0.485275
	U(W/m2.K)			2.184408		U(W/m2.K)			2.120746		U(W/m2.K)			2.060689

Tablo 12. BioPCMM27 kullanılan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri

Tip 1 BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 1 2BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 1 3BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.130		hi			0.130		hi			0.130
	iç sıva	0.02	0.5	0.040		iç sıva	0.02	0.5	0.040		iç sıva	0.02	0.5	0.040
	tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119
	EPS	0.03	0.4	0.075		EPS	0.03	0.4	0.075		EPS	0.03	0.4	0.075
	fdm	0.0112	0.2	0.056		fdm	0.0224	0.2	0.112		fdm	0.0336	0.2	0.168
	dış sıva	0.02	0.5	0.040		dış sıva	0.02	0.5	0.040		dış sıva	0.02	0.5	0.040
	ho			0.040		ho			0.040		ho			0.040
	Rtop			0.500		Rtop			0.556		Rtop			0.612
	U(W/m2.K)			2.000		U(W/m2.K)			1.798		U(W/m2.K)			1.634
Tip 2 BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 2 2BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 2 3BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.130		hi			0.130		hi			0.130
	iç sıva	0.02	0.5	0.040		iç sıva	0.02	0.5	0.040		iç sıva	0.02	0.5	0.040
	tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119
	fdm	0.0112	0.2	0.056		fdm	0.0224	0.2	0.112		fdm	0.0336	0.2	0.168
	tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119
	dış sıva	0.02	0.5	0.040		dış sıva	0.02	0.5	0.040		dış sıva	0.02	0.5	0.040
	ho			0.040		ho			0.040		ho			0.040
	Rtop			0.544		Rtop			0.600		Rtop			0.656
	U(W/m2.K)			1.838		U(W/m2.K)			1.666		U(W/m2.K)			1.524
Tip 3 BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 3 2BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R	Tip 3 3BioM27		d(m)	k(W/m.K)	R
	hi			0.130		hi			0.130		hi			0.130
	iç sıva	0.02	0.5	0.040		iç sıva	0.02	0.5	0.040		iç sıva	0.02	0.5	0.040
	fdm	0.0112	0.2	0.056		fdm	0.0224	0.2	0.112		fdm	0.0336	0.2	0.168
	tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119		tuğla	0.1	0.84	0.119
	dış sıva	0.02	0.5	0.040		dış sıva	0.02	0.5	0.040		dış sıva	0.02	0.5	0.040
	ho			0.040		ho			0.040		ho			0.040
	Rtop			0.425		Rtop			0.481		Rtop			0.537
	U(W/m2.K)			2.353		U(W/m2.K)			2.079		U(W/m2.K)			1.862

Tablo 12. (Devamı)

Tip 4 BioM27	d(m)k(W/m.KR			Tip 4 2BioM27	d(m)k(W/m.KR			Tip 4 3BioM27	d(m)k(W/m.KR					
	hi		0.130		hi		0.130		hi		0.130			
	iç sıva	0.02	0.5		0.040	iç sıva	0.02		0.5	0.040	iç sıva	0.02	0.5	0.040
	tuğla	0.1	0.84		0.119	tuğla	0.1		0.84	0.119	tuğla	0.1	0.84	0.119
	fdm	0.0112	0.2		0.056	fdm	0.0224		0.2	0.112	fdm	0.0336	0.2	0.168
	dış sıva	0.02	0.5		0.040	dış sıva	0.02		0.5	0.040	dış sıva	0.02	0.5	0.040
	ho		0.040		ho		0.040		ho		0.040			
	Rtop		0.425		Rtop		0.481		Rtop		0.537			
	U(W/m2.K)		2.353		U(W/m2.K)		2.079		U(W/m2.K)		1.862			
Tip 5 BioM27	d(m)k(W/m.KR			Tip 5 2BioM27	d(m)k(W/m.KR			Tip 5 3BioM27	d(m)k(W/m.KR					
	hi		0.130		hi		0.130		hi		0.130			
	iç sıva	0.02	0.5		0.040	iç sıva	0.02		0.5	0.040	iç sıva	0.02	0.5	0.040
	tuğla	0.1	0.84		0.119	tuğla	0.1		0.84	0.119	tuğla	0.1	0.84	0.119
	fdm	0.0112	0.2		0.056	fdm	0.0224		0.2	0.112	fdm	0.0336	0.2	0.168
	EPS	0.03	0.4		0.075	EPS	0.03		0.4	0.075	EPS	0.03	0.4	0.075
	dış sıva	0.02	0.5		0.040	dış sıva	0.02		0.5	0.040	dış sıva	0.02	0.5	0.040
	ho		0.040		ho		0.040		ho		0.040			
	Rtop		0.500		Rtop		0.556		Rtop		0.612			
U(W/m2.K)		2.000	U(W/m2.K)		1.798	U(W/m2.K)		1.634						

Tablo 13. FDM kullanılmayan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri

	d(m)	k(W/m.K)	R
Tip1-Tip5 FDMsiz	Hi		0.13
	i siva	0.02	0.5
	Tuğla	0.1	0.84
	EPS	0.03	0.4
	dış siva	0.02	0.5
	Ho		0.04
	Rtop		0.444048
	U(W/m2.K)		2.252011
Tip 2 FDMsiz	d(m)	k(W/m.K)	R
	Hi		0.13
	i siva	0.02	0.5
	tuğla	0.1	0.84
	tuğla	0.1	0.84
	dış siva	0.02	0.5
	ho		0.04
	Rtop		0.488095
	U(W/m2.K)		2.04878
Tip3-Tip4 FDMsiz	d(m)	k(W/m.K)	R
	hi		0.13
	i siva	0.02	0.5
	tuğla	0.1	0.84
	dış siva	0.02	0.5
	ho		0.04
	Rtop		0.369048
	U(W/m2.K)		2.709677

Tablo 11, Tablo 12 ve Tablo 13'te verilen d(m) kullanılan malzemenin kalınlığını, λ (W/m.K) ısı iletkenliğini, $R=1/U$ ($m^2.K/W$) direnç değerini ifade etmektedir.

Simölasyonu yapılacak villa için tipler modellenirken bir tip için 3 kalınlık ve 3 erime noktası sıcaklığında ki 2 farklı FDM kullanılmıştır. Örneğin Tip1 için 11.20 mm kalınlığında İnfinitRPCM21C (erime noktası 21°C), BioPCM27/Q21 (erime noktası 21°C), İnfinitRPCM23C (erime noktası 23°C), BioPCM27/Q23 (erime noktası 23°C), İnfinitRPCM25C (erime noktası 25 °C), BioPCM27/Q25 (erime noktası 25°C) kullanılarak 6 farklı analiz, Tip1 için 22.40 mm kalınlığında İnfinitRPCM21C (erime noktası 21°C) , BioPCM27/Q21 (erime noktası 21°C), İnfinitRPCM23C (erime noktası 23°C), BioPCM27/Q23 (erime noktası 23°C), İnfinitRPCM25C (erime noktası 25 °C), BioPCM27/Q25 (erime noktası 25°C) kullanılarak 6 farklı analiz, Tip1 için 33.60 mm kalınlığında İnfinitRPCM21C (erime noktası 21°C) , BioPCM27/Q21 (erime noktası 21°C), İnfinitRPCM23C (erime noktası 23°C), BioPCM27/Q23 (erime noktası 23°C), İnfinitRPCM25C (erime noktası 25°C), BioPCM27/Q25 (erime noktası 25°C)

kullanılarak 6 farklı analiz olmak üzere Tip1 için 18 ayrı analiz yapılmıştır. Aynı şekilde Tip2, Tip3, Tip4, Tip5 tip modellerin her biri için 18 ayrı analiz yapılmıştır. Her bir tip model için ayrı ayrı yıllık ve saatlik analizler yapılmış ve geniş bir yelpazede yorum yapmaya olanak sağlayan toplamda 90 farklı analiz sonucu elde edilmiştir. Tüm tip modellerin analiz sonuçlarından yıllık ısıtma soğutma verileri, saatlik ısıtma soğutma verileri ve aylık ısıtma soğutma verileri raporları DesignBuilder programı “Simulation” kısmında yıllık saatlik simülasyonu yapılarak “view EnergyPlus results” penceresinden alınmıştır. Daha sonra dış duvarında FDM kullanılan villanın analiz sonuçları ile dış duvarında FDM kullanılmayan villanın analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda simülasyonu yapılan villanın program analizlerinden elde edilen ortam sıcaklığı (°C), iç yüzey sıcaklığı (°C), dış yüzey sıcaklığı (°C), duvar sıcaklığı (°C), konfor sıcaklığı (°C) parametrelerinden faydalanılmıştır. FDM kullanılan dış duvar ve FDM kullanılmayan dış duvar tip modellerinin ısıtma enerjisi ihtiyacına ve soğutma enerjisi ihtiyacına etkisinin araştırılması amacıyla analiz sonuçları öncelikle yıllık bazda değerlendirilmiştir. İnfiniteRPCM21C kullanılan, BioPCM27/Q21 kullanılan ve FDM kullanılmayan bina modellerine ait yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı Tablo 14’de, yıllık ısıtma enerjisi kazancı ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Tablo 15’de verilmiştir. İnfiniteRPCM23C kullanılan, BioPCM27/Q23 kullanılan ve FDM kullanılmayan bina modellerine ait yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı Tablo 16’da, yıllık ısıtma enerjisi kazancı ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Tablo 17’de verilmiştir. İnfiniteRPCM25C kullanılan, BioPCM27/Q25 kullanılan ve FDM kullanılmayan bina modellerine ait yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı Tablo 18’de, yıllık ısıtma enerjisi kazancı ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 14. İnfiniteRPCM21C ve BioPCM27/Q21 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı

		FDM siz		İnfiniteRPCM21C		BioPCM27/Q21	
		Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)
Tip1	11.20 mm	18467.17	20918.18	17080.73	19815.76	17999.29	20855.33
	22.40 mm	18467.17	20918.18	16341.34	19482.02	17586.97	20816.89
	33.60 mm	18467.17	20918.18	15784.19	19085.14	17215.16	20786.15
Tip2	11.20 mm	28785.33	19057.54	27465.63	17758.86	26974.22	19148.64
	22.40 mm	28785.33	19057.54	26643.79	17128.63	25471.26	19243.39
	33.60 mm	28785.3	19057.54	25801.21	16780.79	24200.98	19323.8

Tablo 14. (Devamı)

		FDM siz		İnfiniteRPCM21C		BioPCM27/Q21	
		Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)
Tip3	11.20 mm	34207.66	19689.91	31881.85	17046.86	31148.34	19558.5
	22.40 mm	34207.66	19689.91	30767.93	16296.97	28795.24	19578.94
	33.60 mm	34207.66	19689.91	29802.53	15951.74	26915.45	19633.22
Tip4	11.20 mm	34207.66	19689.91	32504.38	17775.35	31299.28	19579.79
	22.40 mm	34207.66	19689.91	31303.29	16844.94	29024.39	19606.85
	33.60 mm	34207.66	19689.91	30361.05	16018.15	27188.07	19672.34
Tip5	11.20 mm	18467.17	20918.18	17599.46	20119.1	17702.38	21107.46
	22.40 mm	18467.17	20918.18	17355.42	19637.7	17312.79	21088.16
	33.60 mm	18467.17	20918.18	17049.18	19078.33	16954.79	21062.47

Tablo 15. İnfiniteRPCM21C ve BioPCM27/Q21 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji kazancı

		İnfiniteRPCM21C		BioPCM27/Q21	
		Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %
Tip1	11.20 mm	7.51	5.27	2.53	0.30
	22.40 mm	11.51	6.87	4.77	0.48
	33.60 mm	14.53	8.76	6.78	0.63
Tip2	11.20 mm	4.58	6.81	6.29	-0.48
	22.40 mm	7.44	10.12	11.51	-0.98
	33.60 mm	10.37	11.95	15.93	-1.40
Tip3	11.20 mm	6.80	13.42	8.94	0.67
	22.40 mm	10.06	17.23	15.82	0.56
	33.60 mm	12.88	18.99	21.32	0.29
Tip4	11.20 mm	4.98	9.72	8.50	0.56
	22.40 mm	8.49	14.45	15.15	0.42
	33.60 mm	11.24	18.65	20.52	0.09
Tip5	11.20 mm	4.70	3.82	4.14	-0.90
	22.40 mm	6.02	6.12	6.25	-0.81
	33.60 mm	7.68	8.80	8.19	-0.69

Tablo 16. İnfiniteRPCM23C ve BioPCM27/Q23 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı

23°C		FDM siz		İnfiniteRPCM23C		BioPCM27/Q23	
		Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)
Tip1	11.20 mm	18467.17	20918.18	17525.22	19160.35	18008.05	20861.56
	22.40 mm	18467.17	20918.18	16985.45	18301.58	17600.23	20824.5
	33.60 mm	18467.17	20918.18	16629.26	17919.96	17230.81	20795.42
Tip2	11.20 mm	28785.33	19057.54	27802.21	17139.39	26978.74	19157.28
	22.40 mm	28785.33	19057.54	27032.13	16557.29	25477.48	19256.05
	33.60 mm	28785.3	19057.54	26444.37	16506.8	24207.84	19340.5
Tip3	11.20 mm	34207.66	19689.91	32456.69	16229.95	31166.2	19563.37
	22.40 mm	34207.66	19689.91	31487.25	15789.34	28819.04	19590.65
	33.60 mm	34207.66	19689.91	30650.66	15753.31	26940.83	19647.72
Tip4	11.20 mm	34207.66	19689.91	32817.91	17727.14	31303.63	19581.18
	22.40 mm	34207.66	19689.91	31788.05	16967.35	29033.02	19619.52
	33.60 mm	34207.66	19689.91	31028.56	16869.72	27198.3	19693.58
Tip5	11.20 mm	18467.17	19689.91	17740.42	20162.49	17704.5	21113.47
	22.40 mm	18467.17	20918.18	17513.09	20118.55	17315.92	21099.23
	33.60 mm	18467.17	20918.18	17327.35	20076.88	16958.91	21075.79

Tablo 17. İnfiniteRPCM23C ve BioPCM27/Q23 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji kazancı

23°C		İnfiniteRPCM23C		BioPCM27/Q23	
		Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %
Tip1	11.20 mm	5.10	8.40	2.49	0.27
	22.40 mm	8.02	12.51	4.69	0.45
	33.60 mm	9.95	14.33	6.69	0.59
Tip2	11.20 mm	3.42	10.07	6.28	-0.52
	22.40 mm	6.09	13.12	11.49	-1.04
	33.60 mm	8.13	13.38	15.90	-1.48
Tip3	11.20 mm	5.12	17.57	8.89	0.64
	22.40 mm	7.95	19.81	15.75	0.50
	33.60 mm	10.40	19.99	21.24	0.21
Tip4	11.20 mm	4.06	9.97	8.49	0.55
	22.40 mm	7.07	13.83	15.13	0.36
	33.60 mm	9.29	14.32	20.49	-0.02
Tip5	11.20 mm	3.94	3.61	4.13	-0.93
	22.40 mm	5.17	3.82	6.23	-0.87
	33.60 mm	6.17	4.02	8.17	-0.75

Tablo 18. İnfiniteRPCM25C ve BioPCM27/Q25 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı

25°C		FDM siz		İnfiniteRPCM25C		BioPCM27/Q25	
		Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)	Isıtma Enerjisi (kWh)	Soğutma Enerjisi (kWh)
Tip1	11.20 mm	18467.17	20918.18	17996.6	20646.07	18037.15	20926.67
	22.40 mm	18467.17	20918.18	17633.05	20714.07	17644.34	20919.77
	33.60 mm	18467.17	20918.18	17348.39	20703.4	17284.53	20905.85
Tip2	11.20 mm	28785.33	19057.54	28109.69	18853.85	26991.41	19208.55
	22.40 mm	28785.33	19057.54	27519.72	19115.58	25496.36	19342.61
	33.60 mm	28785.3	19057.54	27030	19281.59	24231.86	19444.15
Tip3	11.20 mm	34207.66	19689.91	33059.2	19005.1	31224.03	19613.4
	22.40 mm	34207.66	19689.91	32241.43	19212.89	28902.76	19732.21
	33.60 mm	34207.66	19689.91	31562.22	19347.54	27033.90	19857.27
Tip4	11.20 mm	34207.66	19689.91	33124.91	19342.96	31322.45	19599.6
	22.40 mm	34207.66	19689.91	32327.04	19491.77	29065.41	19689.11
	33.60 mm	34207.66	19689.91	31637.41	19609.37	27236.18	19806.44
Tip5	11.20 mm	18467.17	20918.18	17873.49	21219.12	17711.35	21141.9
	22.40 mm	18467.17	20918.18	17688.00	21311.81	17325.68	21142.76
	33.60 mm	18467.17	20918.18	17533.76	21364.94	16971.64	21134.64

Tablo 19. İnfiniteRPCM25C ve BioPCM27/Q25 kullanılan bina modellerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji kazancı

25°C		İnfiniteRPCM25C		BioPCM27/Q25	
		Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %
Tip1	11.20 mm	2.55	1.30	2.33	-0.04
	22.40 mm	4.52	0.98	4.46	-0.01
	33.60 mm	6.06	1.03	6.40	0.06
Tip2	11.20 mm	2.35	1.07	6.23	-0.79
	22.40 mm	4.40	-0.30	11.43	-1.50
	33.60 mm	6.10	-1.18	15.82	-2.03
Tip3	11.20 mm	3.36	3.48	8.72	0.39
	22.40 mm	5.75	2.42	15.51	-0.21
	33.60 mm	7.73	1.74	20.97	-0.85
Tip4	11.20 mm	3.17	1.76	8.43	0.46
	22.40 mm	5.50	1.01	15.03	0.00
	33.60 mm	7.51	0.41	20.38	-0.59
Tip5	11.20 mm	3.21	-1.44	4.09	-1.07
	22.40 mm	4.22	-1.88	6.18	-1.07
	33.60 mm	5.05	-2.14	8.10	-1.03

Tip modellerin analiz sonuçlarından elde edilen yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı kazançlarına bakıldığında villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının, hangi FDM'nin kullanıldığı, kullanılan FDM'nin hangi erime noktasına sahip olduğu,

kullanılan FDM'nin hangi kalınlıkta ve hangi tipte olduğuna göre lineer olmayan bir değişime sahip olduğu görülmektedir. Örneğin bina dış duvarında İnfiniteRPCM21C kullanıldığında en iyi ısıtma enerjisi performansı yüzde 14.53'lük kazanç ile 33.60 mm kalınlığında Tip1 modelde görülürken, BioPCM27/Q21 kullanıldığında en iyi ısıtma enerjisi performansı yüzde 21.32'lik kazanç ile 33.60 mm kalınlığında Tip3 modelde görülmektedir. İnfiniteRPCM23C'nin performansı incelendiğinde FDM'lerin aynı kalınlıklarda kullanıldığında tiplere göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacında farklılıklar olduğu görülmektedir. Örneğin Tip1 model 11.20 mm kalınlığında İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 17525.22 (kWh) iken Tip3 model 11.20 mm kalınlığında İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 32456.69 (kWh) olduğu görülmektedir. BioPCM27/Q23'ün performansı incelendiğinde ise 22.40 mm kalınlığında Tip4 model kullanılan villanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 29033.02 (kWh) iken 22.40 mm kalınlığında Tip5 model BioPCM27/Q23 kullanılan villanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 17315.92 (kWh) olduğu görülmektedir. Tüm İhtimallerin daha detaylı değerlendirilebilmesi için analiz sonuçları kullanılan FDM türüne, erime sıcaklığına ve kullanılan tiplere göre ayrıca incelenmiştir.

5.4.Kullanılan FDM Çeşidinin İrdelenmesi

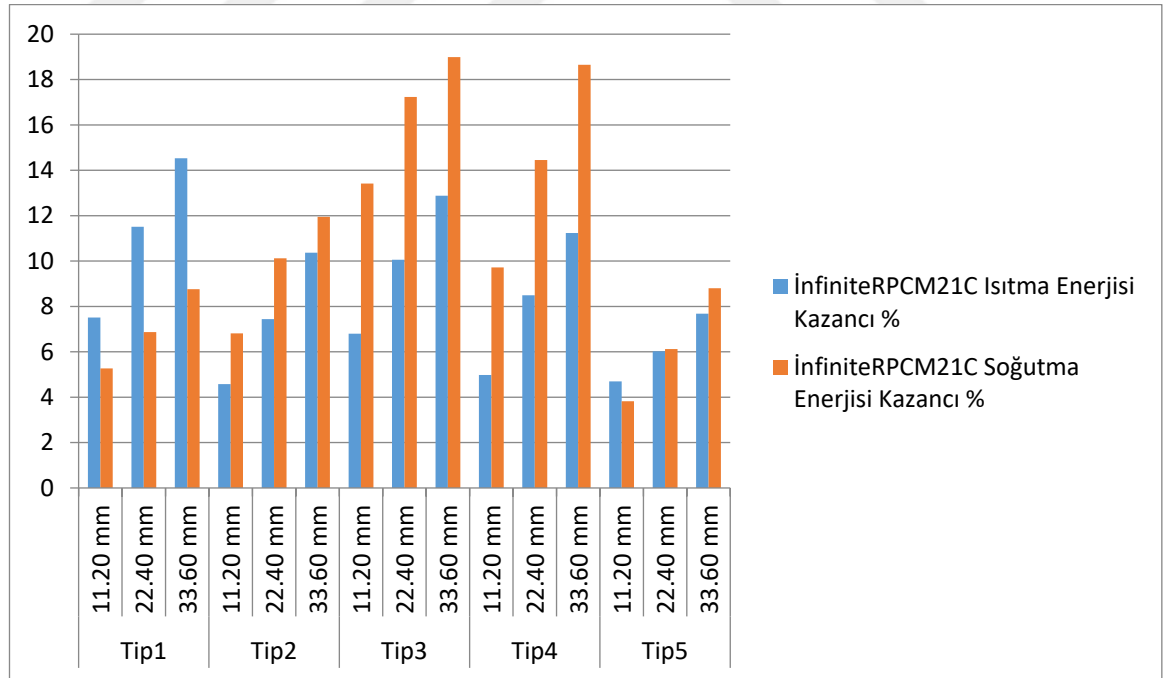
5.4.1. İnfiniteRPCM21C'in performansının irdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan İnfiniteRPCM21C'in villanın yıllık ısıtma enerjisine katkısına bakıldığında en iyi performansı yüzde 14.53 kazanç ile 33.60 mm kalınlığında Tip1 modelde kullanıldığında sağladığı görülmüştür. FDM'li villanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının tüm tip ve tüm kalınlıklarında FDM'siz villanın yıllık ısıtma ihtiyacından daha düşük olduğu yani her durumda ısıtma enerjisi kazancı sağladığı görülmüştür. Kalınlıklar kendi aralarında değerlendirildiğinde ise farklı oranlarda olsa da FDM'nin 33.60 mm kalınlığında kullanımının en iyi performansı sağladığı, tipler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise Tip1'in diğer tiplere göre daha iyi verim sağladığı görülmektedir. Tiplerin en yüksek performanstan düşük performansa göre sıralanması Tip1, Tip3, Tip4, Tip5, Tip2 şeklindedir.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Genel olarak bakıldığında FDM'li yapının yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının FDM'siz yapının yıllık soğutma enerjisi ihtiyacından daha düşük olduğu görülmektedir. Tüm modellerin analiz sonuçları incelendiğinde dış duvarında 33.30 mm kalınlığında Tip3 modelde İnfiniteRPCM21C

kullanıldığında yapının yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını %18.99 oranında düşürerek en iyi soğutma enerjisi performansını gösterdiği görülmüştür. Yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı kalınlıklar dikkate alınarak incelendiğinde aynı tipte kalınlık arttıkça soğutma enerjisi ihtiyacının azaldığı, yani performansın arttığı görülmüştür. Aynı kalınlıkların farklı tipte uygulanmasında ise yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını farklı oranlarda etkilediği görülmüştür. Tip5 modelde 33.60 mm FDM kullanımı yıllık soğutma enerjisini %8.80 oranında düşürürken, Tip3 modelde 11.20 mm FDM kullanılması yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını %13.42 oranında düşürmektedir. Yani Tip3 modelde Tip5 modele göre 1/3 oranında daha az malzeme kullanılmış olmasına rağmen yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı kazancının Tip5 modele göre %4.62 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür. Yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı performansının en düşük olduğu tip model ise %3.82 oranında 11.20 mm kalınlığında Tip5 modelde kullanımının olduğu görüşmüştür.

Bina dış duvarında İnfiniteRPCM21C kullanımının hem ısıtma hemde soğutma amaçlı kullanımında yani toplam enerji ihtiyacı bakımından incelendiğinde Tip3'ün (bina dış kabuğunda yalıtım malzemesi kullanılmadan FDM'nin tuğladan sonra kullanımı) diğer tip modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. İnfiniteRPCM21C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Şekil 26'da verilmiştir.



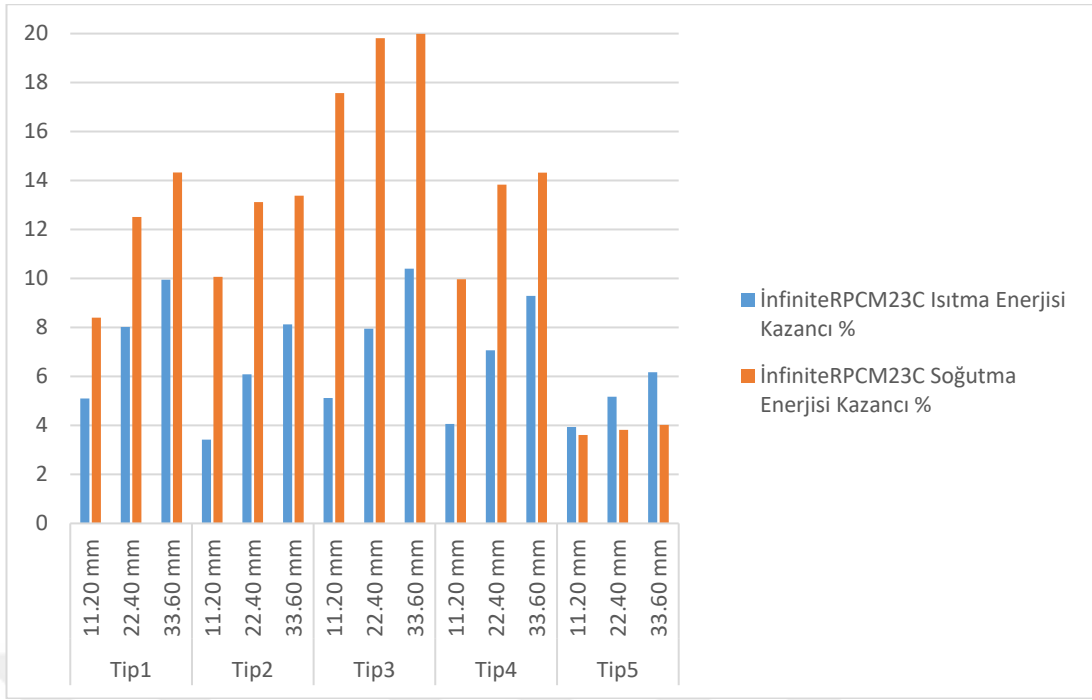
Şekil 26. İnfiniteRPCM21C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

5.4.2. İnfiniteRPCM23C'nin Performansının İrdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan İnfiniteRPCM23C'nin villanın yıllık ısıtma enerjisine katkısına bakıldığında tüm tip modellerde ki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının FDM kullanılmayan yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Senaryolara göre performansına bakıldığında ise en iyi performansın %10.40 kazanç oranı ile 33.60 mm kalınlığında Tip3 modelde olduğu, en düşük yıllık ısıtma enerjisi performansının ise %3.42 kazanç oranı ile 11.20 mm kalınlığında Tip2 modelde olduğu görülmektedir. Tip ve kalınlık arasındaki ilişki değerlendirildiğinde kalınlık arttıkça yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının düşerek performansının arttığı görülmekle beraber tiplere göre etkisinin değiştiği gözlemlenmiştir. FDM'nin 33.60 mm kalınlığında kullanılmasının tüm tipler için kendi tip grubunda en yüksek performansı gösterdiği, farklı tip grup karşılaştırmalarında ise aynı etkiyi göstermediği anlaşılmıştır. Örneğin FDM'nin 33.60 mm kalınlığında Tip5 modelde ki performansının 22.40 mm kalınlığındaki Tip3 ve Tip4 modelden daha düşük olduğu görülmektedir. Isıtma amaçlı kullanımında Tip1, Tip3, ve Tip4'ün veriminin Tip1 ve Tip5'in verimine göre daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapılan incelemeler sonucunda bina dış kabuğunda İnfiniteRPCM23C'nin kullanımının yıllık soğutma enerjisi ihtiyacına bakıldığında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre daha verimli olduğu, tüm tip ve modellerde FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını düşürdüğü görülmüştür. Yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını %19.99 oranında düşürerek en yüksek performansın Tip3 modelde, tüm tip modeller arasında en düşük performansın ise Tip5 modelde olduğu görülmüştür. Kalınlıklar değerlendirildiğinde Tip1, Tip2, Tip3 ve Tip4 modelde kalınlığın artmasıyla yıllık verimin daha belirgin arttığı, Tip5 modelde ise kalınlık oran artışının yıllık soğutma enerjisi verimini diğer tiplere göre daha az oranda arttırdığı görülmektedir. Tip1, Tip2, Tip3 ve Tip4'ün 11.20 mm kalınlığında kullanılan versiyonları Tip5'in 33.60 mm kalınlığında kullanılan versiyonundan daha verimli sonuçlar vermektedir.

Genel olarak İnfiniteRPCM23C'in hem soğutma hem de ısıtma enerjisi ihtiyacı beraber değerlendirildiğinde Tip3 model en iyi performansı sergilemektedir. İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. İnfinitRPCM23C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

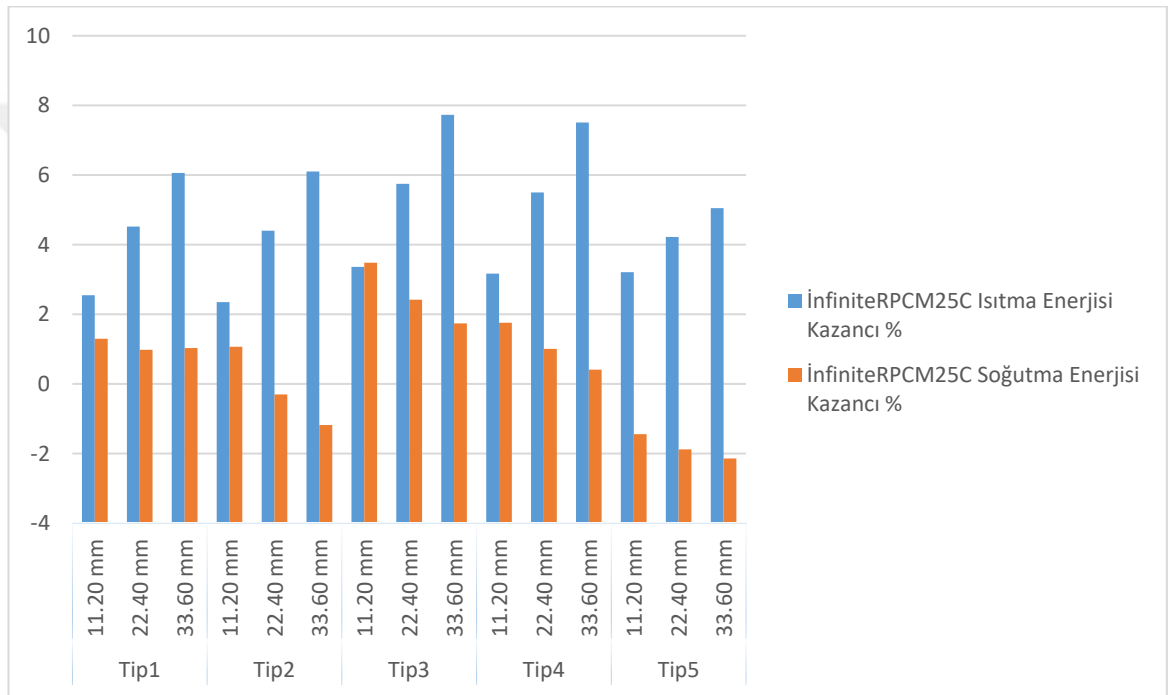
5.4.3. İnfinitRPCM25C'nin performansının irdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan İnfinitRPCM25C'in villanın yıllık ısıtma enerjisine etkisine bakıldığında tüm tip ve modellerin FDM'siz villanın ısıtma enerjisi ihtiyacından daha düşük olduğu, yani yıllık ısıtma enerjisi verimini arttırdığı görülmektedir. En yüksek performans %7.73 kazanç oranı ile İnfinitRPCM23C'te olduğu gibi Tip3 modelde görülmektedir. Tip kalınlık formuna bakıldığında kalınlık arttıkça ısıtma enerjisi ihtiyacının azaldığı fakat kalınlıkların tiplere göre etki oranının değiştiği görülmüştür. Örneğin FDM'nin 33.60 mm kalınlığında Tip5 model kullanılan versiyonun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının 22.40 mm kalınlığında ki Tip4 model versiyonunun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacından daha yüksek olduğu görülmektedir.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Elde edilen analiz sonuçları çerçevesinde dış duvarında İnfinitRPCM25C kullanılan villanın yıllık soğutma enerjisi performansının yıllık ısıtma enerjisi performansına göre daha verimsiz olduğu görülmektedir. Tip3 modelin %7.73 kazanç oranı ile yıllık soğutma performansında en iyi etkiyi gösterdiği, Tip5'in ise kullanılan tüm kalınlıklarında yıllık soğutma enerjisini düşürmediği görülmüştür. Tip ve kalınlıklar kendi aralarında değerlendirildiğinde kalınlık artışıının tüm durumlarda verimi arttırmadığı aksine bazı durumlarda verimi düşürdüğü görülmektedir. Örneğin FDM'nin Tip2 model versiyonun 11.20 mm kalınlığında kullanımı FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi verimini %1.07 oranında

artırırken, aynı modelde 22.40 mm kalınlığında kullanımı yıllık soğutma enerjisi verimini %0.30 oranında düşürmektedir.

Genel olarak bakıldığında bina dış duvarında İnfiniteRPCM25C kullanımının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürürken yıllık soğutma enerjisinin düşmesine bazı tip modellerde katkı sağlasada bazı tip modellerde verimi kötü etkilediği görülmüştür. İnfiniteRPCM25C'nin hem ısıtma hemde soğutma amaçlı kullanımı berber değerlendirildiğinde ise en verimli versiyonun Tip3 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. İnfiniteRPCM25C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

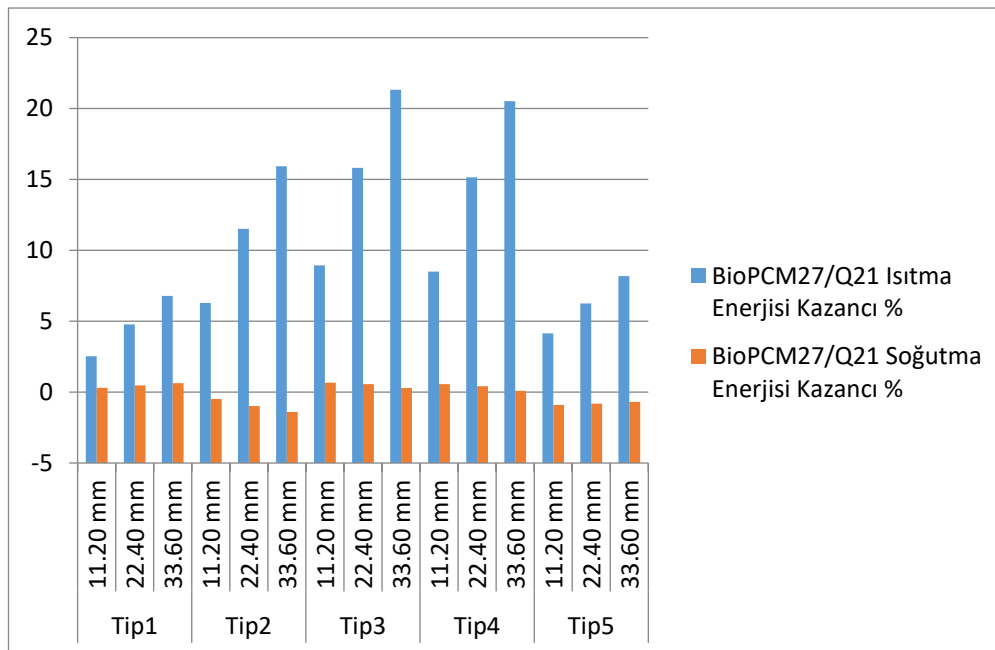
5.4.4. BioPCMM27/Q21'in performansının irdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan BioPCMM27/Q21'in villanın yıllık ısıtma enerjisine bakıldığında tüm tip ve modellerinde FDM'siz villanın ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürdüğü yani yıllık ısıtma enerjisi açısından verimli olduğu görülmektedir. Tüm tip ve modeller incelendiğinde en yüksek yıllık ısıtma enerjisi kazancının %21.32 kazanç oranı ile 33.60 mm kalınlığında Tip3 model versiyonda, en düşük ısıtma enerji performansının ise Tip1 modelde olduğu görülmektedir. Tipler kullanılan FDM'nin kalınlığı açısından incelendiğinde kalınlık artışının tüm tip ve modellerde yıllık ısıtma enerjisi kazancını arttırdığı gözlemlenmektedir.

İncelemelerde kalınlık ve tipler beraber değerlendirildiğinde ise yıllık soğutma enerjisi kazançları arasında lineer olmayan bir değişim olduğu görülmektedir. FDM'nin 11.20 mm kalınlığında Tip3 model versiyonu ile kullanımında yıllık ısıtma enerjisi kazancı %8.94 iken 33.6 mm kalınlığında Tip5 model versiyonunda elde edilen kazancı %8.19'dur. Yani FDM'nin dış duvarda kullanım yeri kullanıldığı kalınlığın etkisini kısıtlamaktadır.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan BioPCMM27/Q21'in villanın yıllık soğutma enerjisine bakıldığında yıllık ısıtma enerjisi kazancından çok daha düşük olduğu hatta bazı tip modellerde kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Tüm tipler arasında en iyi performansın %0.63 kazanç oranı ile 33.60 mm kalınlığında Tip1 modelde olduğu, en düşük performansın ise yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını %1.40 oranında arttıran Tip2 model olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere BioPCMM27/Q21'in kullanımı bazı tip modellerde yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını arttırarak kötü performanslar sergilemiştir ve Tip2 ve Tip5 yıllık soğutma enerjisi kazancı açısından en kötü sonuçlara sahiptirler.

BioPCMM27/Q21'in performansına bakıldığında yıllık ısıtma enerjisi kazancında yüksek verim sağlarken yıllık soğutma enerjisi kazancında verimsizdir. Yıllık ısıtma enerjisi açısından en iyi performans Tip3 modelde görülmektedir. Hem ısıtma hem de soğutma enerjisi ihtiyacının beraber değerlendirildiği durumda ise diğer tiplere oranla Tip3 ve Tip4 daha iyi performans göstermektedir. BioPCMM27/Q21 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Şekil 29'da verilmiştir.



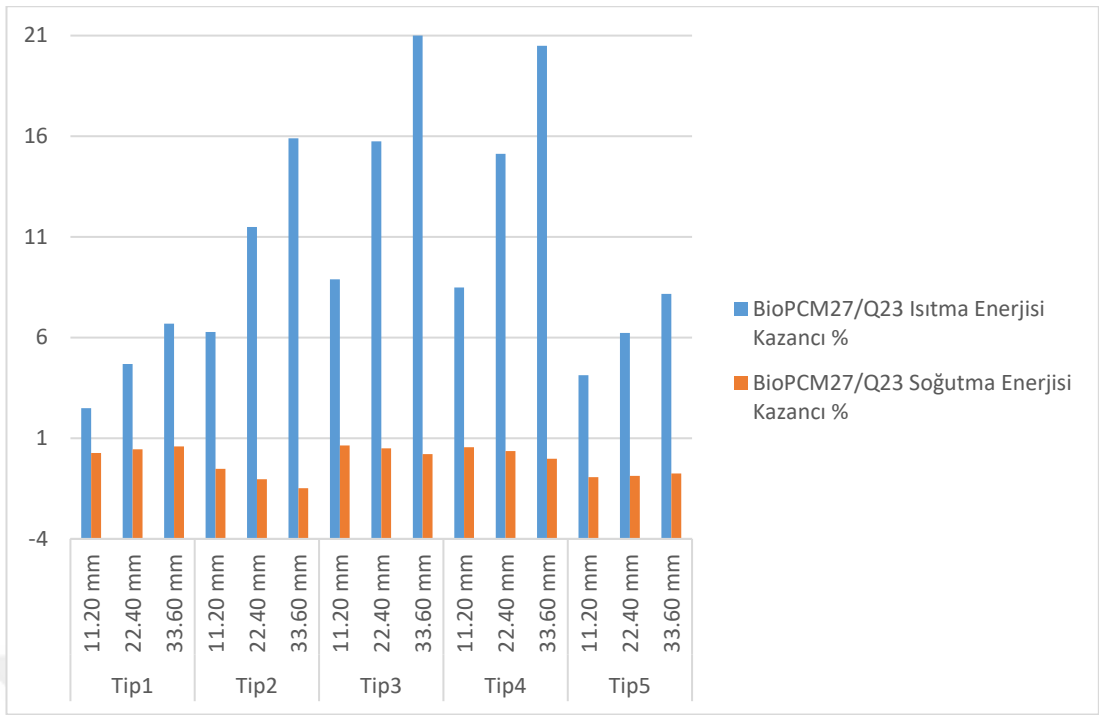
Şekil 29. BioPCMM27/Q21 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

5.4.5. BioPCMM27/Q23'ün performansının irdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan BioPCMM27/Q23'ün yıllık ısıtma enerjisine bakıldığında BioPCMM27/Q21 ile benzer özellikler gösterdiği, tüm tip ve modellerinin ısıtma enerjisi ihtiyacının FDM'siz villanın ısıtma enerjisi ihtiyacından daha düşük olduğu yani yıllık ısıtma enerjisi açısından verimli olduğu görülmektedir. Elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında en yüksek yıllık ısıtma enerjisi kazancının %21.24 oranı ile 33.60 mm kalınlığında Tip3 model versiyonda olduğu, en düşük ısıtma enerji performansının ise Tip1 modelde olduğu görülmektedir. Kalınlıklar tiplere göre incelendiğinde doğrusal bir performans artışının olduğu, kalınlık arttıkça yıllık ısıtma enerjisi performanslarının artışıyla birlikte BioPCMM27/Q21 kullanımında olduğu gibi BioPCMM27/Q23'te de tiplerin kalınlıkların etkisini sınırladığı görülmektedir. FDM'nin 11.20 mm kalınlığında Tip3 ve Tip4 model versiyonu ile kullanımında ki yıllık ısıtma enerjisi kazancının, 33.60 mm kalınlığında Tip5 model versiyonu ile kullanımında ki yıllık ısıtma enerjisi kazancından daha yüksek olduğu görülmektedir.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Bina dış kabuğunda kullanılan BioPCMM27/Q23'ün yıllık soğutma enerjisi kazancına bakıldığında verimsiz olduğu görülmektedir. Bazı tip modellerde düşük oranda kazanç sağlarken bazı tip modellerde kötü sonuçlar vermektedir. Analiz sonuçlarında elde edile verilere bakıldığında BioPCMM27/Q23'ün Tip3 model versiyonun 11.20 mm kalınlığı %0.64, 22.40 mm kalınlığı %0.50, 33.60 mm kalınlığı %0.21 kazanç sağlarken BioPCMM27/Q23'ün Tip4 model versiyonunun 11.20 mm kalınlığı %0.55, 22.40 mm kalınlığı %0.36 oranında kazanç sağlamaktadır. BioPCMM27/Q23'ün Tip2 ve Tip5 model versiyonlarının yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı ise FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacına göre daha yüksektir.

Genel olarak incelendiğinde BioPCMM27/Q23'ün yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürerek yüksek performans gösterdiği, yıllık soğutma enerjisi ihtiyacında ise oldukça düşük performans gösterdiği görülmüştür. Isıtma ve soğutma performansı bir arada değerlendirildiğinde ise tüm tipler arasında Tip3'ün en verimli model olduğu, özel olarak da Tip5 modelin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının Tip1 modelin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacından daha düşükken, bunun aksine Tip5 modelin yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının Tip1 modelin yıllık soğutma enerjisi ihtiyacından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. BioPCMM27/Q23 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 30. BioPCMM27/Q23 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

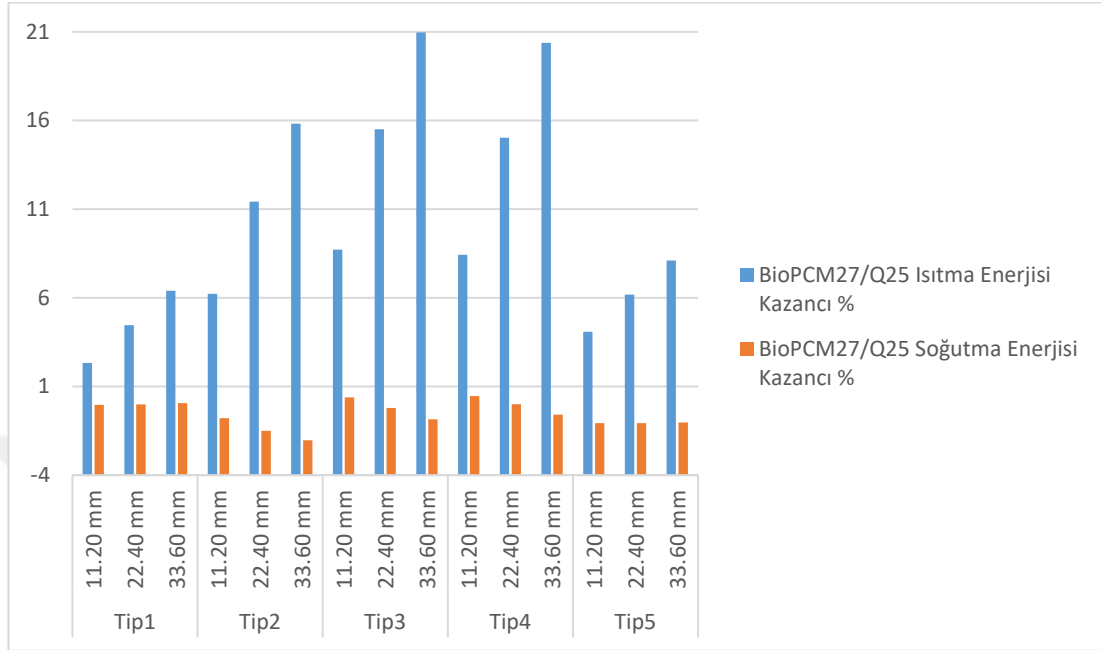
5.4.6. BioPCMM27/Q25'in performansının irdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan BioPCMM27/Q25'in villanın yıllık ısıtma enerjisine bakıldığında BioPCMM27/Q21 ve BioPCMM27/Q23 ile benzer özellikler gösterdiği, tüm tip ve modellerin FDM'siz villanın ısıtma enerjisi ihtiyacından daha düşük olduğu yani yıllık ısıtma enerjisi açısından verimli olduğu görülür. Tüm tip ve modeller arasında 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model versiyonu %20.97 kazanç oranı ile en iyi performansı göstermektedir. Aynı tip modelde kalınlıklar arttıkça yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı düşmektedir. BioPCMM27/Q21 ve BioPCMM27/Q23'te de görüldüğü gibi BioPCMM27/Q25'te de tipler kalınlık için bağlayıcı olmuştur. Örneğin 11.20 mm kalınlığında Tip3 ve Tip4 model versiyonunun kullanımının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, 33.60 mm kalınlığında ki Tip5 model versiyonunun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre daha düşüktür.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan BioPCMM27/Q25'in villanın yıllık soğutma enerjisine bakıldığında FDM kullanılmayan villanın yıllık soğutma enerji ihtiyacına göre verimsiz olduğu görülmektedir. Tip5 model ve Tip2 model en kötü sonucu verirken %0.46 kazanç oranı ile Tip4 model diğer tip modellere göre daha iyi performans sergilemektedir.

Genel olarak yorumlanacak olursa bina dış duvarında BioPCMM27/Q25'in kullanılması yıllık ısıtma enerjisi kazancında yüksek performans gösterirken, yıllık soğutma enerjisi kazancında düşük performans göstermektedir. Yıllık Isıtma enerjisi ve

yıllık soğutma enerjisi beraber değerlendirildiğinde Tip3 ve Tip4 model diğer tiplere göre daha verimli olduğu görülmektedir. BioPCMM27/Q25 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. BioPCMM27/Q25 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

5.4.7. Kullanılan FDM’nin etkisinin tiplere göre irdelenmesi

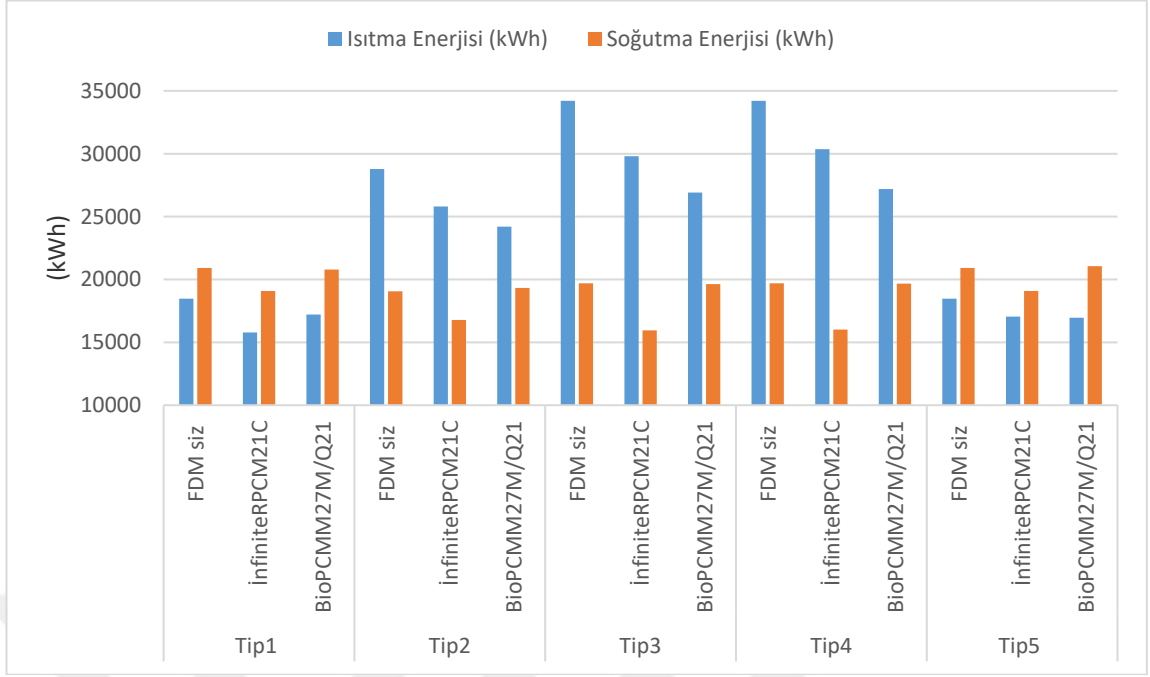
Bu bölümde bina dış duvarında kullanılan FDM’nin dış duvar yapı bileşenlerindeki yerinin villanın ısıtma yükünü ve soğutma yükünü nasıl etkilediğinin araştırılması amacıyla Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 ve Tip5 modellerinin analizlerinden elde edilen veriler incelenmiştir. İncelemelerde elde edilen veriler yıllık ısıtma enerjisi kazancı ve yıllık soğutma enerjisi kazancı bakımından seçilen malzemelerin erime noktası sıcaklığı ve kalınlıkları sabit tutularak değişen tipler açısından değerlendirilmiştir.

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tipler yıllık ısıtma enerjisi bakımından incelendiğinde tüm tip modellerin yıllık ısıtma enerji ihtiyacının FDM’siz villanın yıllık ısıtma enerjisine göre daha düşük olduğu, 21°C erime sıcaklığına sahip İnfiniteRPCM21C’in kullanıldığı tip model hariç, diğer tüm seçeneklerde Tip3 modelin en iyi performansı gösterdiği görülmüştür. BioPCMM27’nin erime sıcaklıklarının tamamında Tip1 model en düşük ısıtma kazancı performansını gösterirken, İnfiniteRPCM’in performansı erime sıcaklıklarına göre değişkenlik göstermektedir. İnfiniteRPCM’in 21°C erime sıcaklığı için en düşük performansın Tip1, 23°C erime sıcaklığı için en düşük performansın Tip3, 25°C erime sıcaklığı için en düşük performansın Tip2 modelde olduğu tespit edilmiştir. Dikkat çeken bir diğer husus ise

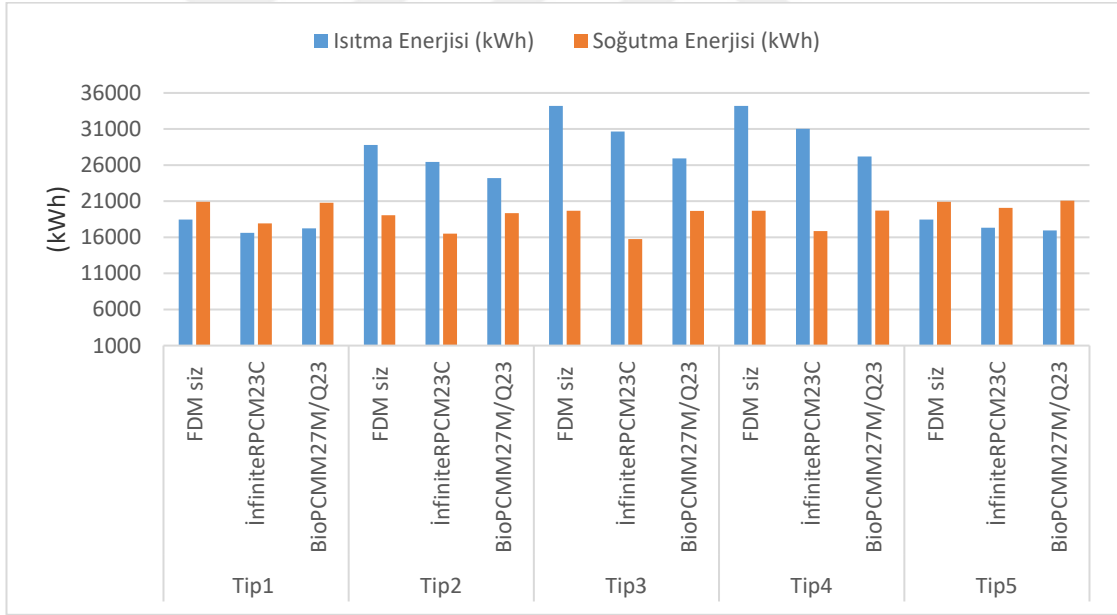
İnfiniteRPCM'in erime sıcaklığı 21°C iken Tip3 ve Tip4 model versiyonlarının ısıtma enerjisi performansları Tip1 model versiyonundan daha yüksek iken erime sıcaklığı yükseldiğinde bu durumunun aksine Tip1 model versiyonu Tip4 ve Tip3 model versiyonlarından daha verimli hale gelmektedir. Benzer şekilde İnfiniteRPCM'in 21°C ve 23°C erime sıcaklıklarında yıllık ısıtma enerjisi kazancı Tip1 modelde Tip5 modele göre daha yüksek iken erime sıcaklığı 25°C'ye yükseldiğinde kullanılan kalınlığa göre değişmekle beraber Tip5 model Tip1 modelden daha verimli hale gelmektedir.

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tip modeller yıllık soğutma enerjisi bakımından incelendiğinde bazı versiyonlarda soğutma kazancı sağladığı bazı senaryolarada ise verimsiz davranarak FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını yükselttiği görülmüştür. Genel olarak bakıldığında BioPCMM27/Q25 hariç diğer tüm durumlarda Tip3 versiyonun soğutma için en verimli model olduğu, Tip5 versiyonun en kötü sonucu verdiği görülmektedir. İnfiniteRPCM'in Tip5 model versiyonu, 21°C ve 23°C erime sıcaklıklarında diğer tiplere nazaran daha düşük oranda soğutma enerjisi kazancı sağlarken, erime sıcaklığının 25°C'e yükselmesi ile villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını arttırarak performansı olumsuz etkilediği görülmektedir. Dikkat çeken detaylardan biri de İnfiniteRPCM'in 21°C ve 25°C erime sıcaklıklarında ki Tip2 model versiyonun Tip4 model versiyonundan daha iyi soğutma enerjisi kazancı sağlarken, erime sıcaklığı 23°C olduğunda bu durumun tersine Tip2 model versiyonunun Tip4 model versiyondan daha düşük oranda soğutma enerjisi kazancı sağlamasıdır. Bunun yanı sıra Tip2 model versiyon İnfiniteRPCM'in 21°C ve 23°C erime sıcaklıklarında yıllık soğutma enerjisi açısından yaklaşık olarak %10 civarlarında kazanç sağlarken, İnfiniteRPCM'in 25°C erime sıcaklığında ve BioPCMM27'nin tüm erime sıcaklıklarında yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını arttırarak olumsuz etkilemektedir. Dikkat çeken bir diğer ayrıntı ise İnfiniteRPCM'in tüm erime sıcaklıklarında 11.20 mm kalınlığında kullanımı yıllık soğutma enerjisi açısından incelendiğinde Tip5 modelin Tip2 modelden daha verimli haldeyken FDM'nin kalınlık artışı ile Tip5 modelin Tip2 modele göre daha verimsiz hale gelmesidir.

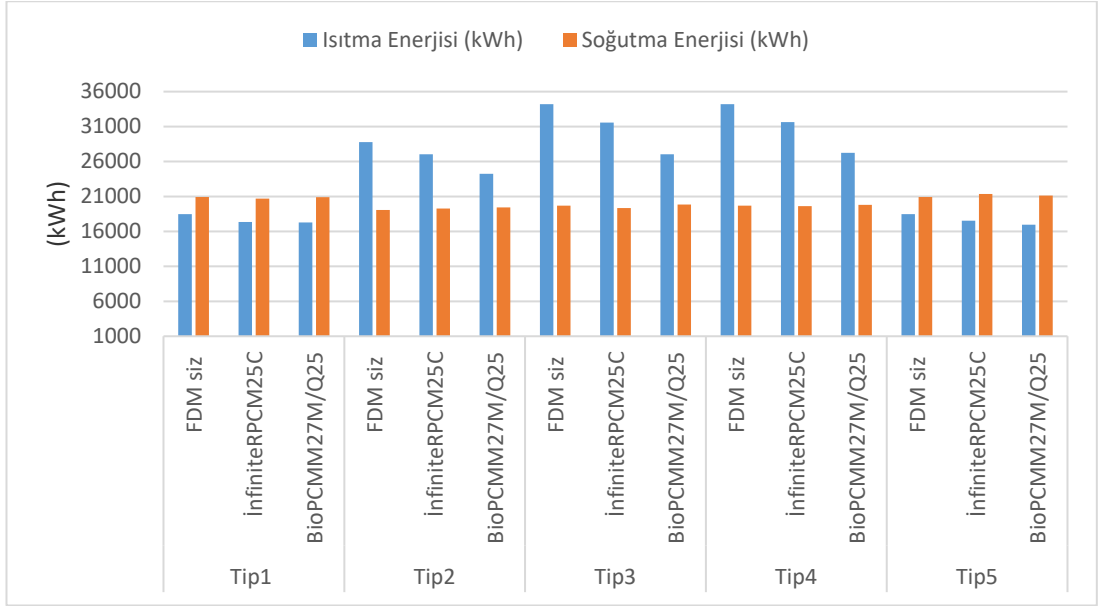
Hem yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hem de yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı beraber değerlendirildiğinde yıllık toplam enerji kazanımında Tip3 modelin en iyi performansı, Tip5 modelin en kötü performansı sergilediği görülmüştür. 33.60 mm kalınlığında ve 21°C erime sıcaklığında ki FDM'lerin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarını gösteren grafik Şekil 32, 23°C erime sıcaklığında ki FDM'lerin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarını gösteren grafik Şekil 33'de, 25°C erime sıcaklığında ki FDM'lerin yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarını gösteren grafik Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 32. FDM'siz ve 21°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı



Şekil 33. FDM'siz ve 23°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı



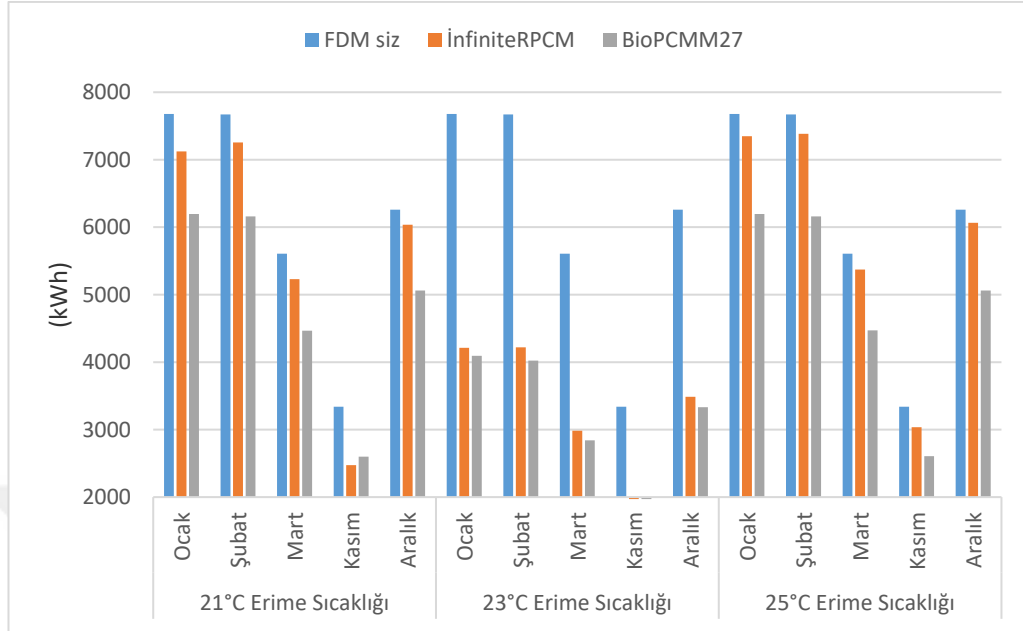
Şekil 34. FDM'siz ve 25°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı

5.4.8. Kullanılan FDM'nin etkisinin erime sıcaklığına göre irdelenmesi

Villanın dış duvarında kullanılan FDM'lerin kalınlıklarından ve tiplerinden bağımsız olarak farklı erime sıcaklıklarının (21°C, 23°C ve 25°C) villanın yıllık ısıtma enerjisi ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyaçlarını nasıl etkilediklerini incelemek amacıyla oluşturulan senaryolar ile FDM'siz villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma ihtiyaçları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tüm analiz verileri yıllık ısıtma enerjisi bakımından incelendiğinde tip model ve FDM kalınlığından bağımsız olarak 21°C erime sıcaklığının tüm FDM'ler ve tüm tip modellerde yıllık ısıtma enerjisini düşürerek en iyi performansı gösterdiği, 25°C erime sıcaklığının ise kullanılan FDM çeşidi ve tipe göre oranları değişmekle beraber en düşük performansı gösterdiği görülmektedir. 21°C erime sıcaklığındaki BioPCMM27'nin 21°C erime sıcaklığındaki İnfiniteRPCM'den daha fazla ısıtma enerjisi kazancı sağladığı, 23°C erime sıcaklığındaki BioPCMM27'nin Tip1 model hariç diğer tüm modellerde İnfiniteRPCM'den daha yüksek performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında hem BioPCMM27 için hem de İnfiniteRPCM için yıllık ısı enerjisi kazanımı verimleri yüksek performanstan düşük performansa göre 21°C, 23°C ve 25°C sıralaması ile gerçekleşmektedir. 21°C ve 23°C erime sıcaklıklarının Tip3 modelde en verimli, Tip5 modelde en verimsiz halini aldığı belirlenmiştir. 21°C erime sıcaklığına sahip BioPCMM27'in ve İnfiniteRPCM'in performanslarına bakıldığında Tip1 model hariç diğer tip modellerde BioPCMM27'in yıllık ısıtma yükü İnfiniteRPCM'in yıllık ısıtma yükünden daha düşük olduğu görülmektedir. 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model

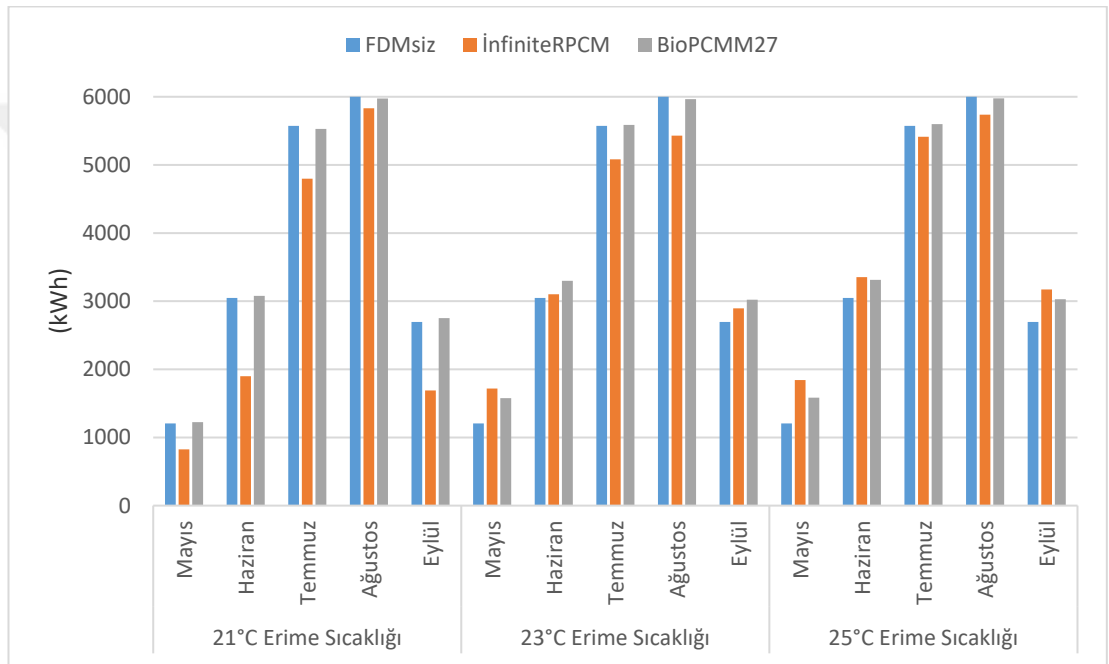
FDM'lerin erime sıcaklıklarının aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyacını veren grafik Şekil 35'te verilmiştir.



Şekil 35. 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model FDM'lerin erime sıcaklıklarına göre ısıtma enerjisi ihtiyacı

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tüm analiz verileri yıllık soğutma enerjisi bakımından incelendiğinde tip model ve FDM kalınlığından bağımsız olarak 21°C erime sıcaklığının tüm FDM'ler ve tüm tip modellerde yıllık soğutma enerjisini düşürerek en iyi performansı gösterdiği, 25°C erime sıcaklığının ise kullanılan FDM çeşidi ve tipe göre oranları değişmekle beraber en düşük performansı gösterdiği hatta bazı tip ve modellerde soğutma enerjisi ihtiyacını olumsuz etkilediği görülmüştür. Tüm erime sıcaklıkları beraber değerlendirildiğinde 21°C, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarında ki İnfiniteRPCM kullanılan villanın 21°C, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarında ki BioPCMM27 kullanılan villaya göre daha düşük soğutma enerjisine ihtiyaç duyduğu, İnfiniteRPCM'in 21°C, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarının tamamında Tip5 model hariç tüm tip modellerinde yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının FDM'siz villaya göre daha düşük olduğu görülmüştür. BioPCMM27'in erime sıcaklığının yıllık soğutma enerjisi performansına etkisi incelendiğinde 21°C ve 23°C erime sıcaklıklarının Tip2 ve Tip5 model hariç Tip1, Tip3, Tip4 modelde FDM'siz villaya göre daha iyi soğutma sağladığı, 25°C erime sıcaklığının ise Tip4 modelin 22.20 ve 22.40 mm kalınlıkları, Tip1 modelin 33.60 mm kalınlığı ve Tip3 modelin 11.20 mm kalınlığı hariç diğer tüm tip ve kalınlıklarının yıllık soğutma enerjisinin FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisinden daha yüksek olduğu yani verimsiz olduğu görülmüştür. İnfiniteRPCM'in erime

sıcaklığının yıllık soğutma enerjisi performansına etkisi incelendiğinde ise ve 21°C ve 23°C erime sıcaklıkları incelendiğinde tüm tip ve kalınlıklarda yüksek soğutma enerjisi kazancı performansı gösterdiği, en verimli senaryonun Tip3 model olduğu, İnfiniteRPCM'in 25°C erime sıcaklığının ise Tip1, Tip3, ve Tip4 modelin yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacına nazaran düşürdüğü, Tip2 ve Tip5 modelde ise bu durumun aksine FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacına nazaran daha çok arttırdığı görülmüştür. 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model FDM'lerin erime sıcaklıklarının aylara göre soğutma enerjisi ihtiyacını veren grafik Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. 33.60 mm kalınlığında ki Tip3 model FDM'lerin erime sıcaklıklarına göre soğutma enerjisi ihtiyacı

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı beraber değerlendirildiğinde FDM çeşidinden ve tip modellerden bağımsız olarak 21°C erime sıcaklığının 23°C ve 25°C erime sıcaklığına göre daha verimli olduğu, 23°C ve 25°C erime sıcaklığının performansının ise tiplere göre etkisinin kararsız bir yapıda olduğu belirtilmiştir.

5.4.9. Oluşturulan senaryoların aylara göre irdelenmesi

Bu bölümde FDM'lerin hem soğutma amaçlı kullanımını hem de ısıtma amaçlı kullanımını irdeleyebilmek amacı ile mevsimsel olarak yani ay bazlı incelemeler yapılmıştır. Sıcak mevsimlerde ve soğuk mevsimlerde FDM'lerin karakteristik davranışlarının nasıl etkilendiği, FDM'nin erimesi ya da katılaşması sonrasında aldığı

gizli ısı ile ısıtma yükünü ve soğutma yükünü nasıl etkilediğine dair incelemeler yapılmıştır. Teorikte FDM'lerin entegre olduğu tümleşik duvar yapılarında gün içeriğinde minimum bir defa erime ve katılaşma proseslerini yerine getirmesi öngörülmektedir. Bu amaç doğrultusunda elde edilen tüm analiz sonuçlarının daha detaylı incelemesi için BioPCMM27 ve İnfiniteRPCM'in 21°C, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarının Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 ve Tip5 modellerinin üç farklı kalınlıkları (11,20 mm, 22,40 mm ve 33,60 mm) kullanılarak modellenen villanın yılın tüm ayları ve yılın tüm saatleri için ayrı ayrı alınan analiz raporları, FDM'siz villanın analiz raporları ile karşılaştırılmış ve ısıtma ve soğutma yükleri irdelenmiştir. Elde edilen analiz raporlarından alınan veriler ile hazırlanan BioPCMM27'in ve İnfiniteRPCM'in aylara göre ısıtma enerji kazançlarını gösteren tablolar; Tip1 için Tablo 20'de, Tip2 için Tablo 21'de, Tip3 için Tablo 22'de, Tip4 için Tablo 23'te, Tip5 için Tablo 24'de, soğutma enerji kazançlarını gösteren tablolar; Tip1 için Tablo 25'de, Tip2 için Tablo 26'de, Tip3 için Tablo 27'de, Tip4 için Tablo 28'de, Tip5 için Tablo 29'da verilmiştir. Villanın tüm tip ve modellerine ait aylık ısıtma ihtiyacı verilerinin ve aylık soğutma ihtiyacı verilerinin (kWh) cinsinden değerleri Ek 1'de verilmiştir.

Tablo 20. Tip1 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları

		Isıtma Enerjisi Kazancı %					
Tip 1		İnfiniteRPCM21C	BioPCM27/Q21	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27/Q23	İnfiniteRPCM25C	BioPCM27/Q25
11.20 mm	Ocak	4.90	2.03	2.60	2.03	0.57	2.02
	Şubat	2.90	2.08	0.65	2.08	0.30	2.07
	Mart	2.03	2.17	0.78	2.16	0.24	2.14
	Nisan	31.53	3.56	24.05	3.39	6.89	3.02
	Mayıs	8.72	8.51	37.65	8.14	35.52	5.35
	Haziran	-2.58	0.37	0.57	0.37	0.51	0.42
	Temmuz	0.23	0.42	0.35	0.42	0.42	0.42
	Ağustos	0.40	0.42	0.35	0.42	0.41	0.42
	Eylül	-5.18	4.42	3.55	5.15	11.47	3.19
	Ekim	17.59	8.56	44.30	7.42	42.87	4.00
	Kasım	22.20	2.87	11.88	2.78	4.52	2.63
	Aralık	3.43	2.00	0.32	2.00	0.27	2.00
22.40 mm	Ocak	10.14	3.90	5.09	3.89	3.03	3.89
	Şubat	4.69	3.97	1.00	3.97	0.65	3.96
	Mart	2.54	4.14	0.83	4.13	0.38	4.11
	Nisan	39.02	6.52	36.67	6.31	10.39	5.84
	Mayıs	10.41	14.53	40.42	13.95	40.10	9.91
	Haziran	-2.61	0.67	0.99	0.73	0.92	0.84
	Temmuz	0.55	0.85	0.77	0.85	0.85	0.84
	Ağustos	0.67	0.84	0.77	0.84	0.83	0.84
	Eylül	-4.71	6.37	4.71	7.36	12.23	5.90
	Ekim	18.83	15.64	47.87	13.66	58.62	7.56
	Kasım	34.86	5.39	24.66	5.25	10.89	5.04
	Aralık	6.08	3.82	0.76	3.82	0.70	3.82
33.60 mm	Ocak	14.51	5.60	8.00	5.59	4.51	5.59
	Şubat	6.13	5.71	1.31	5.71	1.05	5.71
	Mart	2.35	5.95	0.88	5.94	0.52	5.92
	Nisan	40.43	9.12	39.03	8.91	11.78	8.42
	Mayıs	11.08	19.30	41.34	18.59	39.45	13.81
	Haziran	-2.44	1.01	1.41	1.15	1.31	1.25
	Temmuz	0.91	1.27	1.19	1.27	1.27	1.26
	Ağustos	1.05	1.26	1.19	1.26	1.25	1.26
	Eylül	-2.54	7.63	5.61	8.73	12.76	7.82
	Ekim	20.15	21.36	49.01	18.93	63.96	10.79
	Kasım	42.69	7.69	33.94	7.52	19.43	7.27
	Aralık	10.21	5.51	1.29	5.51	1.22	5.51

Tablo 21. Tip2 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları

		Isıtma Enerjisi Kazancı %					
Tip 2		İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23	İnfiniteRPCM25C	BioPCM27Q25
11.20 mm	Ocak	2.30	5.66	1.61	5.66	1.33	5.66
	Şubat	1.71	5.84	1.18	5.84	1.15	5.84
	Mart	2.70	6.00	1.78	5.99	1.29	5.98
	Nisan	12.51	7.28	8.05	7.24	3.79	7.15
	Mayıs	25.54	11.64	28.76	11.43	20.03	10.68
	Haziran	-2.76	0.67	1.71	0.86	1.52	0.89
	Temmuz	0.49	0.58	0.50	0.58	0.57	0.57
	Ağustos	0.40	0.43	0.34	0.43	0.40	0.43
	Eylül	0.86	6.43	16.18	6.01	19.90	4.70
	Ekim	38.94	10.26	32.22	10.04	17.76	9.43
	Kasım	7.61	6.63	3.80	6.62	2.54	6.59
	Aralık	1.13	5.50	1.08	5.50	1.08	5.50
22.40 mm	Ocak	4.03	10.38	4.02	10.38	2.63	10.37
	Şubat	2.95	10.71	2.30	10.71	2.29	10.71
	Mart	3.89	11.01	2.99	11.01	2.42	10.99
	Nisan	22.57	13.31	12.02	13.25	5.51	13.14
	Mayıs	42.65	20.76	47.82	20.50	33.16	19.26
	Haziran	-3.50	0.63	2.26	0.99	2.16	1.58
	Temmuz	0.76	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00
	Ağustos	0.76	0.85	0.76	0.85	0.83	0.85
	Eylül	1.21	11.21	17.51	10.82	25.85	8.61
	Ekim	49.07	18.29	52.87	17.91	37.35	17.00
	Kasım	12.78	12.18	7.46	12.16	5.39	12.11
	Aralık	2.18	10.11	2.17	10.11	2.17	10.11
33.60 mm	Ocak	6.20	14.37	5.65	14.37	3.88	14.36
	Şubat	4.01	14.84	3.41	14.84	3.41	14.84
	Mart	4.80	15.27	3.97	15.26	3.50	15.25
	Nisan	33.53	18.39	16.96	18.33	6.45	18.23
	Mayıs	49.95	28.08	56.65	27.86	39.70	26.20
	Haziran	-3.35	0.63	2.69	1.18	2.63	2.16
	Temmuz	1.06	1.43	1.34	1.43	1.42	1.43
	Ağustos	1.05	1.28	1.19	1.28	1.26	1.27
	Eylül	1.85	14.77	18.44	14.89	26.55	12.00
	Ekim	52.00	24.97	61.80	24.39	51.48	23.17
	Kasım	21.34	16.89	10.82	16.86	8.20	16.81
	Aralık	3.28	14.03	3.26	14.02	3.25	14.02

Tablo 22. Tip3 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları

		Isıtma Enerjisi Kazancı %					
Tip 3		InfinteRPCM21C	BioPCM27Q21	InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23	InfinteRPCM25C	BioPCM27Q25
11.20 mm	Ocak	2.63	8.02	1.96	8.02	1.34	8.02
	Şubat	2.59	8.16	1.60	8.16	1.18	8.16
	Mart	4.45	8.44	2.86	8.42	1.67	8.38
	Nisan	19.16	10.10	14.63	9.94	7.97	9.50
	Mayıs	31.23	16.68	36.28	15.95	28.44	13.55
	Haziran	-7.80	8.59	10.15	8.41	10.34	5.23
	Temmuz	1.46	1.54	1.71	1.48	1.79	1.21
	Ağustos	0.42	0.56	0.47	0.56	0.54	0.50
	Eylül	8.85	14.19	31.79	13.01	34.50	9.23
	Ekim	46.66	14.64	40.60	14.10	26.73	12.33
	Kasım	12.79	9.16	5.82	9.14	2.95	9.07
	Aralık	1.52	7.92	0.95	7.93	0.82	7.93
22.40 mm	Ocak	4.86	14.27	4.19	14.27	2.79	14.27
	Şubat	4.12	14.55	2.79	14.55	2.42	14.55
	Mart	5.72	15.03	4.53	15.00	2.95	14.93
	Nisan	29.36	17.78	18.75	17.55	10.80	16.96
	Mayıs	48.65	28.07	55.79	27.17	45.31	23.63
	Haziran	-9.02	9.37	10.61	9.57	10.71	7.57
	Temmuz	1.72	2.20	2.12	2.20	2.20	1.84
	Ağustos	0.76	0.98	0.89	0.98	0.96	0.98
	Eylül	9.82	22.56	33.19	20.85	41.37	15.09
	Ekim	56.22	24.86	60.92	24.16	44.77	21.39
	Kasım	18.81	16.35	9.43	16.31	6.18	16.20
	Aralık	2.73	14.12	1.90	14.13	1.88	14.13
33.60 mm	Ocak	7.23	19.31	6.08	19.31	4.30	19.31
	Şubat	5.42	19.70	3.98	19.70	3.76	19.70
	Mart	6.69	20.35	5.57	20.32	4.18	20.24
	Nisan	39.73	23.87	25.81	23.60	11.73	22.98
	Mayıs	55.33	36.57	68.88	35.74	54.49	31.61
	Haziran	-8.44	9.25	11.00	9.92	11.07	9.18
	Temmuz	2.06	2.61	2.53	2.61	2.61	2.59
	Ağustos	1.08	1.40	1.31	1.40	1.38	1.39
	Eylül	11.32	27.99	33.95	26.82	41.90	19.77
	Ekim	58.46	32.39	69.74	31.55	59.09	28.49
	Kasım	25.97	22.15	12.70	22.08	9.10	21.94
	Aralık	3.54	19.11	3.09	19.11	3.09	19.12

Tablo 23. Tip4 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları

		Isıtma Enerjisi Kazancı %					
	Tip 4	InfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	InfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23	InfiniteRPCM25C	BioPCM27Q25
11.20 mm	Ocak	2.44	7.73	2.27	7.73	1.92	7.72
	Şubat	2.18	7.90	1.79	7.90	1.59	7.90
	Mart	3.26	8.00	2.31	8.00	1.87	7.99
	Nisan	12.46	9.52	9.59	9.48	6.58	9.35
	Mayıs	24.05	15.45	26.27	15.24	19.18	14.42
	Haziran	3.16	7.87	9.93	7.57	10.34	6.09
	Temmuz	1.53	1.39	1.72	1.38	1.79	1.31
	Ağustos	0.45	0.56	0.48	0.56	0.54	0.53
	Eylül	19.46	12.43	31.03	11.96	25.95	10.61
	Ekim	31.03	13.71	23.29	13.60	18.31	13.12
	Kasım	7.74	8.66	4.66	8.65	3.27	8.62
	Aralık	1.59	7.42	1.45	7.42	1.28	7.42
22.40 mm	Ocak	4.90	13.79	4.39	13.79	3.41	13.78
	Şubat	4.04	14.11	3.47	14.12	2.87	14.11
	Mart	5.78	14.31	4.21	14.31	3.57	14.29
	Nisan	19.68	17.01	16.17	16.93	11.38	16.69
	Mayıs	31.80	26.87	36.51	26.50	30.49	25.12
	Haziran	3.47	9.64	10.61	9.61	10.72	8.59
	Temmuz	1.89	2.17	2.12	2.15	2.20	1.95
	Ağustos	0.81	0.98	0.89	0.98	0.96	0.98
	Eylül	19.71	19.94	33.83	19.24	35.42	17.19
	Ekim	51.77	24.01	41.75	23.76	31.61	22.85
	Kasım	13.44	15.55	8.75	15.53	5.61	15.47
	Aralık	3.31	13.28	2.74	13.29	2.45	13.29
33.60 mm	Ocak	6.94	18.72	6.03	18.71	4.93	18.70
	Şubat	5.70	19.16	4.79	19.16	4.12	19.16
	Mart	7.82	19.45	5.86	19.45	4.98	19.42
	Nisan	25.96	23.03	19.18	22.94	14.43	22.67
	Mayıs	44.82	35.34	46.20	34.95	37.41	33.39
	Haziran	3.99	10.06	11.04	10.18	11.10	9.87
	Temmuz	2.14	2.61	2.53	2.61	2.61	2.59
	Ağustos	1.11	1.39	1.31	1.40	1.37	1.40
	Eylül	20.74	25.29	34.62	24.41	39.96	21.77
	Ekim	59.67	31.80	55.81	31.48	42.29	30.36
	Kasım	17.07	21.19	11.61	21.17	8.25	21.08
	Aralık	4.81	18.08	3.86	18.08	3.72	18.08

Tablo 24. Tip5 model villanın aylık ısıtma enerjisi kazançları

		Isıtma Enerjisi Kazancı %				
Tip 5		İnfiniteRP	BioP	İnfiniteRP	BioP	İnfiniteRP
		CM21C	CM27Q21	CM23C	CM27Q23	CM25C
11.20 mm	Ocak	3.55	4.01	3.11	4.01	2.55
	Şubat	2.56	3.63	2.11	3.63	1.95
	Mart	4.14	5.00	3.70	5.00	3.41
	Nisan	9.14	3.35	7.04	3.30	4.42
	Mayıs	14.25	-3.23	13.19	-3.40	7.91
	Haziran	0.27	0.55	0.56	0.54	0.60
	Temmuz	0.35	0.43	0.36	0.42	0.42
	Ağustos	0.38	0.43	0.36	0.43	0.41
	Eylül	-1.36	-2.90	5.73	-3.15	6.74
	Ekim	21.33	-3.98	15.59	-4.14	7.33
	Kasım	7.04	4.73	4.77	4.72	3.82
	Aralık	3.46	4.91	3.29	4.91	3.28
22.40 mm	Ocak	4.18	5.85	4.07	5.84	3.12
	Şubat	3.01	5.53	2.37	5.53	2.34
	Mart	4.40	6.99	4.03	6.98	3.77
	Nisan	14.82	6.08	8.92	6.02	5.25
	Mayıs	27.72	1.12	28.06	0.86	20.72
	Haziran	0.69	0.95	0.98	0.98	1.02
	Temmuz	0.70	0.85	0.78	0.85	0.84
	Ağustos	0.75	0.85	0.77	0.85	0.83
	Eylül	-0.63	-0.04	6.59	-0.51	10.45
	Ekim	28.56	-0.29	31.09	-0.58	20.09
	Kasım	9.93	7.07	6.80	7.06	5.48
	Aralık	3.73	6.71	3.68	6.71	3.68
33.60 mm	Ocak	5.18	7.55	4.91	7.55	3.69
	Şubat	3.16	7.26	2.77	7.27	2.77
	Mart	4.63	8.81	4.29	8.81	4.09
	Nisan	22.97	8.54	11.45	8.48	5.44
	Mayıs	34.14	5.31	33.70	4.88	25.38
	Haziran	1.10	1.33	1.41	1.38	1.43
	Temmuz	1.10	1.27	1.20	1.27	1.26
	Ağustos	1.14	1.27	1.19	1.27	1.25
	Eylül	-0.02	2.63	7.23	2.12	11.16
	Ekim	34.11	3.12	38.84	2.68	31.55
	Kasım	15.60	9.21	8.86	9.20	7.35
	Aralık	4.13	8.36	4.12	8.36	4.12

Tablo 25. Tip1 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

		Soğutma Enerjisi Kazancı %					
		infiniteRPCM21C	BioPCM27/Q21	infiniteRPCM23C	BioPCM27/Q23	infiniteRPCM25C	BioPCM27/Q25
Tip 1							
11.20 mm	Ocak	-1.91	-0.33	0.40	-0.32	1.07	-0.29
	Şubat	-0.89	0.02	1.38	0.02	1.60	0.01
	Mart	5.23	3.58	0.80	2.30	5.91	0.10
	Nisan	2.60	3.46	-21.49	1.82	-10.98	-0.71
	Mayıs	23.68	0.31	2.75	0.28	-18.26	0.03
	Haziran	10.26	0.30	15.73	0.42	2.46	-0.10
	Temmuz	0.84	0.21	10.61	0.22	7.76	0.21
	Ağustos	0.34	0.28	6.52	0.28	7.75	0.14
	Eylül	5.95	-0.13	14.39	-0.15	-1.39	-0.61
	Ekim	15.94	1.05	-11.82	0.61	-34.33	-0.57
	Kasım	-2.79	2.09	-39.63	1.55	-25.63	-0.06
	Aralık	0.44	0.01	1.11	0.00	1.22	0.00
22.40 mm	Ocak	-8.79	-0.61	-0.16	-0.60	1.12	-0.51
	Şubat	0.71	0.10	2.90	0.09	3.13	0.08
	Mart	10.96	4.31	8.45	3.00	12.00	0.26
	Nisan	2.22	4.31	-26.60	2.15	-7.22	-1.38
	Mayıs	25.32	0.54	3.00	0.44	-20.02	-0.08
	Haziran	16.28	0.61	18.01	0.90	2.79	0.11
	Temmuz	1.18	0.44	17.24	0.45	8.33	0.48
	Ağustos	0.95	0.56	13.36	0.55	8.35	0.36
	Eylül	7.28	-0.21	15.17	-0.31	-1.39	-1.15
	Ekim	17.69	0.60	-12.60	-0.02	-45.07	-1.39
	Kasım	-4.75	1.54	-49.15	1.03	-47.54	-0.53
	Aralık	1.05	0.06	2.28	0.05	2.38	0.04
33.60 mm	Ocak	-12.98	-0.56	-0.23	-0.54	1.49	-0.66
	Şubat	2.49	0.23	4.49	0.22	4.58	0.21
	Mart	15.78	4.74	14.77	3.42	16.83	0.49
	Nisan	2.62	4.58	-30.25	2.15	-0.22	-2.00
	Mayıs	26.11	0.91	3.26	0.63	-19.79	-0.38
	Haziran	26.23	0.90	18.73	1.31	3.11	0.61
	Temmuz	1.55	0.67	19.34	0.68	8.71	0.73
	Ağustos	1.18	0.84	17.24	0.83	8.76	0.60
	Eylül	7.90	-0.26	15.63	-0.44	-1.30	-1.71
	Ekim	18.06	-0.63	-12.72	-1.28	-49.42	-2.23
	Kasım	-5.94	0.47	-53.64	0.20	-71.27	-1.06
	Aralık	1.24	0.14	3.42	0.13	3.48	0.12

Tablo 26. Tip2 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

		Soğutma Enerjisi Kazancı %					
Tip 2		İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23
11.20 mm	Ocak	-0.32	-2.22	1.32	-2.21	0.70	-2.20
	Şubat	0.80	-2.19	0.96	-2.19	0.97	-2.19
	Mart	-4.12	-0.19	-3.11	-0.73	4.76	-1.92
	Nisan	-18.58	-2.68	-28.52	-3.09	-9.09	-3.81
	Mayıs	11.52	-2.49	-11.28	-2.44	-22.15	-2.40
	Haziran	14.93	-0.74	11.78	-0.85	-1.50	-1.13
	Temmuz	4.48	0.03	15.27	0.04	7.47	-0.22
	Ağustos	0.96	0.19	14.13	0.17	8.29	-0.11
	Eylül	17.60	-1.20	9.95	-1.34	-7.06	-1.67
	Ekim	-1.17	-2.53	-25.90	-2.68	-27.47	-2.90
	Kasım	-12.29	0.78	-8.46	0.51	-4.16	-0.52
	Aralık	0.86	-1.88	0.88	-1.88	0.88	-1.88
22.40 mm	Ocak	0.49	-4.49	0.49	-4.49	0.93	-4.46
	Şubat	1.74	-4.00	1.92	-4.01	1.92	-4.01
	Mart	0.04	-2.39	3.01	-2.93	9.85	-4.27
	Nisan	-22.07	-7.24	-30.66	-7.59	-3.57	-8.14
	Mayıs	12.84	-4.80	-14.23	-4.58	-32.71	-4.86
	Haziran	23.37	-1.16	14.85	-1.37	-1.87	-2.15
	Temmuz	7.69	0.01	20.51	0.02	7.85	-0.27
	Ağustos	1.54	0.34	19.53	0.31	8.89	-0.10
	Eylül	24.93	-2.33	10.34	-2.51	-9.66	-3.20
	Ekim	-4.95	-6.06	-37.05	-6.36	-45.42	-6.36
	Kasım	-24.47	-0.60	-20.73	-0.98	-8.60	-2.39
	Aralık	1.69	-3.43	1.73	-3.43	1.73	-3.44
33.60 mm	Ocak	1.35	-6.96	0.75	-6.94	1.12	-6.41
	Şubat	2.74	-5.52	2.84	-5.53	2.84	-5.54
	Mart	4.88	-4.97	9.34	-5.44	14.04	-6.74
	Nisan	-25.28	-11.77	-27.26	-12.18	1.84	-12.54
	Mayıs	12.26	-6.62	-14.75	-6.31	-39.43	-7.05
	Haziran	28.85	-1.43	15.28	-1.70	-2.31	-2.86
	Temmuz	10.83	0.02	21.07	0.02	8.08	-0.21
	Ağustos	1.89	0.49	20.44	0.45	9.20	0.01
	Eylül	25.44	-3.39	10.45	-3.60	-10.16	-4.41
	Ekim	-6.00	-9.39	-43.40	-9.91	-58.88	-9.77
	Kasım	-28.98	-3.34	-30.69	-3.64	-21.42	-4.69
	Aralık	2.53	-4.73	2.55	-4.73	2.55	-4.73

Tablo 27. Tip3 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

		Soğutma Enerjisi Kazancı %					
Tip 3		İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23	İnfiniteRPCM25C	BioPCM27Q25
11.20 mm	Ocak	0.05	-4.09	0.08	-4.09	-0.03	-4.06
	Şubat	-1.97	-3.44	0.79	-3.46	0.95	-3.49
	Mart	8.55	8.53	0.46	6.69	0.82	-0.03
	Nisan	10.94	9.39	-21.86	7.02	-18.15	-1.20
	Mayıs	28.57	2.16	-0.37	1.82	-23.14	0.23
	Haziran	23.36	-0.32	18.35	-0.18	1.22	0.36
	Temmuz	7.17	0.43	23.84	0.48	11.02	0.43
	Ağustos	2.85	0.58	20.56	0.60	11.53	0.50
	Eylül	29.92	-0.37	16.71	-0.31	-4.99	0.01
	Ekim	23.42	5.09	-11.46	4.49	-30.09	0.98
	Kasım	9.59	9.05	4.53	8.25	5.16	4.61
	Aralık	0.21	-3.10	0.71	-3.10	0.73	-3.11
22.40 mm	Ocak	0.31	-7.50	-0.05	-7.49	0.05	-7.45
	Şubat	-1.20	-6.28	1.80	-6.31	1.89	-6.36
	Mart	14.48	9.64	6.56	6.51	11.57	-2.31
	Nisan	11.04	9.04	-21.44	5.42	-15.32	-5.16
	Mayıs	31.74	0.54	-2.03	0.26	-31.93	-1.95
	Haziran	31.84	-0.79	21.61	-0.63	0.95	-0.84
	Temmuz	10.71	0.65	26.57	0.70	11.32	0.50
	Ağustos	3.86	1.01	24.88	1.00	12.04	0.64
	Eylül	37.18	-1.23	16.82	-1.19	-6.99	-1.60
	Ekim	23.04	4.53	-18.47	3.50	-42.51	-1.21
	Kasım	8.88	12.98	-2.13	11.53	1.20	5.17
	Aralık	0.92	-5.52	1.49	-5.54	1.51	-5.55
33.60 mm	Ocak	-0.49	-10.41	0.37	-10.39	0.15	-10.32
	Şubat	0.34	-8.64	2.74	-8.69	2.78	-8.75
	Mart	19.67	7.75	13.39	4.48	20.82	-4.73
	Nisan	10.21	5.49	-20.89	1.72	-5.27	-9.32
	Mayıs	31.55	-1.57	-2.89	-1.47	-37.71	-4.35
	Haziran	37.68	-1.05	21.83	-0.92	0.58	-2.03
	Temmuz	13.89	0.81	26.97	0.84	11.42	0.62
	Ağustos	3.73	1.35	25.83	1.33	12.21	0.78
	Eylül	37.32	-2.13	16.63	-2.10	-7.55	-3.15
	Ekim	22.54	2.05	-22.97	0.61	-51.39	-4.19
	Kasım	7.83	13.55	-7.69	11.36	-7.76	3.62
	Aralık	1.76	-7.43	2.27	-7.47	2.29	-7.51

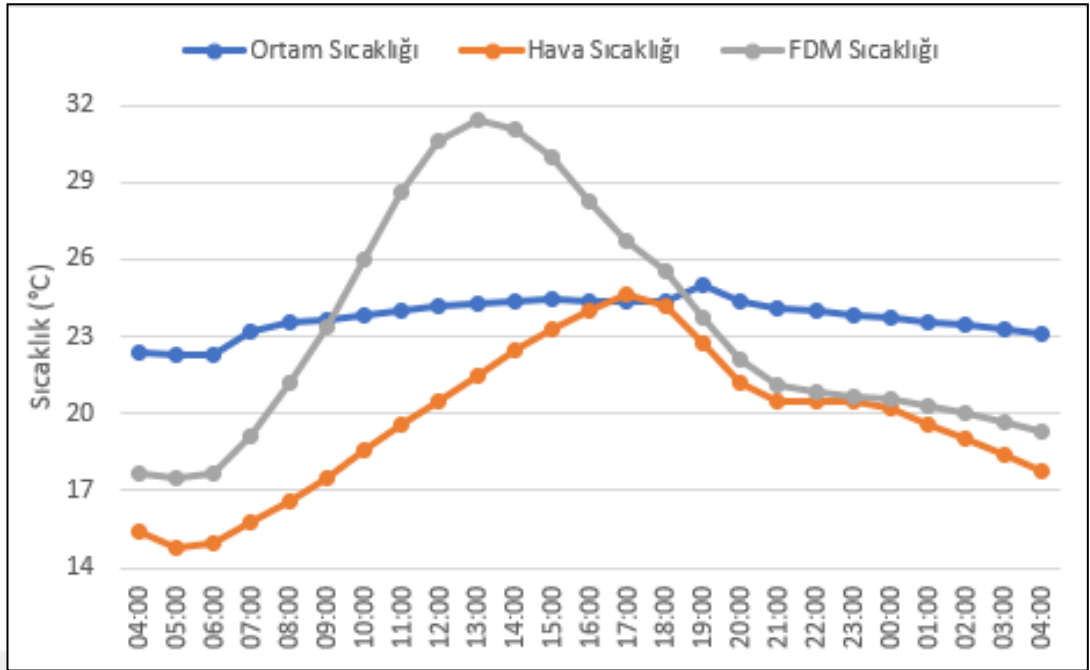
Tablo 28. Tip 4 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

		Soğutma Enerjisi Kazancı %					
Tip 4		InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23	InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23	InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23
22.11 mm	Ocak	-0.42	-4.21	-0.37	-4.21	-0.14	-4.19
	Şubat	-0.26	-3.33	0.41	-3.33	0.62	-3.34
	Mart	2.23	6.44	-0.79	5.94	0.48	3.60
	Nisan	-2.30	6.04	-13.71	5.41	-8.62	2.67
	Mayıs	10.01	1.22	-7.24	1.16	-14.49	0.51
	Haziran	14.89	-0.09	9.03	0.01	-3.07	0.25
	Temmuz	7.69	0.49	15.17	0.47	7.39	0.36
	Ağustos	5.60	0.59	13.35	0.57	8.27	0.53
	Eylül	19.14	-0.34	7.52	-0.28	-6.80	0.00
	Ekim	6.70	3.36	-8.89	3.19	-14.41	1.97
	Kasım	9.13	6.73	8.97	6.54	8.43	5.25
	Aralık	0.53	-2.96	0.54	-2.97	0.57	-2.97
22.40 mm	Ocak	-0.78	-7.70	-0.14	-7.70	0.93	-7.66
	Şubat	0.50	-6.04	1.14	-6.05	1.49	-6.06
	Mart	3.72	9.01	0.36	8.01	-1.62	4.21
	Nisan	-7.77	6.83	-29.22	5.72	-23.17	1.73
	Mayıs	13.64	-0.12	-10.88	-0.18	-25.02	-0.87
	Haziran	22.09	-0.79	13.97	-0.79	-2.72	-0.60
	Temmuz	12.66	0.69	21.04	0.65	8.40	0.19
	Ağustos	9.42	0.95	19.70	0.90	9.64	0.56
	Eylül	26.17	-1.30	9.68	-1.35	-8.55	-1.29
	Ekim	4.30	3.18	-20.32	2.88	-27.16	1.30
	Kasım	5.04	10.45	3.97	10.04	5.42	7.84
	Aralık	1.11	-5.29	1.16	-5.29	1.18	-5.30
33.09 mm	Ocak	-0.07	-9.65	0.18	-10.67	0.84	-10.20
	Şubat	1.31	-7.65	1.99	-8.30	2.29	-8.32
	Mart	7.67	9.87	5.64	7.77	4.30	3.75
	Nisan	-8.88	4.67	-29.12	3.32	-27.35	-0.48
	Mayıs	13.80	-2.31	-13.25	-2.31	-29.22	-2.92
	Haziran	28.07	-1.22	14.96	-1.37	-2.76	-1.68
	Temmuz	19.69	0.80	21.84	0.74	8.62	0.15
	Ağustos	13.55	1.22	21.26	1.14	9.95	0.62
	Eylül	27.03	-2.18	9.82	-2.40	-9.80	-2.80
	Ekim	2.07	0.94	-26.23	0.58	-34.88	-0.85
	Kasım	-0.17	12.96	-0.80	10.97	4.32	8.32
	Aralık	1.72	-6.69	1.78	-7.17	1.78	-7.18

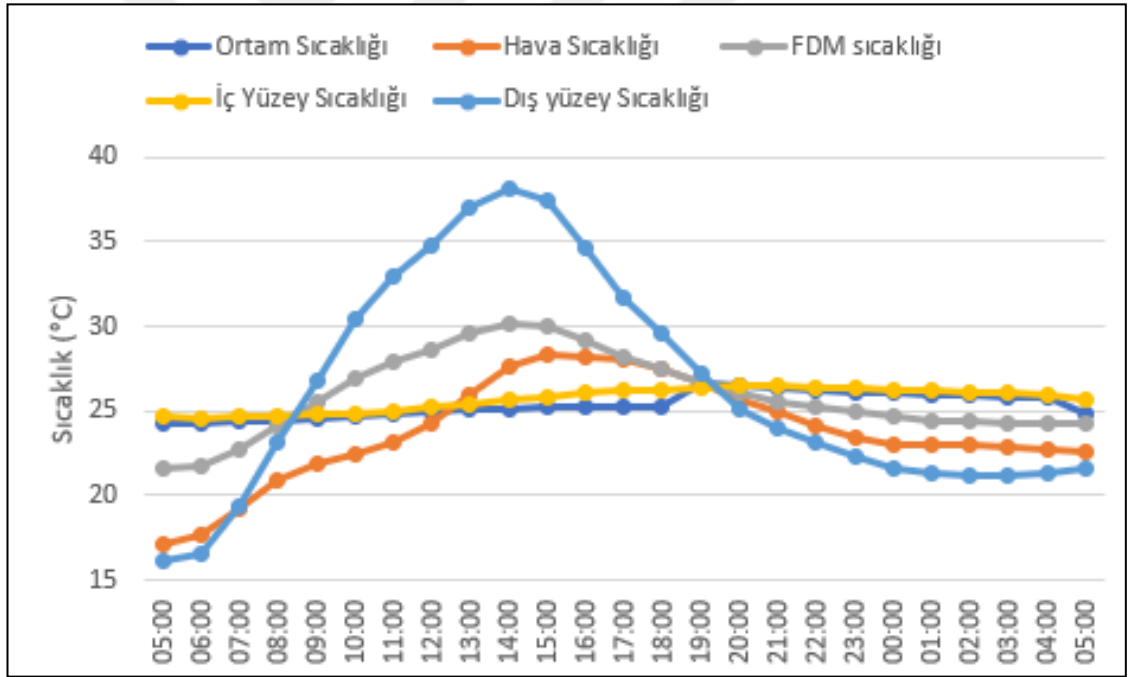
Tablo 29. Tip 5 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

		Soğutma Enerjisi Kazancı %					
Tip 5		InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23	InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23	InfinteRPCM23C	BioPCM27Q23
11.20 mm	Ocak	1.59	0.75	1.67	0.75	1.76	0.76
	Şubat	-0.18	-0.50	0.64	-0.51	0.71	-0.61
	Mart	-24.78	-19.68	-24.73	-19.98	-20.35	-21.12
	Nisan	-27.24	-16.26	-32.66	-16.51	-24.49	-17.34
	Mayıs	-2.19	-4.16	-11.45	-4.15	-14.99	-4.24
	Haziran	8.20	-0.90	4.35	-0.93	-2.52	-0.91
	Temmuz	4.59	0.41	8.88	0.39	3.33	0.22
	Ağustos	3.44	0.49	8.46	0.46	4.02	0.29
	Eylül	10.39	-0.82	2.61	-0.88	-4.98	-0.89
	Ekim	-10.26	-5.92	-18.37	-5.97	-18.51	-6.33
	Kasım	-23.50	-11.28	-19.62	-11.38	-14.46	-11.94
	Aralık	1.11	0.14	1.12	0.14	1.12	0.14
22.40 mm	Ocak	2.47	0.85	2.15	0.85	2.52	0.58
	Şubat	0.55	-0.46	1.91	-0.47	1.93	-0.60
	Mart	-19.91	-19.94	-18.40	-20.31	-14.33	-21.54
	Nisan	-27.35	-17.31	-29.92	-17.55	-20.55	-18.37
	Mayıs	-2.01	-4.54	-13.63	-4.51	-19.31	-4.66
	Haziran	11.21	-0.79	5.04	-0.90	-2.40	-1.04
	Temmuz	9.12	0.65	9.48	0.64	3.66	0.44
	Ağustos	5.59	0.77	9.42	0.74	4.44	0.53
	Eylül	11.04	-0.89	2.90	-1.01	-5.95	-1.18
	Ekim	-12.23	-6.38	-23.41	-6.44	-24.14	-6.87
	Kasım	-29.57	-11.32	-25.82	-11.46	-17.99	-12.33
	Aralık	2.10	0.19	2.11	0.19	2.11	0.19
33.60 mm	Ocak	3.13	0.70	2.97	0.71	3.56	0.75
	Şubat	2.53	-0.36	3.11	-0.38	3.11	-0.53
	Mart	-15.31	-20.38	-12.85	-20.71	-8.98	-21.91
	Nisan	-27.54	-18.30	-24.38	-18.50	-13.93	-19.26
	Mayıs	-2.22	-4.66	-13.86	-4.59	-22.12	-5.06
	Haziran	12.89	-0.57	5.35	-0.73	-2.35	-1.12
	Temmuz	13.04	0.88	9.83	0.88	3.96	0.71
	Ağustos	10.58	1.06	9.89	1.02	4.77	0.79
	Eylül	11.44	-0.93	3.18	-1.07	-6.11	-1.36
	Ekim	-13.86	-6.96	-26.77	-7.10	-29.90	-7.40
	Kasım	-39.30	-11.94	-30.19	-12.10	-23.97	-13.04
	Aralık	3.06	0.27	3.07	0.27	3.07	0.27

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tüm analiz verileri aylık ısıtma enerjisi bakımından incelendiğinde tip modellerin performanslarının aylara göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. BioPCMM27'nin performansına ısıtma amaçlı kullanılacak aylardan Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart'a göre bakıldığında tüm erime sıcaklıklarında da Tip3 ve Tip4 modellerin en iyi performansı gösterdiği, Tip1 ve Tip5 modellerin ise az oranda ısıtma enerjisi kazancı sağlayarak en düşük performansı gösterdiği belirtilmiştir. BioPCMM27'in ve İnfiniteRPCM'in Tip4 ve Tip3 modellerinin aylara göre ısıtma enerji kazançları incelendiğinde ise erime sıcaklıklarından bağımsız olarak 33.60 mm kalınlığında kullanımlarının yüksek ısıtma performansı sağladığı belirlenmiştir. İnfiniteRPCM'in 21°C erime sıcaklığında en iyi performansı gösterdiği, kalınlık arttıkça ısıtma performansının çok daha düşük kazançlı olduğu, ısıl iletkenlik değerinin yüksek olması sebebiyle hava sıcaklığının yüksek olduğu Nisan, Mayıs, Ekim ve Kasım aylarında en yüksek ısıtma performansını gösterdiği görülmüştür. Spesifik olarak seçilen 21 Mayıs tarihli Tip1 11.20 mm İnfiniteRPCM21C'nin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 37'te verilmiştir. BioPCMM27'nin performansı incelendiğinde tüm erime sıcaklıklarında tiplerden bağımsız olarak kalınlık arttıkça ısıtma veriminin arttığı, erime sıcaklık artışının ısıtma verimi performansına etkisinin ise aylara göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir. BioPCMM27'nin performansı genel olarak değerlendirildiğinde erime sıcaklık atışının ısıtma verimini düşük olarlarda da olsa azalttığı anlaşılmıştır. Spesifik olarak seçilen 22 Mayıs tarihli Tip1 22.40 mm BioPCMM27/Q23'ün saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 38'de verilmiştir.



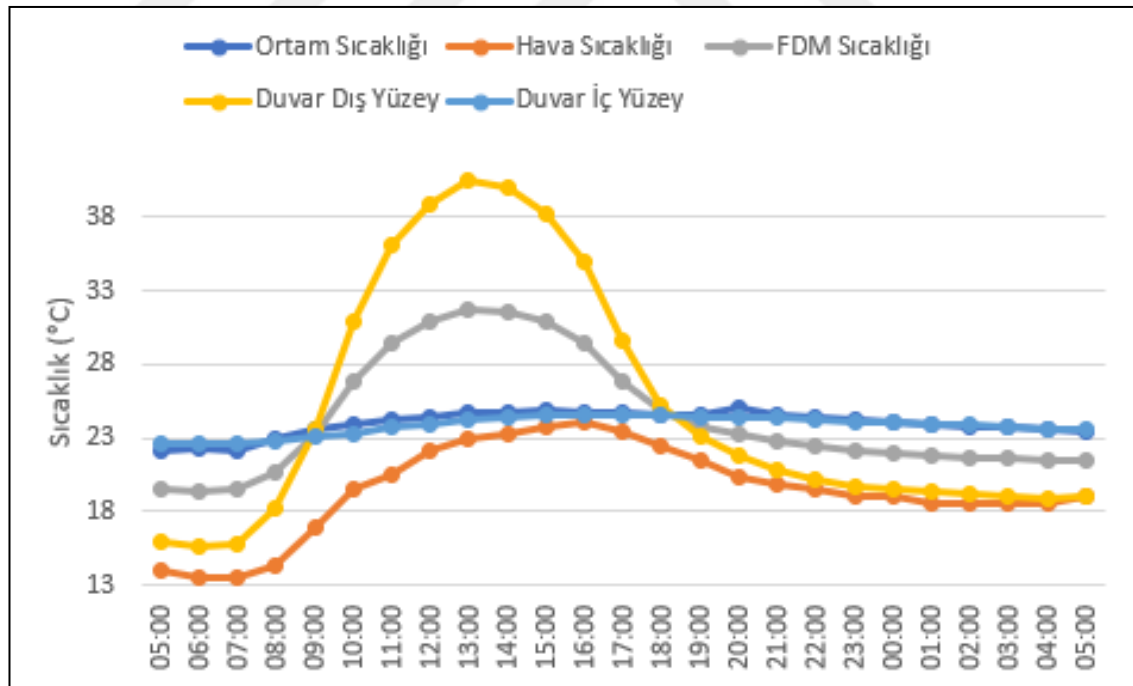
Şekil 37. 21 Mayıs tarihli Tip1 11.20 mm İnfiniteRPCM21C'nin saatlik sıcaklık değişimi



Şekil 38. 22 Mayıs tarihli Tip1 22.40 mm BioPCMM27/Q23'ün saatlik sıcaklık değişimi

Tip2 modele bakıldığında BioPCMM27'nin de İnfiniteRPCM'in de tüm kalınlıklarında FDM'siz villaya göre aylık ısıtma enerjisi kazançlarının düşük oranlarda da olsa arttığı, FDM'lerin kalınlıklarının artması ile daha fazla gizli ısı depolamaları sonucunda ısıtma enerjisi kazançlarının arttığı belirtilmiştir. FDM'lerin erime sıcaklıklarına bakıldığında ise İnfiniteRPCM'in erime sıcaklıklarının performanslarının aylara göre farklılık gösterdiği görülmektedir. İnfiniteRPCM'in 11.20 mm kalınlığının

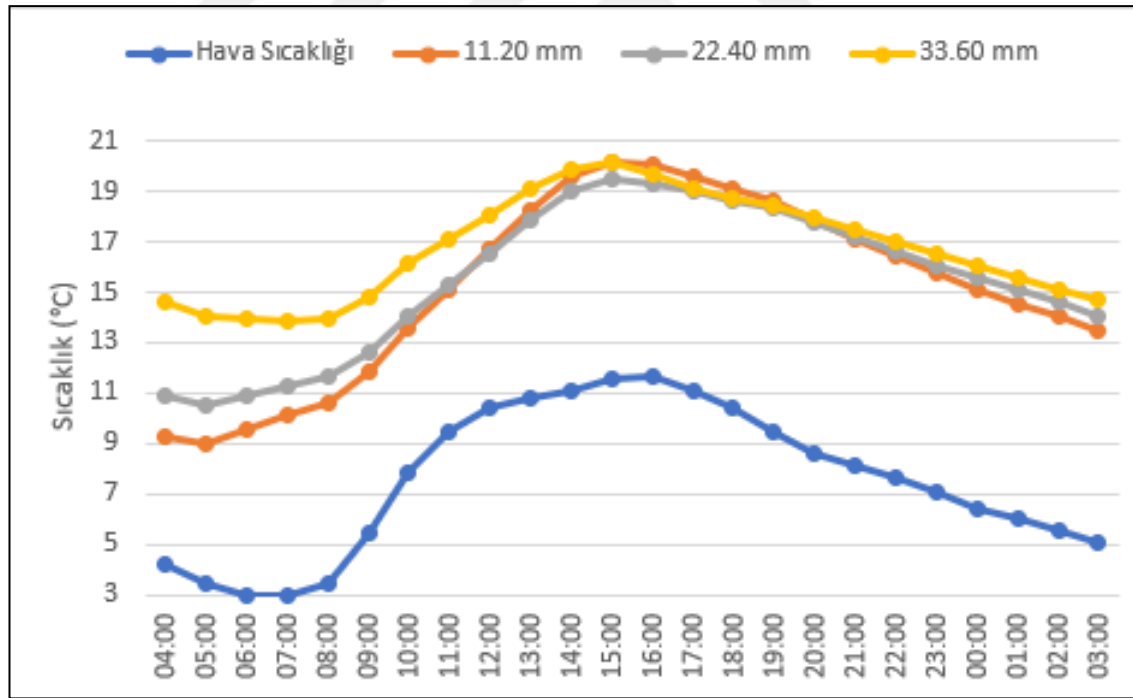
Ekim ayı performansına bakıldığında, 21°C erime sıcaklığındaki versiyonunun güneşten aldığı ısı sayesinde eriyebildiği için %38.94 kazanç ile çok yüksek verimli ısıtma kazancı sağladığı, 23°C erime sıcaklığındaki versiyonunun biraz daha düşük olarak %32.22 oranında ısıtma kazancı sağladığı, aynı koşullarda 25°C erime sıcaklığındaki versiyonunun ise FDM'nin yeterince eriyememesi sonucunda %17.76 oranında daha düşük verimli olduğu görülmektedir. İnfiniteRPCM'in tüm erime sıcaklıklarında kalınlıklarının artması ile veriminin arttığı, aynı ayda seçilen 23°C erime sıcaklığının 33.60 mm kalınlığındaki versiyonunun 11.20 mm kalınlığında ki versiyonundan %29.58 oranında daha yüksek kazançlı olduğu görülmektedir. Spesifik olarak seçilen 8 Ekim tarihli Tip2 model 33.60 mm İnfiniteRPCM23C'nin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 39'da verilmiştir. BioPCMM27'nin erime sıcaklıkları kalınlık açısından incelendiğinde bazı aylarda düşük oranlarda da olsa kalınlık arttıkça verimin arttığı görülmektedir. Örneğin BioPCMM27'nin 21°C erime sıcaklığında Ocak ve Şubat gibi hava sıcaklığının düşük olduğu aylarda dahi kalınlığın artması ile FDM performansının arttığı, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarında ise performansların kalınlık artışı ile arttığı, aynı kalınlıklar kıyaslandığında ise erime sıcaklık artışının verimi etkilemediği görülmektedir.



Şekil 39. 8 Ekim tarihli Tip2 model 33.60 mm İnfiniteRPCM23C'nin saatlik sıcaklık değişimi

Tüm ihtimaller dahilinde Tip3 model incelendiğinde kullanılan tüm erime sıcaklıklarında ve tüm kalınlıklarda ısıtma enerjisi bakımından verim sağlamakla birlikte kalınlık artışının erime sıcaklığına ve FDM'nin cinsine göre farklılık gösterdiği

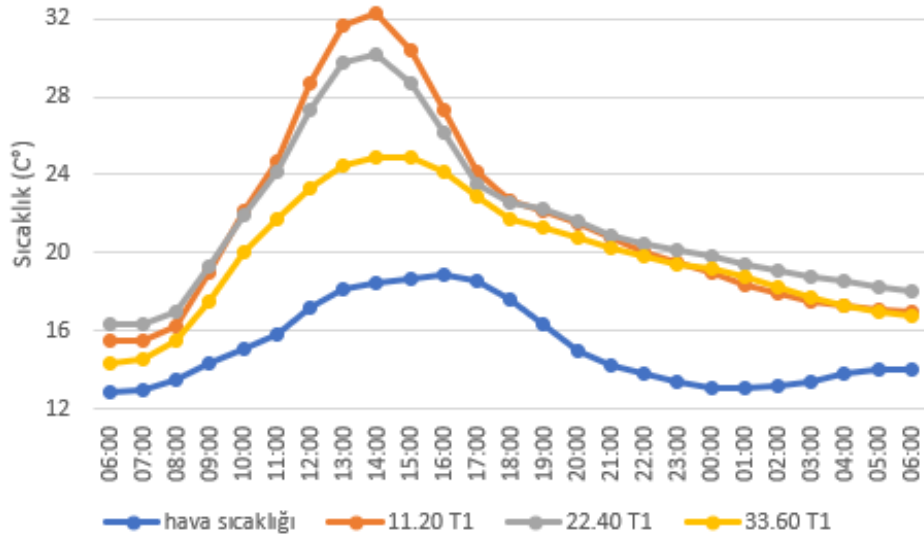
görülmüştür. BioPCMM27'in performansı erime sıcaklığına göre incelendiğinde 21°C erime sıcaklığının tüm aylarda en iyi ısıtma enerjisi performansı gösterdiği kalınlık arttıkça kazancın arttığı, erime sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarında kalınlığın artması ile kazancın değişmediği görülmektedir. Tip3 modelde erime sıcaklığı arttıkça kazancın düştüğü, mevsim geçişlerinde güneşten gelen ışınlam ile birlikte FDM'lerin daha çok gizli ısı depolayabilmesi neticesinde ısıtma enerjisi kazancının arttığı, 21°C erime sıcaklığında erime sağlandığı için ısı aktarımının daha fazla olduğu. 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarında ise FDM'lerin tam performanslarını gösteremediği belirtilmiştir. Tip3 model versiyonda BioPCMM27 yalıtkan özellik gösterdiği için İnfiniteRPCM'e göre daha fazla ısıtma enerji kazancı sağlamaktadır. İnfiniteRPCM'in tüm erime sıcaklıklarında kalınlık arttıkça ısıtma enerji performansının arttığı, erime sıcaklıkları kendi arasında değerlendirildiğinde ise erime sıcaklığı arttıkça ısıtma enerjisi performansının azaldığı görülmüştür. Spesifik olarak seçilen 11 Kasım tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'ün tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 40'da verilmiştir.



Şekil 40. 11 Kasım tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'ün tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi

Aylık kazanç tabloları içerisinde ısıtma enerjisi açısından Tip4 model incelendiğinde, genel olarak bakıldığında BioPCMM27'in ısıtma kazancı performansının İnfiniteRPCM23C'in ısıtma kazancı performansından daha iyi olduğu, BioPCMM27'in aynı erime sıcaklığında kalınlık artışının verim artışına olanak sağladığı, 11.20 mm

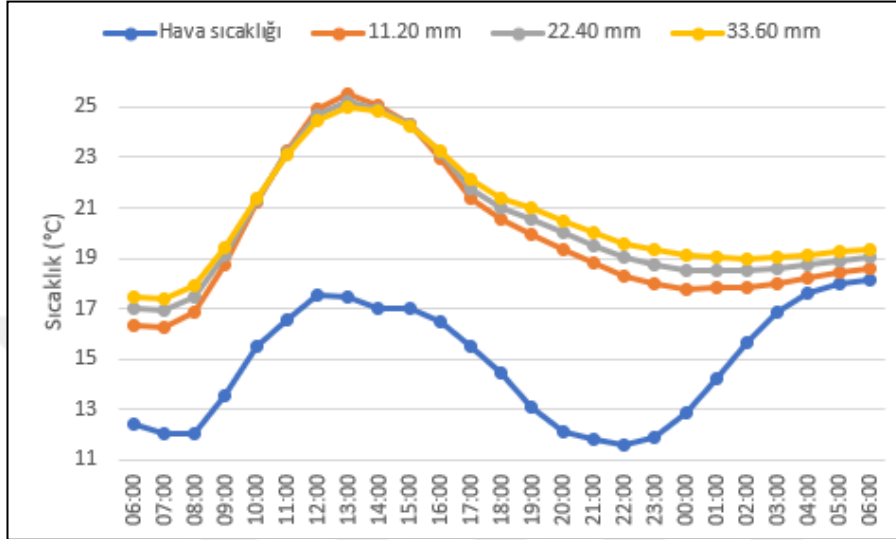
kalınlığı kullanıldığında erime sıcaklığındaki artışın ısıtma enerjisi kazancında olumlu bir etki etmediği görülmektedir. BioPCMM27'in 22.40 mm ve 33.60 mm kalınlıkları kullanıldığında ise 21°C ki ısıtma enerjisi kazancının daha yüksek olduğu erime sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı yani 23°C erime sıcaklığındaki verimin 25°C erime sıcaklığındaki verimden daha yüksek olduğu görülmektedir. İnfiniteRPCM23C'in de aynı şekilde aynı erime sıcaklıklarında kalınlık arttıkça verimin arttığı, aynı kalınlıklarda erime sıcaklığı azaldıkça verimin arttığı görülmektedir. Aynı ay içerisinde İnfiniteRPCM21C'in kalınlığı arttıkça ısıtma enerjisi kazancının da arttığı görülmektedir. BioPCMM27'in Tip4 model versiyon performansı incelendiğinde 11.20 mm kalınlığında ki tüm erime sıcaklıklarında verim aynı iken diğer kalınlıklarda 21°C erime sıcaklığında performansın arttığı, 23°C ve 25°C erime sıcaklığında ise performansın daha düşük olduğu görülmektedir. Spesifik olarak seçilen 4 Kasım tarihli Tip4 model BioPCMM27/Q21'in tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 41'de verilmiştir.



Şekil 41.4 Kasım tarihli Tip4 model BioPCMM27/Q21'in tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi

Aylık ısıtma enerjisi kazancı tablolarından Tablo 24'de yer alan Tip5 tip modelde FDM'lerin performansları incelendiğinde, FDM'lerin kalınlıklarının artması ile verimlerinin arttığı, en iyi performansın Ekim ayında %38.84 oranı ile İnfiniteRPCM23C'den elde edildiği görülmüştür. FDM'lerin erime sıcaklıklarına göre performansları değerlendirildiğinde ise verimin FDM türüne göre değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır. İnfiniteRPCM'in 21°C erime sıcaklığındaki veriminin, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarındaki verime göre daha yüksek olduğu görülmektedir. BioPCMM27'nin

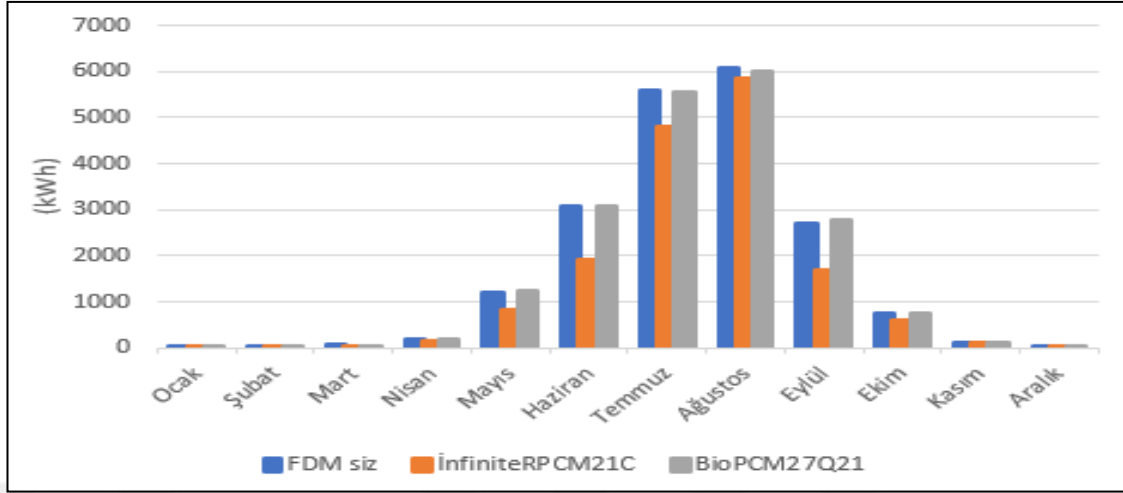
performansı irdelendiğinde 21°C erime sıcaklığında 33.60 mm kalınlıkta kullanımının en yüksek ısıtma kazancı sağladığı belirtilmiştir. Analiz sonuçları erime sıcaklıklarına göre incelendiğinde ise erime sıcaklık artışının verimi etkilemediği görülmektedir. Spesifik olarak seçilen 31 Ekim tarihli Tip5 model BioPCMM27/Q23'ün tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 42'de verilmiştir.



Şekil 42. 31 Ekim tarihli Tip5 model BioPCMM27/Q23'ün tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tüm analiz verileri aylık soğutma enerjisi bakımından incelendiğinde, Tip3 model versiyon en yüksek soğutma enerjisi kazancı sağlayarak en iyi performansı gösterirken, Tip5 model versiyon en kötü performansı göstermektedir. Tüm tip ve kalınlıklarda İnfiniteRPCM kullanılan villanın soğutma enerjisi ihtiyacının BioPCMM27 kullanılan villanın soğutma enerjisi ihtiyacından daha düşük olduğu yani daha verimli olduğu, BioPCMM27'in erime sıcaklığına ve tipe bağlı olarak değişmekle beraber kötü performans gösterdiği belirtilmiştir. BioPCMM27'in erime sıcaklığı arttıkça daha çok verimsizleştiği, 21°C erime sıcaklığında daha belirgin olan sonuçlara göre kalınlık arttıkça verimin düşük oranlarda da olsa arttığı belirtilmiştir. İnfiniteRPCM'in performansı kalınlıklar açısından incelendiğinde tüm tiplerde kalınlık arttıkça soğutma enerjisi veriminin arttığı, farklı erime sıcaklıklarının aynı kalınlıktaki versiyonlarının soğutma ihtiyacı etkisine bakıldığında 23°C erime sıcaklığının genel olarak en yüksek verimli, 25°C erime sıcaklığının kullanılan kalınlığa göre değişmekle beraber 21°C erime sıcaklığının verimine oranla daha yüksek performans sergilediği görülmektedir. İnfiniteRPCM'in 21°C erime sıcaklığının veriminin ise bazı aylarda 23°C erime sıcaklığının veriminden daha düşük, bazı aylarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Tip3 model 33.60 mm

kalınlığında FDM'li ve FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı (kWh) grafiği Şekil 43'de verilmiştir.



Şekil 43. Tip3 model 33.60 mm kalınlığında FDM'li ve FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı

Aylık kazanç tabloları ısıtma enerjisi kazancı dikkate alınarak incelendiğinde en verimli tip modellerin Tip2, Tip3 ve Tip4 olduğu, soğutma enerjisi kazancı dikkate alınarak incelendiğinde en verimli tip modellerin Tip2 ve Tip3 olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarından elde edilen verilere genel olarak bakıldığında Tip2, Tip3 ve Tip4 model versiyonlarda BioPCMM27'in ısıtma kazancı performansının İnfiniteRPCM'in ısıtma kazancı performansından daha yüksek olduğu, Tip1 ve Tip5 model versiyonlarda ise durumun aksine BioPCMM27'in ısıtma kazancı performansının İnfiniteRPCM'in ısıtma kazancı performansından daha düşük olduğu görülmektedir. Soğutma enerjisi kazancına bakıldığında ise İnfiniteRPCM'in soğutma ihtiyacı performansının BioPCMM27'in soğutma ihtiyacı performansından daha iyi olduğu görülmektedir.

Tüm analiz sonuçları, tüm tip ve modeller irdelendiğinde binanın dış duvar yapı bileşenlerinde kullanılan FDM'lerin erime sıcaklıklarının binanın ısıtma enerjisi performansını etkilediği görülmektedir. Bu kapsamda yapılan tüm analiz verilerinin çıktılarından ısıtma enerjisi kazancı için elde edilen optimum erime sıcaklıklarının belirlendiği tablo Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Isıtma enerjisi kazancında en verimli senaryoların aylara göre dağılımı

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5
Ocak	İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q25
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%14.51	%14.37	%19.31	%18.72	%3.56
Şubat	İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q25
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%6.13	%14.84	%19.70	%19.16	%3.11
Mart	BioPCM27/Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	-
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	-
	%5.95	%15.27	%20.35	%19.45	-
Nisan	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	-
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	-
	%40.43	%33.53	%39.73	%25.96	-
Mayıs	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	-
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	-
	%41.34	%56.65	%68.88	%46.20	-
Haziran	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%1.41	%2.69	%11.07	%11.10	%12.89
Temmuz	BioPCM27/Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%1.27	%1.43	%2.61	%2.61	%13.04
Ağustos	BioPCM27/Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q23	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%1.27	%1.28	%1.4	%1.40	%10.58

Tablo 30. (Devamı)

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5
Eylül	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%12.76	%26.55	%41.9	%39.96	%11.44
Ekim	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM21C	-
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	-
	%63.96	%61.80	%69.74	%59.67	-
Kasım	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	-
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	-
	%42.69	%21.34	%25.97	%21.19	-
Aralık	İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%10.21	%14.03	%19.11	%18.08	%3.06

Tablo 30’da her ay için beş farklı tipteki duvarın en iyi sonucu verdiği kalınlık ve malzeme bilgisi yer almaktadır. Burada dikkat çeken nokta en iyi sonuçların hep kalın malzeme kullanılmasıyla elde edilmesidir. Bunun yanında dikkat çeken bir diğer önemli nokta ise Tip1 ve Tip3 duvar tiplerinin diğer üç farklı duvar tipine göre daha fazla ısıtma enerjisi kazancı sağladığıdır. Optimum malzeme türü ve sıcaklığı her ay için farklılık göstermektedir. Her ay için en iyi sonucu veren 2 malzeme türü ve sıcaklığı ise aşağıdaki Tablo 31’de yer almaktadır.

Tablo 31. FDM’lerin ısıtma enerjisi kazançlarında etkili aylara göre optimum erime sıcaklıkları

	Optimum Erime Sıcaklık ve Tipleri
Ocak	Tip 3/ BioPCM27Q21
	Tip 4/ BioPCM27Q21
Şubat	Tip 3/ BioPCM27Q21
	Tip 4/ BioPCM27Q21
Mart	Tip 3/ BioPCM27Q21
	Tip 4/ BioPCM27Q21
Nisan	Tip 1/ İnfiniteRPCM21C
	Tip 3/ İnfiniteRPCM21C
Mayıs	Tip 2/ İnfiniteRPCM23C
	Tip 3/ İnfiniteRPCM23C
Haziran	Tip 5/ İnfiniteRPCM21C
	Tip 4/ İnfiniteRPCM25C
Temmuz	Tip 5/ İnfiniteRPCM21C
	-
Ağustos	Tip 5/ İnfiniteRPCM21C
	-
Eylül	Tip 3/ İnfiniteRPCM25C
	Tip 4/ İnfiniteRPCM25C
Ekim	Tip 1/ İnfiniteRPCM25C
	Tip 3/ İnfiniteRPCM23C
Kasım	Tip 1/ İnfiniteRPCM21C
	Tip 3/ İnfiniteRPCM21C
Aralık	Tip 4/ İnfiniteRPCM21C
	Tip 3/ İnfiniteRPCM21C

Tablo 31 incelendiğinde ısınma ihtiyacının en fazla olduğu Ekim ve Aralık ayları arasında İnfiniteRPCM21C malzemesinin en iyi, Ocak ve Mart ayları arasında ise BioPCM27Q21 malzemesinin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. İnfiniteRPCM malzemesi ise daha çok mevsim geçiş aylarında kazanç sağlamaktadır. Isınma ihtiyacı göz

önüne alınarak Tablo 31 incelendiğinde Isınma kazancı için en iyi malzemeler BioPCMM27Q21 ve İnfiniteRPCM21C'dir.

Optimum ısıtma enerjisi kazancı enerjisi belirlenirken izlenen yöntem aynı şekilde optimum soğutma enerjisi için de uygulanmış ve Tablo32 elde edilmiştir. Tablo 32'de her ay için soğutma kazancı için en iyi sonucu verdiği beş farklı tipteki duvarın kalınlık ve malzeme bilgisi yer almaktadır. Tablo incelendiğinde dikkat çeken nokta en iyi sonuçların genel olarak İnfiniteRPCM kullanılmasıyla elde edilmesidir. Ancak BioPCMM27Q malzemesinin Tip3 model versiyonu ile kazançlı olduğu en iyi sonuçlar bile ilgili aydaki diğer mazemelere oranla çok daha düşük verimlidir. Buradan yola çıkarak soğutma ihtiyacı kazancı için en iyi malzemenin İnfiniteRPCM olduğu görülmektedir. Ancak sıcaklık kazancında olduğu gibi her ay için optimum malzeme türü ve sıcaklığı farklılık göstermektedir. Bunun yanı sıra ısıtma enerjisi kazancı için en iyi sonucu kalın malzemeler verirken, soğutma enerjisi kazancı için ince malzemelerin de yüksek performans gösterdiği aylar gözlemlenmektedir. Ay bazında en iyi sonucu veren malzeme türleri ve sıcaklıkları ise Tablo 33'de yer almaktadır.

Tablo 32. FDM’lerin soğutma enerjisi kazançlarında etkili aylara göre optimum erime sıcaklıkları

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5
Ocak	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C
	33.60 mm	11.20 mm	33.60 mm	22.40 mm	33.60 mm
	%1.49	%1.35	%0.31	%0.93	%3.56
Şubat	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C
	33.60 mm	33.60 mm	11.20 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%4.58	%2.84	%0.94	%2.29	%3.11
Mart	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM25C	BioPCM27/Q21	-
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	22.40 mm	-
	%16.83	%14.04	%20.82	%9.02	-
Nisan	BioPCM27/Q21	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM21C	BioPCM27Q21	-
	33.60 mm	33.60 mm	22.40 mm	22.40 mm	-
	%4.58	%1.84	%11.04	%6.83	-
Mayıs	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	-
	33.60 mm	22.40 mm	22.40 mm	33.60 mm	-
	%26.11	%12.84	%31.74	%13.80	-
Haziran	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%26.23	%28.85	%37.68	%28.07	%12.89
Temmuz	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%19.34	%21.07	%26.97	%21.84	%13.04

Tablo 32. (Devamı)

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5
Ağustos	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM23C	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%17.24	%20.44	%25.83	%21.26	%10.58
Eylül	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%15.63	%25.44	%37.32	%27.03	%11.44
Ekim	İnfiniteRPCM21C	-	İnfiniteRPCM21C	İnfiniteRPCM21C	-
	33.60 mm	-	22.40 mm	11.20 mm	-
	%18.06	-	%23.04	%6.70	-
Kasım	BioPCM27/Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	BioPCM27Q21	-
	33.60 mm	11.20 mm	33.60 mm	33.60 mm	-
	%2.04	%0.78	%13.55	%11.47	-
Aralık	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q25	İnfiniteRPCM25C	İnfiniteRPCM23C
	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm	33.60 mm
	%3.48	%2.55	%2.29	%1.78	%3.07

Tablo 33. FDM'lerin soğutma enerjisi kazançlarında etkili aylara göre optimum erime sıcaklıkları

Optimum Erime Sıcaklık ve Tipleri	
Ocak	Tip 5/ İnfiniteRPCM25C -
Şubat	Tip 1/ İnfiniteRPCM25C Tip 5/ İnfiniteRPCM23C
Mart	Tip 1/ İnfiniteRPCM25C Tip 3/ İnfiniteRPCM25C
Nisan	Tip 3/ İnfiniteRPCM21C Tip 4/ BioPCM27Q21
Mayıs	Tip 1/ İnfiniteRPCM21C Tip 3/ İnfiniteRPCM21C
Haziran	Tip 2-4/ İnfiniteRPCM21C Tip 3/ İnfiniteRPCM21C
Temmuz	Tip 2-4/ İnfiniteRPCM23C Tip 3/ İnfiniteRPCM23C
Ağustos	Tip 3,2/ İnfiniteRPCM23C Tip 4/ İnfiniteRPCM23C
Eylül	Tip 4/ İnfiniteRPCM21C Tip 2-3/ İnfiniteRPCM21C
Ekim	Tip 1/ İnfiniteRPCM21C Tip 3/ İnfiniteRPCM21C
Kasım	Tip 4/ BioPCM27Q21 Tip 3/ BioPCM27Q21
Aralık	Tip 1/ İnfiniteRPCM25C Tip 5/ İnfiniteRPCM23C

Soğutma ihtiyacının en fazla olduğu yaz aylarında en iyi kazancı sağlayan duvar tipi Tip2 ve Tip3 olmuştur. Bu duvar tiplerinde kullanılan ve en iyi sonucu veren malzemenin ise İnfiniteRPCM23C olduğu görülmektedir. Sonuç olarak soğutma ihtiyacının en fazla olduğu ve en fazla enerji harcanan yaz ayları dikkate alındığında optimum sonucu İnfiniteRPCM23C vermektedir.

5.4.10. Oluşturulan senaryoların farklı bir lokasyon örneğinde irdelenmesi

Bu bölümde simülasyonu yapılan villa için özellikle soğutma enerjisi kazancının nasıl etkilendiğine dair daha detaylı incelemeler yapabilmek amacıyla İstanbul ilinden daha yüksek sıcaklık ortalamasına sahip, gündüz ve gece sıcaklıkları arasında ki farkın çok yüksek olmadığı İzmir ili seçilmiştir. Simülasyonu yapılacak olan villanın ısıtma sistemlerinin enerji modellemesi için programda İzmir iline ait ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. İzmir iline ait 83 (1938-2021 yılları arası) yıllık ortalama sıcaklık değerleri

Tablo 34’de verilmiştir. Tablo 34’de verilen İzmir iline ait sıcaklık değerleri İstanbul ilinin sıcaklık değerleri ile karşılaştırıldığında İzmir ilinin İstanbul ilinden daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 34. İzmir iline ait 83 yıllık ortalama sıcaklık değerleri (MGM 2021)

Ölçüm Periyodu (1938-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	8.8	12.4	5.8	4.3
Şubat	9.6	13.6	6.2	5.2
Mart	11.7	16.3	7.7	6.4
Nisan	15.8	20.9	11.1	7.9
Mayıs	20.8	26.1	15.5	9.8
Haziran	25.4	30.7	19.8	11.6
Temmuz	27.9	33.2	22.5	12.3
Ağustos	27.7	33.0	22.4	11.9
Eylül	23.7	29.2	18.7	10.1
Ekim	18.9	24.0	14.6	7.6
Kasım	14.3	18.6	10.8	5.6
Aralık	10.5	14.1	7.6	4.2
Yıllık	17.9	22.7	13.6	8.1

Araştırmalarda simülasyonu yapılacak villa için İzmir lokasyonu seçilmiştir. Simülasyonu yapılan villa için farklı duvar tipleri tasarlanmıştır. Tipler DesignBuilder programında modellenirken her tip için aynı mimari yapı ve aynı lokasyon kullanılmıştır. Tip modellerin seçimine karar verilirken, FDM’lerin soğutma amaçlı kullanımın incelenmesi amacı ile daha önce yapılan araştırma bulguları dikkate alınarak, Tip3 ve Tip2 modelleri seçilmiştir. FDM’in erime sıcaklığı seçilirken yine soğutma amaçlı kullanımı göz önünde bulundurularak İnfiniteRPCM’in ve BioPCMM27’in 23°C, 25°C ve 29°C erime sıcaklıkları kullanılarak 12 farklı analiz yapılmıştır.

Belirlenen iki tip ve üç sıcaklık için iki farklı FDM’nin yıllık, aylık ve saatlik analizleri yapılarak, İzmir lokasyonlu FDM’siz villanın analiz sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. İzmir lokasyonlu FDM’siz ve FDM’li villanın seçilen tip modellere ve erime sıcaklıklarına göre yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları Tablo 35’de İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi kazancı ise Tablo 36’da verilmiştir.

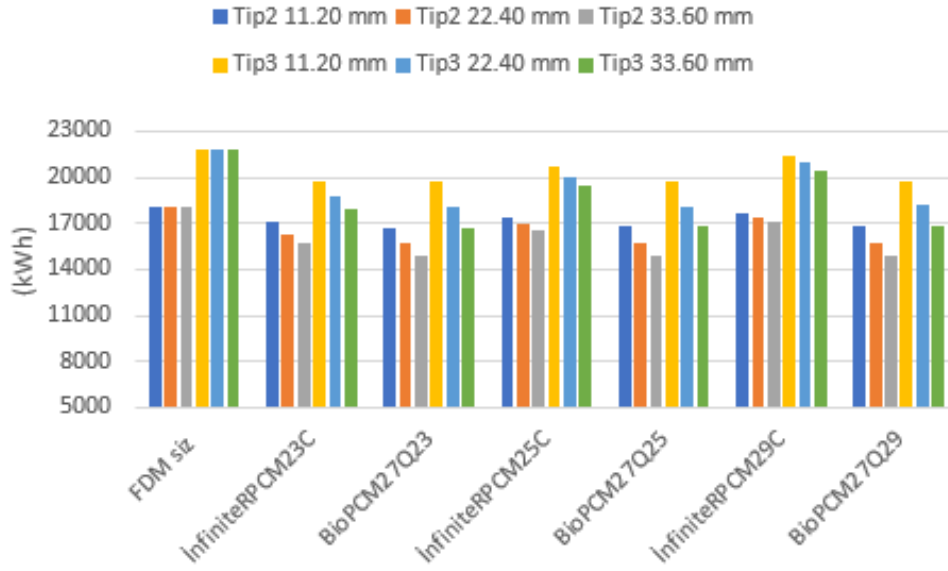
Tablo 35. İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları

		Isıtma Enerjisi (Wh)		Soğutma Enerjisi (Wh)	
		İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23	İnfiniteRPCM23C	BioPCM27Q23
Tip2	11.20 mm	17031.09	16747.96	21045.92	23071.07
	22.40 mm	16291.2	15706.35	19654.8	23105.08
	33.60 mm	15669.38	14825.85	19122.88	23131.57
Tip3	11.20 mm	19765.11	19672.8	20404.79	23747.57
	22.40 mm	18771.16	18048.86	19129.14	23647.06
	33.60 mm	17968.73	16745.44	18567.94	23614.31
		İnfiniteRPCM25C	BioPCM27Q25	İnfiniteRPCM25C	BioPCM27Q25
Tip2	11.20 mm	17407.63	16758.61	21656.45	23118.29
	22.40 mm	16964.22	15722.2	21542.09	23214.03
	33.60 mm	16539.5	14838.34	21635.62	23188.95
Tip3	11.20 mm	20667.31	19750.03	21751.3	23806.52
	22.40 mm	19998.18	18131.01	21768.07	23775.67
	33.60 mm	19481.42	16828.71	21821.1	23776.00
		İnfiniteRPCM29C	BioPCM27Q29	İnfiniteRPCM29C	BioPCM27Q29
Tip2	11.20 mm	17670.34	16759.67	25804.13	23148.46
	22.40 mm	17359.74	15719.53	26685.88	23219.91
	33.60 mm	17053.85	14838.47	27040.08	23253.29
Tip3	11.20 mm	21339.58	19766.82	28192.12	23830.06
	22.40 mm	20916.14	18150.87	29059.98	23868.45
	33.60 mm	20488.72	16848.89	29311.37	23935.91

Tablo 36. İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi kazancı

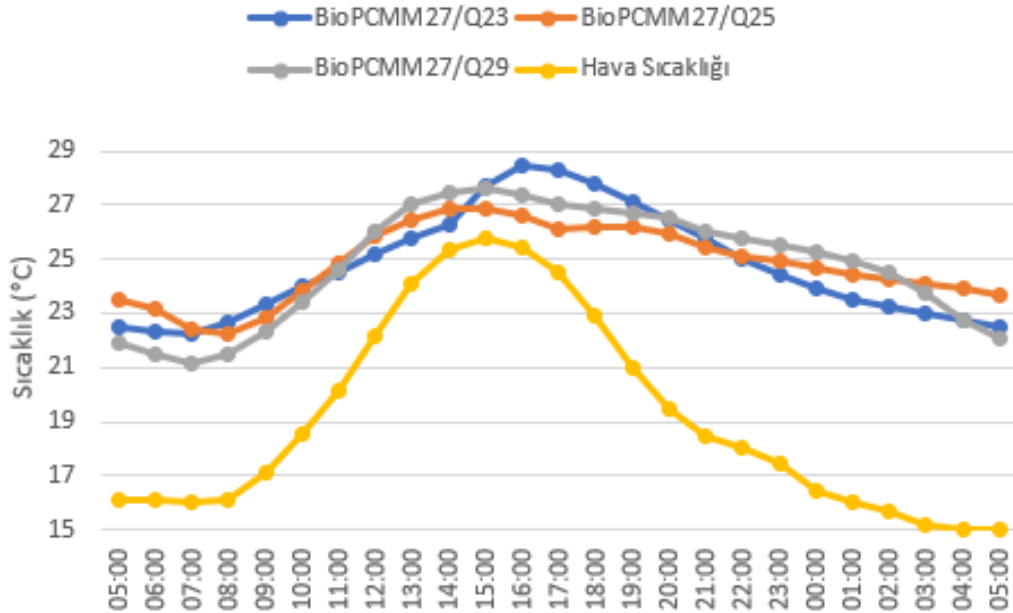
		İnfiniteRPCM23C		BioPCM27/Q23	
	23°C	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %
Tip2	11.20 mm	5.40	8.75	6.98	-0.03
	22.40 mm	9.51	14.78	12.76	-0.18
	33.60 mm	12.97	17.09	17.65	-0.29
Tip3	11.20 mm	9.48	15.21	9.90	1.32
	22.40 mm	14.03	20.52	17.34	1.74
	33.60 mm	17.71	22.85	23.31	1.88
		İnfiniteRPCM25C		BioPCM27/Q25	
	25°C	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %
Tip2	11.20 mm	3.31	6.10	6.92	-0.23
	22.40 mm	5.77	6.60	12.67	-0.65
	33.60 mm	8.13	6.20	17.58	-0.54
Tip3	11.20 mm	5.35	9.62	9.55	1.08
	22.40 mm	8.41	9.55	16.96	1.21
	33.60 mm	10.78	9.33	22.93	1.21
		İnfiniteRPCM29C		BioPCM27/Q29	
	29°C	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %	Isıtma Enerjisi Kazancı %	Soğutma Enerjisi Kazancı %
Tip2	11.20 mm	1.85	-11.88	6.91	-0.36
	22.40 mm	3.58	-15.70	12.69	-0.67
	33.60 mm	5.28	-17.24	17.58	-0.82
Tip3	11.20 mm	2.27	-17.14	9.47	0.98
	22.40 mm	4.21	-20.75	16.87	0.82
	33.60 mm	6.17	-21.79	22.84	0.54

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Tüm analiz verileri yıllık ısıtma enerjisi bakımından incelendiğinde tip modellerin performanslarının tamamında FDM’siz villaya göre daha düşük ısıtma enerjisine ihtiyaç duyulduğu yani tüm tip ve kalınlıklarda ısıtma enerjisi kazancı sağladığı, tüm tipler arasında Tip3 modelin en yüksek verimde ısıtma enerjisi kazancı sağladığı görülmektedir. FDM çeşidinin yıllık ısıtma enerjisi kazancı etkisine bakıldığında BioPCM27’in yıllık ısıtma enerjisi performansının İnfiniteRPCM’in yıllık ısıtma enerjisi performansından daha yüksek olduğu görülmüştür. İzmir lokasyonlu FDM’li ve FDM’siz villanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını gösteren grafik Şekil 44’de verilmiştir.



Şekil 44. İzmir lokasyonlu FDM’li ve FDM’siz villanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

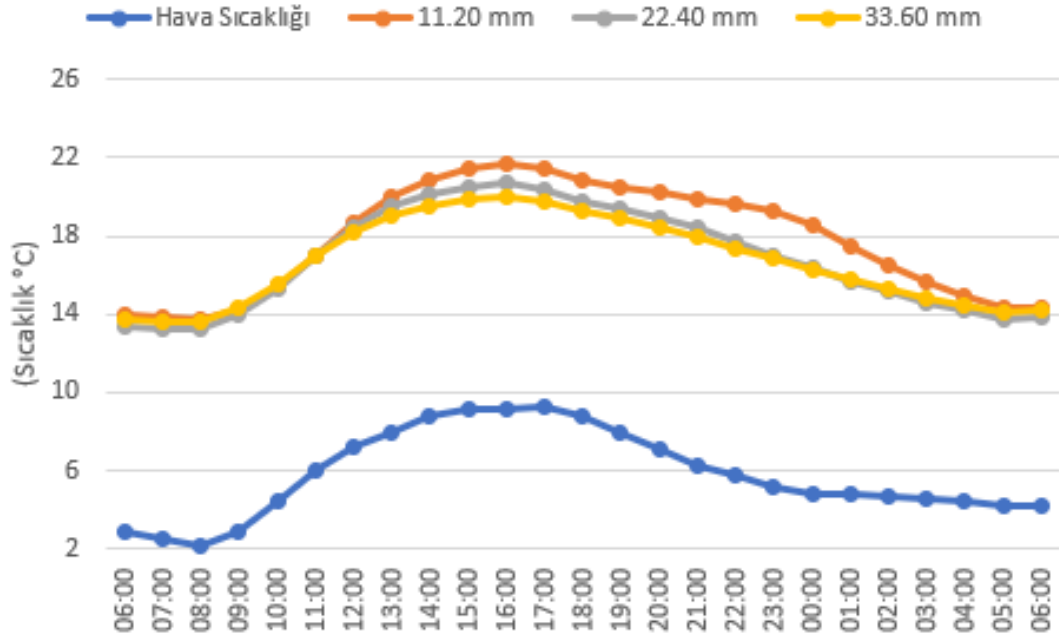
BioPCMM27’in ısıtma enerjisi kazancı kullanılan farklı kalınlıklar dikkate alınarak incelendiğinde kalınlık arttıkça doğrusal orantılı olarak ısıtma kazancı veriminin de arttığı, BioPCMM27’in erime sıcaklığı arttıkça performansının çok düşük oranlarda da olsa azaldığı görülmüştür. Spesifik olarak seçilen 10 Ekim tarihli Tip3 model 22.40 mm kalınlığında BioPCMM27’in tüm erime sıcaklıklarına ait FDM’lerin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 45’te verilmiştir.



Şekil 45. 10 Ekim tarihli Tip3 model 22.40 mm kalınlığında BioPCMM27’in tüm erime sıcaklıklarına ait FDM’lerin saatlik sıcaklık değişimi

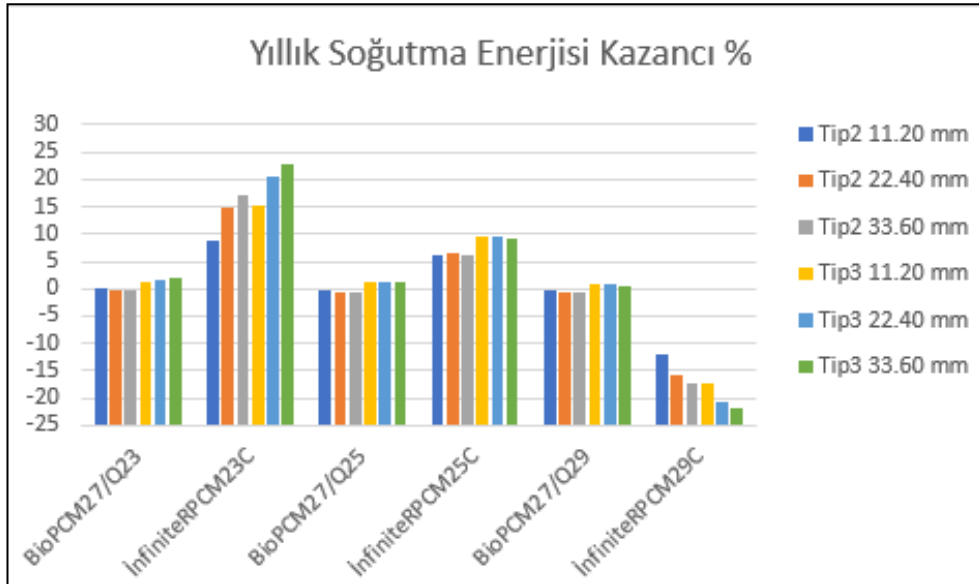
İnfiniteRPCM’in yıllık ısıtma enerjisi kazancı kullanılan farklı kalınlıklar dikkate alınarak irdelendiğinde İnfiniteRPCM’in kalınlığı arttıkça performansının azaldığı

belirtilmiştir. İnfiniteRPCM'in erime sıcaklıklarına bakıldığında ise erime sıcaklığı arttıkça verimin düştüğü, en yüksek performansı 23°C erime sıcaklığında gösterdiği görülmüştür. Spesifik olarak seçilen 29 Ocak tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'nin tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi grafiği Şekil 46'da verilmiştir.



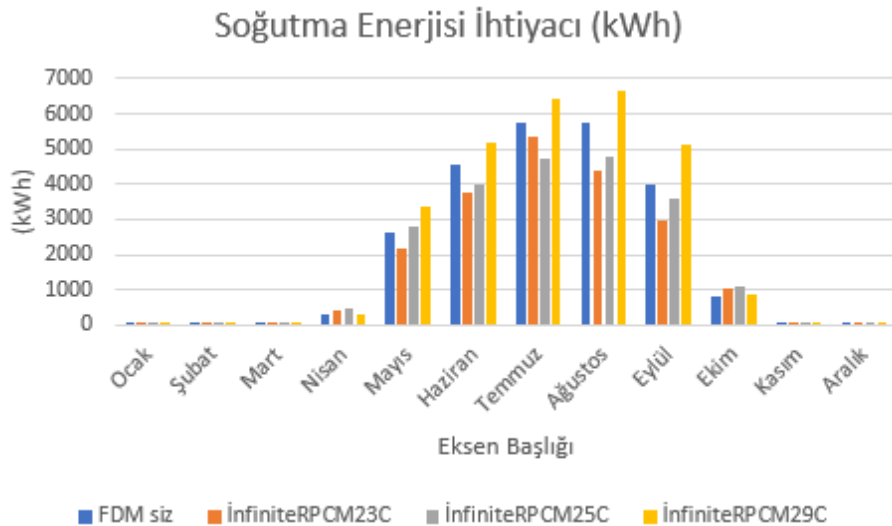
Şekil 46. 29 Ocak tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'nin tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi

Soğutma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; İzmir lokasyonlu villanın tüm analiz verileri yıllık soğutma enerjisi bakımından incelendiğinde tip modellerin performanslarının seçilen FDM'lerin çeşidine ve erime sıcaklıklarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, FDM çeşitlerinin yıllık soğutma enerjisi kazancına etkisine bakıldığında İnfiniteRPCM'in yıllık soğutma enerjisi performansının BioPCMM27'in yıllık soğutma enerjisi performansından daha yüksek olduğu görülmektedir. İzmir lokasyonlu FDM'li villanın yıllık soğutma enerjisi kazancını gösteren grafik Şekil 47'de verilmiştir. Tipler incelendiğinde ise Tip3 modelin en yüksek verimde soğutma enerjisi kazancı sağladığı görülmektedir.



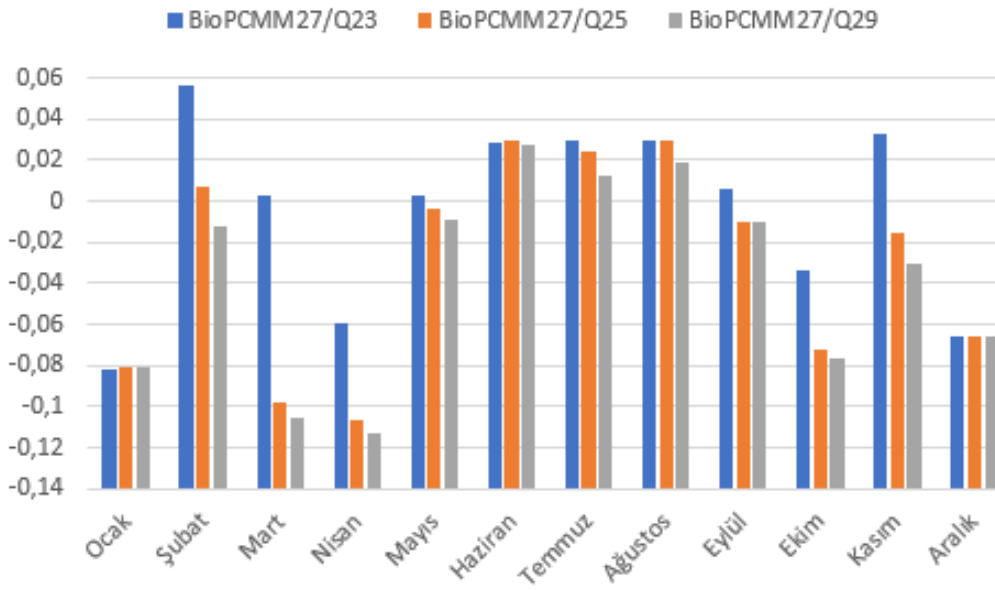
Şekil 47. İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık soğutma enerjisi kazancı

İnfiniteRPCM’in yıllık soğutma enerjisi performansı kalınlıklar dikkate alınarak irdelendiğinde kalınlık arttıkça verimin arttığı, erime sıcaklıkları dikkate alınarak irdelendiğinde ise erime sıcaklığı arttıkça verimin düştüğü görülmektedir. İnfiniteRPCM 23°C erime sıcaklığında en yüksek soğutma kazancı performansı gösterirken, 29°C erime sıcaklığında verimi kötü etkileyerek yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını FDM’siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacına göre daha çok arttırdığı görülmektedir. Tip3 model 11.20 mm kalınlığında ki İnfiniteRPCM’in tüm erime sıcaklıklarının soğutma enerjisi ihtiyacının aylara göre dağılımını gösteren grafik Şekil 48’de verilmiştir.



Şekil 48. Tip3 model 11.20 mm kalınlığında ki İnfiniteRPCM’lerin aylık soğutma enerjisi ihtiyacı

BioPCMM27'in yıllık soğutma enerjisi performansı kalınlıklar dikkate alınarak irdelendiğinde kalınlık arttıkça verimin arttığı, erime sıcaklıkları dikkate alınarak irdelendiğinde ise erime sıcaklığı arttıkça verimin düştüğü belirtilmiştir. BioPCMM27'in 23°C, 25°C ve 29°C erime sıcaklıklarının performansı kullanılan tip modele göre değişkenlik göstermektedir. BioPCMM27'in verimi tiplere göre değerlendirildiğinde, Tip2 model versiyonunun 23°C, 25°C ve 29°C erime sıcaklıklarının tümünde soğutma enerjisi ihtiyacını kötü etkileyerek villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacını FDM'siz villanın yıllık soğutma enerjisi ihtiyacına göre daha çok yükselterek, soğutma için gereken enerjiyi daha da arttırdığı görülmektedir. BioPCMM27'in verimi erime sıcaklığına göre değerlendirildiğinde ise 23°C erime sıcaklığı en iyi performansı gösterirken, erime sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı görülmektedir. Tip3 model 33.60 mm kalınlığında ki BioPCMM27'in tüm erime sıcaklıklarının soğutma enerjisi ihtiyacının aylara göre dağılımını gösteren grafik Şekil 49'da verilmiştir.



Şekil 49. Tip3 model 33.60 mm kalınlığında ki BioPCMM27'lerin aylık soğutma enerjisi ihtiyacı

İzmir lokasyonlu villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyaçlarına genel olarak bakıldığında hem İnfiniteRPCM hem de BioPCMM27 için en uygun sıcaklığın 23°C erime sıcaklığı, en uygun tipin ise Tip3 model olduğu belirtilmiştir. Bina dış duvarında kullanılacak olan FDM çeşidine bakıldığında ise ısıtma amaçlı kullanımda BioPCMM27'in, soğutma amaçlı kullanımda ise İnfiniteRPCM'in daha verimli olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji konusu dünya gündeminin en önemli konularından biri haline gelmiştir. Dünyada tüketilen enerjinin büyük bir miktarı binalarda kullanılmaktadır. Türkiye’de ise binalar için bu oran yaklaşık %30’dur. Buna ek olarak kentlerdeki nüfus artışı sonucu konut binalarının ve yerleşme alanlarının artması ile binalar için harcanan enerji miktarları da artmıştır. Bina stoğunun hızla artmasıyla binalarda tüketilen ısıtma ve soğutma enerjisi miktarları da artmakta ve bu durum binalarda enerji korunumu kavramının öncelikli olmasına yol açmaktadır. Binalarda harcanan enerjinin büyük bir bölümü binalardaki konfor koşullarının sağlanabilmesi içindir. Bina tasarım aşamasında binanın bulunduğu bölgenin iklimsel özellikleri dikkate alınmadığında ve buna bağlı olarak iklimle dengeli bir tasarım yapılmadığında; öncelikle binada iklimsel konfor koşulları sağlanamamakta sonrasında da bu koşulların sağlanabilmesi için aşırı enerji tüketen mekanik sistemler kullanılmaktadır. Dolayısıyla enerji etkin tasarım kriterlerine göre tasarlanmış binalar ile iç ortam konfor koşulunun sağlanması, binaların mekanik sistemlere duyduğu ihtiyacın azaltılması ve binalarda harcanan enerji miktarlarının da azaltılması olanaklıdır. Havalandırmanın akıllıca kontrol edilmesi, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabilir. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri bina sakinlerine termal konfor sağlamak için hem konut hem de ticari binalarda büyük miktarda enerji tüketimine katkıda bulunur. Enerji talebinin azaltılmasının binalardaki enerji tüketimini önemli ölçüde azaltacağı ve sonuç olarak karbondioksit emisyonlarını azaltacağı açıktır. Bu sebeple, FDM’lerin bina dış duvarında kullanımları ile ısıtma ve soğutma enerjisi kazancı sağlamaları son yıllarda geniş çaplı araştırmalara konu olmuştur. Bu kapsamda bu tez çalışmasında gizli ısı depolama kapasiteleri olan FDM’lerin bina dış kabuğunda kullanımının binaların enerji verimliliğine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkının çok olmadığı iki farklı lokasyonda İstanbul ve İzmir illeri için araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalarda enerji verimliliği açısından karşılaştırmaların geniş bir yelpazede incelemelerin yapılabilmesi amacıyla farklı senaryolarda duvar tipleri oluşturulmuş, bu duvar tiplerinde farklı erime sıcaklıkları bulunan iki farklı FDM’nin farklı kalınlıklarında kullanılan 90 farklı tip model oluşturulmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının ve yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının belirlenmesinde binanın dış duvarında kullanılan FDM’nin cinsinin, erime sıcaklığının, kalınlığının ve FDM’nin konumlandırılmasında seçilen tip modelin etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlarda FDM’nin

ısıtma ya da soğutma performansında aynı etkiye sahip olmadığı, FDM'nin erime sıcaklığının FDM performansında önemli bir unsur olduğu görülmüştür. Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde binanın yıllık soğutma enerjisi verimliliği kalınlıklar dikkate alınarak incelendiğinde İnfiniteRPCM23C'in en yüksek soğutma enerjisi performansına sahip olduğu ve soğutma enerjisi ihtiyacının çok yüksek olduğu yaz aylarında Tip2 ve Tip3 tip modellerin en iyi verimi sağladığı görülmüştür. Soğutma enerjisi ihtiyacının az ve ısıtma enerjisi ihtiyacının yüksek olduğu soğuk mevsimlerde ise hem İnfiniteRPCM21C hem de BioPCM27Q23 malzemelerinin yüksek kazançlar sağladığı görülmüştür. Analiz sonuçları dikkate alındığında soğutma amaçlı kullanım için en iyi malzeme seçiminin İnfiniteRPCM olmakla birlikte hem ısıtma enerjisi kazancında hem de soğutma enerjisi kazancında optimum malzeme türünün ve sıcaklığının aylara göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, binanın soğutma enerjisi ihtiyacını düşürmek amacıyla FDM kullanımında, FDM'nin dış duvar yapı bileşenindeki yerinin önem arz ettiği, soğutma enerjisi bakımından en yüksek performansın Tip3 modelde yani bina dış duvarında yalıtım kullanılmadan FDM'nin iç yüzeye yakın tuğla ardında kullanılmasında gerçekleştiği, ısıtma amaçlı kullanımında ise FDM'nin yalıtım malzemesi ile birlikte kullanımın çok yüksek performans sağladığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abdelsalam, M. Y., Teamah, H. M., Lightstone, M. F., ve Cotton, J. S. (2020). Hybrid thermal energy storage with phase change materials for solar domestic hot water applications: Direct versus indirect heat exchange systems. *Renewable Energy*, 147, 77-88.
- Akçay, M. (2006). *Isıl enerji depolama amaçlı bazı polimer/yağ asidi karışımlarının hazırlanması ve ısı özelliklerinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Aketouane, Z., Malha, M., Bruneau, D., Bah, A., Michel, B., Asbik, M., ve Ansari, O. (2018, December). Energy savings potential by integrating Phase Change Material into hollow bricks: The case of Moroccan buildings. *In Building Simulation*, 11(6), 1109-1122.
- Alam, M., Jamil, H., Sanjayan, J., ve 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>.
- Alawadhi, E. M. (2008). Thermal analysis of a building brick containing phase change material. *Energy and Buildings*, 40(3), 351-357.
- Al-Yasiri, Q., ve Szabó, M. (2021). Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis. *Journal of Building engineering*, 36, 102122.
- Amaral, C., Vicente, R., Marques, P. A. A. P., ve Barros-Timmons, A. (2017). Phase change materials and carbon nanostructures for thermal energy storage: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1212-1228.
- Arıcı, M., Bilgin, F., Nižetić, S., ve Karabay, H. (2020). PCM integrated to external building walls: An optimization study on maximum activation of latent heat. *Applied Thermal Engineering*, 165, 114560.
- Barker, T., Bashmakov, I., Alharthi, A., Ammann, M., Cifuentes, L., Drexhage, J., ... ve Meyer, L. (2007). Mitigation from a cross-sectoral perspectiv.
- Bolattürk, A. (2008). Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and environment*, 43(6), 1055-1064.

- Cabeza, L. F., Miró, L., Oró, E., de Gracia, A., Martin, V., Krönauer, A., ... ve Fernández, A. I. (2015). CO2 mitigation accounting for Thermal Energy Storage (TES) case studies. *Applied Energy*, 155, 365-377.
- Chandel, S. S., ve Agarwal, T. (2017). Review of cooling techniques using phase change materials for enhancing efficiency of photovoltaic power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1342-1351.
- Chel, A., ve Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 655-669.
- Comunian, T. A., ve Favaro-Trindade, C. S. (2016). Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. *Food Hydrocolloids*, 61, 442-457.
- Dean, B., Dulac, J., Petrichenko, K., ve Graham, P. (2016). Towards zero-emission efficient and resilient buildings.: Global Status Report.
- Demirbas, M. F. (2006). Thermal energy storage and phase change materials: an overview. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1(1), 85-95.
- ER, A. (2012). *Kompozit yapı malzemelerinin performans özelliklerinin ve mimarlıkta kullanım olanaklarının araştırılması*. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Fabiani, C., Piselli, C., ve Pisello, A. L. (2020). Thermo-optic durability of cool roof membranes: Effect of shape stabilized phase change material inclusion on building energy efficiency. *Energy and Buildings*, 207, 109592.
- Faraj, K., Khaled, M., Faraj, J., Hachem, F., ve Castelain, C. (2021). A review on phase change materials for thermal energy storage in buildings: Heating and hybrid applications. *Journal of Energy Storage*, 33, 101913.
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., ve Haas, A. (2005). Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and buildings*, 37(11), 1186-1203.
- Frigione, M., Lettieri, M., ve Sarcinella, A. (2019). Phase change materials for energy efficiency in buildings and their use in mortars. *Materials*, 12(8), 1260.
- Garıba, A. M. M. (2021). *Fonksiyonel derecelendirilmiş ti-b4c kompozit malzemelerin mekanik ve korozyon özellikleri*. Yayınlanmamış doktora tezi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu.
- Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency, the United Nations Environment Programme, 2019 Global Status Report: Towards a Zero-

- Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector, 2020. 10 Ocak 2022 tarihinde [https://globalabc.org/resources/document/119#document/adresinden erişildi](https://globalabc.org/resources/document/119#document/adresinden%20erişildi).
- H Abedin, A., ve A Rosen, M. (2011). A critical review of thermochemical energy storage systems. *The open renewable energy journal*, 4(1).
- Hassan, A., Shakeel Laghari, M., ve Rashid, Y. (2016). Micro-encapsulated phase change materials: a review of encapsulation, safety and thermal characteristics. *Sustainability*, 8(10), 1046.
- Holman, J. P. (2012). Experimental methods for engineers.
- Izquierdo-Barrientos, M. A., Belmonte, J. F., Rodríguez-Sánchez, D., Molina, A. E., ve Almendros-Ibáñez, J. A. (2012). A numerical study of external building walls containing phase change materials (PCM). *Applied Thermal Engineering*, 47, 73-85.
- Kee, S. Y., Munusamy, Y., ve Ong, K. S. (2018). Review of solar water heaters incorporating solid-liquid organic phase change materials as thermal storage. *Applied Thermal Engineering*, 131, 455-471.
- Keskin, T. (2012). *Yapı kabuğunda enerji etkin iyileştirmeye yönelik güneş ısı kazanç faktörü ve hava sızdırmazlık parametrelerinin incelenmesi-Edirne örneği* (Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Khan, Z., Khan, Z., ve Ghafoor, A. (2016). A review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility. *Energy conversion and management*, 115, 132-158.
- Larsson, O., ve Thelandersson, S. (2011). Estimating extreme values of thermal gradients in concrete structures. *Materials and structures*, 44(8), 1491-1500.
- Lei, J., Yang, J., ve 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.
- Liu, Z., Yu, Z. J., Yang, T., Qin, D., Li, S., Zhang, G., ... ve Joybari, M. M. (2018). A review on macro-encapsulated phase change material for building envelope applications. *Building and Environment*, 144, 281-294.
- Lucon, O., Ürge-Vorsatz, D., Zain Ahmed, A., Akbari, H., Bertoldi, P., Cabeza, L.F., vd. (Eds.), Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom,

- and New York, NY, USA, 2014: pp. 671–738. 25 Nisan 2022 tarihinde <https://www.ipcc.ch/> adresinden erişildi.
- Lv, P., Liu, C., ve Rao, Z. (2017). Review on clay mineral-based form-stable phase change materials: Preparation, characterization and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 707-726.
- Mazzeo, D., Oliveti, G., ve Arcuri, N. (2017). Definition of a new set of parameters for the dynamic thermal characterization of PCM layers in the presence of one or more liquid-solid interfaces. *Energy and Buildings*, 141, 379-396.
- Mehling, H., ve Cabeza, L. F. (2008). Heat and cold storage with PCM. *Heat and mass transfer*, 11-55.
- Mi, X., Liu, R., Cui, H., Memon, S. A., Xing, F., ve Lo, Y. (2016). Energy and economic analysis of building integrated with PCM in different cities of China. *Applied Energy*, 175, 324-336.
- Mundra, S. S., ve Pardeshi, S. S. (2022). Analysis of phase change material inside horizontally oriented heat storage unit: A numerical and experimental approach. *Case Studies in Thermal Engineering*, 31, 101831.
- Murathan, E. K., ve Manioğlu, G. (2020). Evaluation of phase change materials used in building components for conservation of energy in buildings in hot dry climatic regions. *Renewable Energy*, 162, 1919-1930.
- Ng, D. Q., Tseng, Y. L., Shih, Y. F., Lian, H. Y., ve Yu, Y. H. (2017). Synthesis of novel phase change material microcapsule and its application. *Polymer*, 133, 250-262.
- NREL. (2005). Building a better Trombe wall, NREL researchers improve passive solar technology. National Renewable Energy Laboratory.
- Ongun, H. *Konsantre Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Termoklin Termal Enerji Depolama Sistem Analizi* (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).
- Ozyurt, E. (2019). Faz değıştiren malzemelerin dış duvarda kullanımındagüneş ışı nımı katkısının bina enerji etkinliği açısından değerlendirilmesi: İzmir ili örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Piselli, C., Prabhakar, M., de Gracia, A., Saffari, M., Pisello, A. L., ve Cabeza, L. F. (2020). Optimal control of natural ventilation as passive cooling strategy for improving the energy performance of building envelope with PCM integration. *Renewable Energy*, 162, 171-181.
- Piselli, C., Saffari, M., de Gracia, A., Pisello, A. L., Cotana, F., ve Cabeza, L. F. (2017). Optimization of roof solar reflectance under different climate conditions,

- occupancy, building configuration and energy systems. *Energy and Buildings*, 151, 81-97.
- Pomianowski, M., Heiselberg, P., ve Zhang, Y. (2013). Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings. *Energy and Buildings*, 67, 56-69.
- Rahman, M. M., Rasul, M. G., ve Khan, M. M. K. (2010). Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Applied Energy*, 87(10), 2994-3004.
- RGEES. Phase Change Energy Storage Technology: Heat and Cold Storage with Phase Change (PCM)—An Innovation for Storing Thermal Energy and Temperature Control.
- Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C. H., Asim, N., ve Sulaiman, M. Y. (2012). Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6340-6351.
- Saafi, K., ve Daouas, N. (2019). Energy and cost efficiency of phase change materials integrated in building envelopes under Tunisia Mediterranean climate. *Energy*, 187, 115987.
- Saffari, M., De Gracia, A., Fernández, C., ve Cabeza, L. F. (2017). Simulation-based optimization of PCM melting temperature to improve the energy performance in buildings. *Applied Energy*, 202, 420-434.
- Sajjadian, S. M., Lewis, J., ve 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, 83-89.
- Schmitt, R., Öttinger, O., Steinmann, W. D., ve Johnson, M. (2010). PCM-Graphite Latent Heat Storage Systems for Industrial Process Heat Recovery. In *Advances in Science and Technology*, 74, 259-265.
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., ve Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 13(2), 318-345.
- Shen, H., ve Liu, X. (2016). Energy Savings Potential of Phase Change Material Integrated Building Envelope in South Texas. International High Performance Buildings Conference at Purdue, Temmuz 11-14, 2016, Texas, s. 3644, 1-9.
- Sivanathan, A., Dou, Q., Wang, Y., Li, Y., Corker, J., Zhou, Y., ve Fan, M. (2020). Phase change materials for building construction: An overview of nano-/micro-encapsulation. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 896-921.

- Skovajsa, J., Koláček, M., ve Zálešák, M. (2017). Phase change material based accumulation panels in combination with renewable energy sources and thermoelectric cooling. *Energies*, 10(2), 152.
- Socaciu, L. G. (2012). Thermal energy storage with phase change material. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 20, 75-98.
- Su, W., Darkwa, J., ve Kokogiannakis, G. (2015). Review of solid–liquid phase change materials and their encapsulation technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 373-391.
- Swinbank, W. C. (1963). Long-wave radiation from clear skies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 89(381), 339-348.
- Szyszkka, J., Bevilacqua, P., ve Bruno, R. (2020). An innovative trombe wall for winter use: the thermo-diode trombe wall. *Energies*, 13(9), 2188.
- Tunçbilek, E., Arıcı, M., Bouadila, S., ve Wonorahardjo, S. (2020). Seasonal and annual performance analysis of PCM-integrated building brick under the climatic conditions of Marmara region. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(1), 613-624.
- Umair, M. M., Zhang, Y., Iqbal, K., Zhang, S., ve Tang, B. (2019). Novel strategies and supporting materials applied to shape-stabilize organic phase change materials for thermal energy storage—A review. *Applied energy*, 235, 846-873.
- Wan, K. K., Li, D. H., Liu, D., ve Lam, J. C. (2011). Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates. *Building and Environment*, 46(1), 223-234.
- Whiffen, T. R., ve Riffat, S. B. (2013). A review of PCM technology for thermal energy storage in the built environment: Part I. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 8(3), 147-158.
- Yang, J., Qi, G. Q., Liu, Y., Bao, R. Y., Liu, Z. Y., Yang, W., ... ve Yang, M. B. (2016). Hybrid graphene aerogels/phase change material composites: thermal conductivity, shape-stabilization and light-to-thermal energy storage. *Carbon*, 100, 693-702.
- Yıldız, Y. (2008). *Retrofitting Existing Mass Housing for Energy Efficiency: a Case Study in Gaziemir Emlak Bank Housing Area, İzmir, Turkey* (Doctoral dissertation, Izmir Institute of Technology (Turkey)).
- Yildiz, Y., Özbalt, T. G., ve Arsan, Z. D. (2011). Farklı Cam Türleri ve Yönleri Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir. *Megaron*, 6(1).

- Yilmaz, B. (2009). *Binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik*. Yayınlanmamış Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zamora, B., ve Kaiser, A. S. (2009). Thermal and dynamic optimization of the convective flow in Trombe Wall shaped channels by numerical investigation. *Heat and Mass Transfer*, 45(11), 1393-1407.
- Zhang, Y., Zheng, S., Zhu, S., Ma, J., Sun, Z., ve Farid, M. (2018). Evaluation of paraffin infiltrated in various porous silica matrices as shape-stabilized phase change materials for thermal energy storage. *Energy conversion and management*, 171, 361-370.
- Zhou, D., Zhao, C. Y., ve Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied energy*, 92, 593-605.
- Zivkovic, B., ve Fujii, I. (2001). An analysis of isothermal phase change of phase change material within rectangular and cylindrical containers. *Solar energy*, 70(1), 51-61.

EKLER

Ek 1. Tezde kullanılan FDM'lerin ısıtma ve soğutma Enerjisi (kWh)

11.20 mm İnfiniteRPCM21C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4212.2144	6396.6540	7476.9815	7491.3231	4271.9054
Şubat	4213.4591	6433.1021	7472.4272	7504.3718	4228.3476
Mart	3053.3851	4644.5218	5356.7956	5423.6524	2987.7438
Nisan	870.6857	1879.5785	2118.8293	2294.5082	1155.3521
Mayıs	229.6281	389.6116	503.8142	556.3565	215.7233
Haziran	77.5637	76.6504	91.3964	82.1043	75.4061
Temmuz	86.5330	84.1590	87.6407	87.5799	86.4318
Ağustos	82.6090	80.4245	83.6349	83.6101	82.6251
Eylül	95.4374	104.4455	125.5075	110.9041	91.9670
Ekim	295.4024	403.1357	479.2229	619.6510	282.0235
Kasım	1330.8547	2580.0901	2912.7025	3081.4386	1590.2102
Aralık	3512.5295	5347.0343	6163.6512	6159.6297	3511.2948
22.40 mm İnfiniteRPCM21C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	3980.2742	6283.0662	7305.2670	7302.1937	4244.0079
Şubat	4135.5484	6352.1489	7355.3045	7361.4298	4208.7790
Mart	3037.7159	4587.3407	5285.5502	5282.1102	2979.7009
Nisan	775.4545	1663.4321	1851.4590	2105.2867	1083.2123
Mayıs	225.3974	300.0699	376.1798	499.6265	181.8281
Haziran	77.5896	77.2013	92.4281	81.8402	75.0903
Temmuz	86.2578	83.9333	87.4035	87.2535	86.1240
Ağustos	82.3802	80.1300	83.3546	83.3068	82.3185
Eylül	95.0059	104.0741	124.1824	110.5515	91.3025
Ekim	290.9559	336.2627	393.3065	433.2554	256.0818
Kasım	1114.2432	2435.6122	2711.5755	2890.8722	1540.7856
Aralık	3415.9297	5290.2757	6088.4842	6052.1312	3501.6059
33.60 mm İnfiniteRPCM21C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	3786.8196	6141.3454	7123.7572	7145.5700	4199.9565
Şubat	4073.0838	6282.8369	7255.5752	7234.2090	4202.1275
Mart	3043.4105	4543.9622	5231.0989	5168.0210	2972.5834
Nisan	757.5730	1428.0599	1579.7087	1940.6062	979.5961
Mayıs	223.6914	261.8657	327.2133	404.2600	165.6823
Haziran	77.4548	77.0915	91.9392	81.3959	74.7828
Temmuz	85.9465	83.6839	87.1068	87.0367	85.7823
Ağustos	82.0697	79.9023	83.0845	83.0592	81.9949
Eylül	93.0376	103.4004	122.1146	109.1346	90.7524
Ekim	286.2241	316.9438	373.1804	362.2856	236.1821
Kasım	980.3492	2196.5945	2472.6701	2769.7990	1443.8227
Aralık	3265.8070	5231.1348	6037.4818	5958.0658	3487.1917

11.20 mm İnfiniteRPCM23C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4314.0479	6441.6395	7528.4383	7504.6579	4291.4551
Şubat	4311.0676	6467.6630	7548.4899	7533.7422	4247.8795
Mart	3092.4086	4688.3514	5446.1532	5476.7970	3001.3418
Nisan	965.8354	1975.3960	2237.6072	2369.6610	1182.0800
Mayıs	156.8461	372.7812	466.7868	540.1356	218.3896
Haziran	75.1819	73.3190	76.1757	76.3659	75.1915
Temmuz	86.4304	84.1549	87.4170	87.4086	86.4231
Ağustos	82.6470	80.4707	83.5906	83.5855	82.6420
Eylül	87.5132	88.3098	93.9202	94.9654	85.5327
Ekim	199.6588	447.5378	533.6460	689.1889	302.5821
Kasım	1507.3815	2686.4830	3145.4591	3184.1172	1628.9651
Aralık	3625.7725	5349.8773	6199.7622	6168.1087	3517.5117
22.40 mm İnfiniteRPCM23C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4203.8448	6283.8745	7357.1393	7341.2846	4248.9660
Şubat	4295.8602	6394.2918	7457.0904	7405.2388	4236.5130
Mart	3090.9663	4630.3417	5352.0719	5370.4202	2991.2858
Nisan	805.3475	1890.1084	2129.6286	2197.0868	1158.1580
Mayıs	149.8817	273.0073	323.8840	465.1235	180.9757
Haziran	74.8631	72.9065	75.7883	75.7878	74.8697
Temmuz	86.0671	83.7993	87.0519	87.0503	86.0599
Ağustos	82.2993	80.1300	83.2410	83.2400	82.2944
Eylül	86.4644	86.9066	92.0003	91.1184	84.7572
Ekim	186.8511	311.1778	351.0947	523.3036	247.0346
Kasım	1288.7655	2584.3151	3024.8423	3047.5762	1594.3113
Aralık	3609.6538	5290.9531	6139.9918	6087.3862	3503.2796
33.60 mm İnfiniteRPCM23C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4074.9416	6177.2537	7211.5285	7215.3626	4211.8017
Şubat	4282.6105	6321.6390	7365.8661	7304.1675	4218.9741
Mart	3089.4053	4583.8233	5294.1940	5277.5753	2982.9083
Nisan	775.2782	1783.9419	1944.4746	2118.1704	1126.0633
Mayıs	147.5663	226.8182	227.9487	394.0924	166.7978
Haziran	74.5458	72.5887	75.4588	75.4203	74.5503
Temmuz	85.7031	83.4416	86.6857	86.6852	85.6960
Ağustos	81.9513	79.7880	82.8906	82.8908	81.9459
Eylül	85.6426	85.9220	90.9560	90.0306	84.1751
Ekim	182.7734	252.1923	271.8465	397.0379	219.2507
Kasım	1129.9548	2490.3668	2915.7270	2952.2580	1559.0097
Aralık	3590.1562	5232.2053	6065.4806	6017.2700	3487.4485

11.20 mm İnfiniteRPCM23C Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.5943	10.6889	10.6454	10.6939	14.4075
Şubat	17.8156	13.2927	13.6208	13.6732	17.9490
Mart	54.2632	35.7140	43.4800	44.0256	68.2323
Nisan	306.7156	182.0706	209.5223	195.5062	334.9211
Mayıs	1467.0563	1284.0204	1210.0099	1292.9138	1681.3149
Haziran	2760.2270	2636.9203	2487.8860	2771.7056	3133.2347
Temmuz	5038.8415	4591.4696	4244.0922	4727.2364	5136.7578
Ağustos	5632.6054	5039.4524	4811.1441	5247.9554	5516.0751
Eylül	2558.7933	2381.9941	2244.8779	2492.5326	2910.8163
Ekim	1106.0148	854.5932	837.2144	817.9091	1170.7894
Kasım	177.4453	88.9969	96.8436	92.3404	152.0222
Aralık	25.9738	20.1788	20.6090	20.6440	25.9708
22.40 mm İnfiniteRPCM23C Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.6762	10.7796	10.6598	10.6693	14.3372
Şubat	17.5403	13.1646	13.4818	13.5724	17.7194
Mart	50.0822	33.5961	40.8163	43.5230	64.7653
Nisan	319.6330	185.1084	208.7955	222.1766	328.0085
Mayıs	1463.3307	1318.0618	1230.0475	1336.7511	1714.1695
Haziran	2685.8106	2545.2913	2388.4960	2621.3265	3110.4841
Temmuz	4665.4623	4307.6521	4091.9678	4400.0282	5102.7151
Ağustos	5220.7854	4722.5560	4549.4761	4863.3122	5457.9677
Eylül	2535.2840	2371.6955	2241.7037	2434.2834	2902.0813
Ekim	1113.7627	930.3072	889.8411	903.7798	1220.6842
Kasım	189.5468	99.0702	103.6045	97.4110	159.9054
Aralık	25.6647	20.0048	20.4468	20.5157	25.7110
33.60 mm İnfiniteRPCM23C Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.6864	10.7509	10.6151	10.6350	14.2172
Şubat	17.2541	13.0403	13.3529	13.4561	17.5029
Mart	46.6241	31.4006	37.8328	41.2175	61.7298
Nisan	328.8336	180.2865	207.8552	222.0036	314.0270
Mayıs	1459.4228	1323.9591	1240.4855	1365.3296	1717.6873
Haziran	2662.1995	2532.2489	2381.7173	2591.0735	3100.5257
Temmuz	4546.9875	4276.9678	4069.4420	4355.5289	5082.8525
Ağustos	4986.7723	4668.8904	4492.0197	4769.1838	5429.6520
Eylül	2521.6795	2368.7634	2246.8267	2430.5304	2893.9061
Ekim	1114.8826	973.4124	923.6364	948.1210	1253.8703
Kasım	195.2533	107.2435	109.2432	102.2498	165.4541
Aralık	25.3654	19.8375	20.2838	20.3866	25.4591

11.20 mm İnfiniteRPCM25C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4404.1868	6459.9583	7575.5874	7531.4102	4316.3418
Şubat	4326.3155	6469.5520	7581.2248	7549.7202	4254.8455
Mart	3109.2636	4711.7387	5512.3837	5501.4695	3010.3338
Nisan	1184.0650	2066.7980	2412.0455	2448.4939	1215.4912
Mayıs	162.2214	418.4377	524.2488	592.0708	231.6779
Haziran	75.2273	73.4616	76.0169	76.0155	75.1622
Temmuz	86.3662	84.0920	87.3488	87.3493	86.3704
Ağustos	82.5967	80.4204	83.5362	83.5360	82.5991
Eylül	80.3294	84.3897	90.1962	101.9609	84.6213
Ekim	204.7995	543.0125	658.2724	733.8784	332.1872
Kasım	1633.3051	2721.6697	3241.1988	3230.8119	1645.3147
Aralık	3627.4922	5349.9312	6207.8173	6178.9433	3518.1116

22.40 mm İnfiniteRPCM25C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4295.2808	6375.0770	7464.6772	7417.0358	4291.1657
Şubat	4310.8984	6395.3322	7486.0275	7451.1140	4237.6705
Mart	3104.9159	4657.5808	5441.0603	5405.9798	2999.1993
Nisan	1139.5263	2029.9652	2337.8203	2322.8328	1204.9355
Mayıs	150.6941	349.7174	400.6751	509.2449	199.4513
Haziran	74.9136	72.9818	75.7013	75.6935	74.8421
Temmuz	86.0002	83.7318	86.9805	86.9815	86.0041
Ağustos	82.2472	80.0766	83.1845	83.1856	82.2497
Eylül	79.6332	78.1162	80.7300	88.9214	81.2530
Ekim	148.3313	413.6909	496.1636	614.4008	286.4468
Kasım	1524.4000	2642.1469	3133.3802	3152.4770	1616.8852
Aralık	3611.6230	5290.9852	6141.6011	6105.7432	3503.3159

33.60 mm İnfiniteRPCM25C Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4229.6335	6292.8568	7348.6643	7299.7454	4266.0642
Şubat	4293.7113	6322.2010	7382.8609	7355.1500	4219.1760
Mart	3100.6083	4605.9265	5371.9624	5326.9876	2989.2138
Nisan	1121.8753	2009.7193	2313.4351	2242.7294	1202.4759
Mayıs	152.3377	315.5421	333.3666	458.5499	187.7133
Haziran	74.6224	72.6269	75.3938	75.3733	74.5292
Temmuz	85.6351	83.3726	86.6130	86.6142	85.6391
Ağustos	81.8984	79.7335	82.8333	82.8346	81.9009
Eylül	79.1588	77.3800	79.9971	82.6687	80.6109
Ekim	129.2053	320.3924	367.5449	518.4769	245.3780
Kasım	1378.1618	2563.6286	3036.0340	3064.4487	1584.8765
Aralık	3592.8117	5232.2299	6065.9151	6026.2239	3487.4559

11.20 mm İnfiniteRPCM25C Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.4966	10.7565	10.6579	10.6698	14.3952
Şubat	17.7748	13.2920	13.5993	13.6434	17.9357
Mart	51.4683	32.9886	43.3257	43.4713	65.8356
Nisan	280.1841	154.5487	203.1420	186.7525	314.3010
Mayıs	1784.0568	1409.3580	1484.5482	1380.3152	1734.7830
Haziran	3195.1036	3033.8786	3009.8239	3140.5533	3358.0941
Temmuz	5199.7832	5014.0317	4958.2115	5160.5479	5449.2589
Ağustos	5558.7030	5382.2346	5358.1116	5555.7408	5783.1840
Eylül	3030.2467	2831.8144	2829.7164	2878.3908	3137.7119
Ekim	1328.6606	865.2978	977.1540	859.3406	1172.1867
Kasım	159.6531	85.4692	96.2044	92.8949	145.4629
Aralık	25.9437	20.1788	20.6048	20.6380	25.9705

22.40 mm İnfiniteRPCM25C Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.4881	10.7317	10.6491	10.5552	14.2840
Şubat	17.4992	13.1642	13.4698	13.5239	17.7170
Mart	48.1362	31.2245	38.6264	44.3887	62.5382
Nisan	270.7046	146.7316	198.2683	211.7761	304.3598
Mayıs	1810.6171	1531.2332	1590.5375	1507.2916	1799.8173
Haziran	3184.3497	3044.9430	3017.9839	3129.8591	3354.3685
Temmuz	5167.7718	4993.8974	4941.3093	5104.0675	5430.6775
Ağustos	5522.1993	5346.8805	5327.4687	5473.1012	5757.9388
Eylül	3030.2837	2900.5707	2883.4582	2925.6169	3166.6209
Ekim	1434.8725	987.0844	1070.4500	955.1353	1227.8316
Kasım	187.5091	89.1176	100.2215	95.9473	149.9439
Aralık	25.6393	20.0047	20.4429	20.5116	25.7110

33.60 mm İnfiniteRPCM25C Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.4346	10.7109	10.6389	10.5646	14.1309
Şubat	17.2372	13.0401	13.3473	13.4146	17.5026
Mart	45.4936	29.7749	34.5893	41.8017	59.6150
Nisan	253.0274	139.0630	180.9897	218.9631	287.6364
Mayıs	1807.1771	1608.7300	1660.2310	1557.9243	1842.2380
Haziran	3173.6194	3058.2415	3029.2626	3130.9502	3352.6370
Temmuz	5146.3432	4981.3010	4936.1659	5091.9562	5413.8789
Ağustos	5497.5034	5328.8350	5316.8574	5453.9851	5738.0720
Eylül	3027.6425	2913.9102	2898.7320	2959.2211	3171.3836
Ekim	1477.9036	1078.5105	1137.1245	1013.1536	1284.8411
Kasım	217.6644	99.6323	109.3184	97.0548	157.5426
Aralık	25.3495	19.8375	20.2800	20.3853	25.4592

11.20 mm BioPCMM27/Q21 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4339.3463	6176.4037	7063.1027	7085.1467	4251.7335
Şubat	4249.0683	6162.6010	7045.4015	7065.6506	4181.7340
Mart	3049.0451	4486.9208	5133.1902	5157.5867	2960.9468
Nisan	1226.3175	1991.9119	2356.3938	2371.5874	1229.0557
Mayıs	230.1597	462.3343	610.3826	619.3936	259.6911
Haziran	75.3340	74.0890	77.4992	78.1083	75.1970
Temmuz	86.3668	84.0890	87.5661	87.7020	86.3647
Ağustos	82.5865	80.4023	83.5200	83.5199	82.5803
Eylül	86.7248	98.5794	118.1583	120.5815	93.3617
Ekim	327.7905	592.5159	766.8331	775.2593	372.7226
Kasım	1661.5676	2607.5257	3033.9578	3050.7987	1629.7603
Aralık	3564.5564	5110.6237	5763.0869	5794.6951	3458.8015

22.40 mm BioPCMM27/Q21 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4256.6325	5867.5329	6583.1454	6619.7232	4170.3464
Şubat	4166.9504	5843.9319	6555.4355	6588.6628	4099.4929
Mart	2987.7846	4247.5280	4763.8173	4803.8917	2898.9639
Nisan	1188.7374	1862.4202	2155.0748	2175.1958	1194.3758
Mayıs	215.0223	414.6112	526.9466	535.7418	248.7559
Haziran	75.1092	74.1183	76.8422	76.6101	74.8933
Temmuz	86.0007	83.7286	86.9814	87.0033	85.9982
Ağustos	82.2369	80.0583	83.1671	83.1675	82.2303
Eylül	84.9518	93.5449	106.6341	110.2422	90.7697
Ekim	302.3852	539.5362	675.0682	682.6576	359.4929
Kasım	1618.3985	2452.5637	2793.7144	2820.5183	1589.5974
Aralık	3498.1818	4861.3763	5374.9827	5427.5473	3393.2873

33.60 mm BioPCMM27/Q21 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4181.2892	5605.9916	6196.0214	6241.4868	4094.7287
Şubat	4091.2733	5573.5917	6160.4711	6201.3835	4024.0025
Mart	2931.3195	4044.2965	4465.4270	4515.6714	2842.0362
Nisan	1155.6986	1753.2519	1995.3819	2017.4628	1163.0819
Mayıs	203.0203	376.3439	464.6463	473.6432	238.2179
Haziran	74.8480	74.1253	76.9374	76.2575	74.6100
Temmuz	85.6357	83.3690	86.6129	86.6130	85.6326
Ağustos	81.8882	79.7154	82.8151	82.8163	81.8813
Eylül	83.8103	89.7877	99.1574	102.8730	88.3457
Ekim	281.8891	495.3973	607.3743	612.7244	347.2802
Kasım	1578.9881	2320.9588	2600.2282	2632.0566	1552.9787
Aralık	3436.7770	4649.7532	5062.7696	5127.4814	3333.2649

11.20 mm BioPCMM27/Q21 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.7011	11.0722	11.0903	11.1034	14.5432
Şubat	18.0605	13.7156	14.2019	14.1857	18.1558
Mart	52.8119	34.7023	39.9560	40.8695	65.4647
Nisan	244.0387	145.4645	155.7848	161.5455	293.5255
Mayıs	1503.8721	1182.6062	1179.5257	1190.8919	1571.4005
Haziran	3265.8271	3011.1164	3056.7236	3049.5522	3305.2369
Temmuz	5625.2085	5417.3493	5548.1479	5544.8245	5614.2184
Ağustos	6008.7020	5857.4155	6021.5000	6020.7555	5996.3759
Eylül	2992.5707	2677.0347	2705.0496	2704.1831	3013.2111
Ekim	978.7814	696.0104	712.8650	725.8899	1047.6744
Kasım	124.4894	81.4142	92.2609	94.6148	141.4224
Aralık	26.2616	20.7404	21.3982	21.3710	26.2266

22.40 mm BioPCMM27/Q21 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.7419	11.3191	11.4537	11.4750	14.5289
Şubat	18.0467	13.9589	14.5910	14.5579	18.1474
Mart	52.3440	35.4641	39.4724	39.7448	65.6115
Nisan	241.5865	151.9294	156.3973	160.1815	296.1722
Mayıs	1500.4247	1209.2221	1199.0365	1207.0316	1577.0691
Haziran	3255.5175	3023.7897	3071.0651	3070.9617	3301.6596
Temmuz	5612.6728	5418.5836	5535.9616	5533.8269	5600.8098
Ağustos	5992.0338	5848.6970	5995.3657	5999.1029	5978.9889
Eylül	2994.9593	2706.8981	2728.3137	2730.0523	3015.3128
Ekim	983.1815	719.9194	717.1054	727.2150	1052.1714
Kasım	125.1335	82.5494	88.2747	90.8459	141.4722
Aralık	26.2498	21.0565	21.9004	21.8537	26.2147

33.60 mm BioPCMM27/Q21 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.7347	11.5858	11.7631	11.7922	14.5498
Şubat	18.0232	14.1632	14.9153	14.8668	18.1294
Mart	52.1110	36.3591	40.2978	39.7571	65.8480
Nisan	240.9146	158.3522	162.4870	164.2636	298.6686
Mayıs	1494.8119	1230.2243	1224.5070	1234.1447	1578.8467
Haziran	3246.0595	3031.8773	3078.7556	3084.4786	3294.3222
Temmuz	5599.6678	5418.0328	5527.2531	5528.2169	5587.3850
Ağustos	5975.1038	5839.7282	5974.9682	5983.4680	5961.6939
Eylül	2996.6539	2734.7846	2752.5258	2755.1373	3016.5975
Ekim	995.3588	742.5768	735.7487	744.1639	1057.9764
Kasım	126.4851	84.7976	87.6997	89.8021	142.2619
Aralık	26.2268	21.3200	22.2985	22.2440	26.1937

11.20 mm BioPCMM27/Q23 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4339.4872	6176.4651	7063.1351	7085.1903	4251.8100
Şubat	4249.2028	6162.6046	7045.4073	7065.5266	4181.6925
Mart	3049.3862	4487.1974	5134.0879	5157.5911	2961.0547
Nisan	1228.5689	1992.8662	2360.5458	2372.4729	1229.6224
Mayıs	231.1047	463.4359	615.7452	620.9551	260.1241
Haziran	75.3327	73.9486	77.6489	78.3633	75.2064
Temmuz	86.3663	84.0888	87.6234	87.7134	86.3671
Ağustos	82.5867	80.4024	83.5198	83.5198	82.5805
Eylül	86.0605	99.0204	119.7876	121.2299	93.5946
Ekim	331.8652	593.9915	771.7074	776.2066	373.3160
Kasım	1663.0907	2607.8519	3034.7333	3051.0317	1629.9142
Aralık	3564.5679	5110.6422	5763.0078	5794.5860	3458.7919

22.40 mm BioPCMM27/Q23 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4256.8596	5867.6420	6583.1836	6619.8790	4170.4502
Şubat	4167.0512	5843.9168	6555.3950	6588.5061	4099.3690
Mart	2988.0353	4247.8684	4765.4356	4804.1001	2899.0999
Nisan	1191.4261	1863.6223	2160.9634	2177.1670	1195.0487
Mayıs	216.4890	415.9837	533.5382	538.4045	249.4031
Haziran	75.0635	73.8500	76.6666	76.6389	74.8751
Temmuz	86.0003	83.7281	86.9804	87.0237	85.9981
Ağustos	82.2373	80.0586	83.1670	83.1675	82.2307
Eylül	84.0538	93.9520	108.9847	111.2074	91.1979
Ekim	309.4969	542.0041	681.3503	684.9085	360.5628
Kasım	1620.7359	2453.1308	2795.0788	2821.1783	1589.8353
Aralık	3498.2008	4861.4084	5374.8705	5427.4047	3393.2606

33.60 mm BioPCMM27/Q23 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4181.5600	5606.1498	6196.0920	6241.6967	4094.8580
Şubat	4091.3823	5573.5695	6160.3823	6201.1833	4023.7983
Mart	2931.5828	4044.6228	4467.2857	4516.0540	2842.1625
Nisan	1158.3740	1754.4293	2002.3443	2019.7714	1163.7857
Mayıs	204.8107	377.4574	470.7145	476.5129	239.3034
Haziran	74.7446	73.7138	76.3748	76.1474	74.5732
Temmuz	85.6354	83.3686	86.6115	86.6123	85.6325
Ağustos	81.8888	79.7158	82.8153	82.8163	81.8820
Eylül	82.8117	89.6683	100.7626	104.0908	88.8143
Ekim	290.6005	499.2389	614.9094	615.5991	348.8680
Kasım	1581.8919	2321.7108	2602.2879	2632.8874	1553.2766
Aralık	3436.7995	4649.7979	5062.6428	5127.3271	3333.2265

11.20 mm BioPCMM27/Q23 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.7000	11.0719	11.0898	11.1032	14.5429
Şubat	18.0612	13.7158	14.2046	14.1863	18.1569
Mart	53.4465	34.8903	40.7581	41.0874	65.6335
Nisan	247.8749	146.0468	159.8670	162.6303	294.1436
Mayıs	1504.2873	1181.9453	1183.6946	1191.5607	1571.1343
Haziran	3261.8517	3014.5218	3052.2048	3046.4307	3306.0483
Temmuz	5624.7382	5416.7756	5545.5716	5545.8477	5615.0881
Ağustos	6008.8957	5858.4494	6020.6024	6022.2024	5997.7821
Eylül	2993.2961	2680.4977	2703.4609	2702.7544	3015.0115
Ekim	983.0298	696.9931	717.4405	727.2010	1048.1516
Kasım	125.1143	81.6354	93.0726	94.8044	141.5484
Aralık	26.2633	20.7406	21.3997	21.3712	26.2268

22.40 mm BioPCMM27/Q23 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.74015135	11.3185	11.4529	11.4745	14.5283
Şubat	18.04773209	13.9594	14.5959	14.5590	18.1496
Mart	53.0596995	35.6529	40.8386	40.1845	65.8103
Nisan	247.0326552	152.4212	162.6056	162.0911	296.7734
Mayıs	1501.921957	1206.7133	1202.4914	1207.8007	1576.6368
Haziran	3246.179773	3030.1193	3065.9480	3070.9935	3305.2193
Temmuz	5611.877767	5417.7993	5533.2784	5535.9738	5601.3106
Ağustos	5992.374327	5850.5631	5995.8420	6002.1956	5981.1857
Eylül	2997.95607	2711.6302	2727.1442	2731.6502	3018.9161
Ekim	989.2886184	721.9476	724.8053	729.4881	1052.8347
Kasım	125.77157	82.8636	89.7451	91.2527	141.6455
Aralık	26.251703	21.0568	21.9048	21.8542	26.2149

33.60 mm BioPCMM27/Q23 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.7322	11.5838	11.7617	11.7912	14.5484
Şubat	18.0242	14.1641	14.9221	14.8683	18.1341
Mart	52.8338	36.5221	41.7235	40.2882	66.0299
Nisan	247.0321	158.9213	168.9823	166.2304	299.1737
Mayıs	1499.0766	1226.6566	1223.3612	1233.4496	1577.7693
Haziran	3232.5795	3039.9305	3074.7620	3088.7371	3299.6007
Temmuz	5598.5914	5417.7819	5525.3377	5531.1192	5587.6811
Ağustos	5975.6145	5842.1843	5976.3889	5987.8234	5964.1417
Eylül	3002.1141	2740.2872	2751.7340	2759.9320	3020.7703
Ekim	1001.7580	746.1014	746.5281	746.7871	1059.2841
Kasım	126.8317	85.0423	89.9128	90.3126	142.4660
Aralık	26.2290	21.3204	22.3064	22.2446	26.1939

11.20 mm BioPCMM27/Q25 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4339.6720	6176.5580	7063.1647	7085.5910	4251.9565
Şubat	4249.3133	6162.5821	7045.5510	7065.5407	4181.6531
Mart	3050.0220	4487.6357	5136.5617	5158.0663	2961.3507
Nisan	1233.2474	1994.7799	2371.8823	2375.9715	1231.2767
Mayıs	238.1177	467.3771	633.2867	626.9612	261.7943
Haziran	75.2961	73.9279	80.3459	79.6208	75.2499
Temmuz	86.3683	84.0947	87.8630	87.7747	86.4268
Ağustos	82.5899	80.4035	83.5656	83.5466	82.5809
Eylül	87.8363	100.3954	124.9856	123.0889	94.2390
Ekim	344.1220	598.0391	787.6370	780.4920	375.1628
Kasım	1665.5576	2608.7147	3037.0547	3052.0777	1630.4567
Aralık	3564.5818	5110.6727	5762.8798	5794.4750	3458.7787
22.40 mm BioPCMM27/Q25 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4257.2220	5867.8169	6583.2727	6620.6890	4170.5016
Şubat	4167.2182	5843.8847	6555.4616	6588.5692	4099.1981
Mart	2988.7674	4248.4430	4768.9923	4805.2726	2899.4528
Nisan	1197.3462	1865.9877	2176.4804	2183.4746	1197.1715
Mayıs	226.6323	422.4757	559.4987	548.5466	251.7777
Haziran	74.9808	73.4113	78.3653	77.4967	74.9050
Temmuz	86.0043	83.7291	87.2993	87.2060	86.0041
Ağustos	82.2419	80.0617	83.1690	83.1673	82.2333
Eylül	85.3796	96.2767	116.9166	114.0322	92.5937
Ekim	331.3619	548.0057	706.2387	693.1016	363.3439
Kasım	1624.3779	2454.4936	2798.9414	2823.1660	1590.6926
Aralık	3498.2283	4861.4615	5374.6893	5427.2581	3393.2195
33.60 mm BioPCMM27/Q25 Isıtma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	4181.8925	5606.6191	6196.2815	6242.8361	4095.1107
Şubat	4091.5903	5573.5322	6160.3534	6201.2399	4023.4890
Mart	2932.2622	4045.2132	4471.3059	4517.5003	2842.5003
Nisan	1164.5749	1756.7433	2018.5744	2026.8996	1165.8432
Mayıs	216.8306	386.1371	501.0183	487.9784	242.7830
Haziran	74.6647	72.9811	77.0030	76.4110	74.5694
Temmuz	85.6410	83.3703	86.6321	86.6371	85.6347
Ağustos	81.8938	79.7202	82.8193	82.8171	81.8861
Eylül	83.6382	92.7100	110.4733	107.7245	90.9164
Ekim	319.7706	507.2921	642.4569	625.6568	352.7609
Kasım	1586.2021	2323.2994	2607.0582	2635.6914	1554.2573
Aralık	3436.8430	4649.8450	5062.3227	5127.1829	3333.1655

11.20 mm BioPCMM27/Q25 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.6948	11.0702	11.0871	11.1011	14.5412
Şubat	18.0626	13.7163	14.2078	14.1873	18.1748
Mart	54.6465	35.3007	43.6961	42.1082	66.2541
Nisan	254.2667	147.0715	173.9966	167.3414	296.2581
Mayıs	1508.1183	1181.5143	1202.8210	1199.4809	1572.5208
Haziran	3279.0580	3022.8306	3035.9459	3039.4030	3305.4904
Temmuz	5625.2451	5430.8359	5548.4938	5552.3766	5624.8439
Ağustos	6017.3574	5874.9884	6026.4486	6024.5552	6008.0588
Eylül	3007.0822	2689.4758	2694.7755	2695.2213	3015.5577
Ekim	994.7118	698.5202	743.7638	736.3390	1051.7154
Kasım	127.1582	82.4837	96.7630	96.1130	142.2628
Aralık	26.2651	20.7408	21.4014	21.3715	26.2269

22.40 mm BioPCMM27/Q25 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.72697539	11.3152	11.4484	11.4710	14.5674
Şubat	18.0498085	13.9604	14.6018	14.5610	18.1729
Mart	54.55834962	36.1154	44.6909	41.8422	66.4871
Nisan	255.9498821	153.1984	180.8083	168.9627	298.8583
Mayıs	1509.742731	1209.8817	1229.0888	1216.0621	1578.9347
Haziran	3272.088709	3053.3524	3072.3897	3065.1757	3309.6909
Temmuz	5610.374083	5433.5298	5544.4598	5561.6862	5612.2901
Ağustos	6004.153083	5874.4426	6018.0337	6022.7118	5993.6764
Eylül	3023.277919	2729.7425	2738.3637	2729.9171	3024.0970
Ekim	1002.825774	721.9980	760.2252	741.3782	1057.0117
Kasım	127.7652257	84.0208	96.1937	93.4878	142.7558
Aralık	26.2544171	21.0573	21.9086	21.8548	26.2152

33.60 mm BioPCMM27/Q25 Soğutma Enerjisi (kWh)					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5
Ocak	14.7500	11.5266	11.7541	11.7416	14.5434
Şubat	18.0267	14.1655	14.9307	14.8710	18.1599
Mart	54.4340	36.9702	45.7484	42.0437	66.6870
Nisan	257.5118	159.4332	187.9587	172.7530	301.1013
Mayıs	1514.2556	1235.1440	1258.0420	1240.7719	1584.9798
Haziran	3255.5646	3074.4644	3108.8116	3098.0894	3312.3260
Temmuz	5596.3037	5430.3306	5537.9149	5563.7971	5597.4517
Ağustos	5989.4049	5867.9597	6009.3670	6019.0488	5977.8101
Eylül	3039.7782	2761.7979	2780.0874	2770.5701	3029.3987
Ekim	1011.1576	745.1354	782.5797	757.4996	1062.3388
Kasım	128.4274	85.9052	97.7646	93.0059	143.6528
Aralık	26.2321	21.3213	22.3141	22.2455	26.1942

Ek 2. Tezde kullanılan İzmir lokasyonlu FDM’lerin ısıtma ve soğutma Enerjisi (kWh)

İstma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	11.20 mm	İnfiniteRPCM23C		BioPCMM27/Q23	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4094.3467	4715.4256	3919.0348	4477.7029
	Şubat	3705.9038	4347.9540	3531.2182	4080.3149
	Mart	2482.5783	2787.8775	2397.2881	2794.8534
	Nisan	950.4436	1101.9339	1080.5536	1369.5198
	Mayıs	150.7328	168.2938	164.7766	196.0443
	Haziran	73.4032	76.9651	73.3568	77.4743
	Temmuz	84.0724	87.3518	84.1342	88.4181
	Ağustos	80.4696	83.5902	80.4039	83.5213
	Eylül	80.5176	85.1043	80.9493	87.6079
	Ekim	243.7458	254.1859	395.9871	552.6404
	Kasım	2257.0499	2597.0070	2289.7752	2698.0138
	Aralık	3781.6034	4450.1708	3604.2591	4157.4416
	22.40 mm	İnfiniteRPCM23C		BioPCMM27/Q23	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	3951.3519	4583.2612	3703.7406	4150.9899
	Şubat	3602.8418	4230.6502	3328.9714	3762.3292
	Mart	2428.8793	2702.6181	2253.4622	2575.0283
Nisan	766.0112	807.0113	989.4302	1231.7084	
Mayıs	149.5950	163.2393	156.8595	176.3868	
Haziran	73.0420	76.4364	72.8745	76.2128	
Temmuz	83.7520	87.0061	83.6924	87.2947	
Ağustos	80.1322	83.2428	80.0594	83.1688	
Eylül	80.0205	84.3539	79.6713	84.9522	
Ekim	201.9589	212.8699	359.1338	479.8958	
Kasım	2126.1718	2379.4799	2143.5657	2479.3815	
Aralık	3697.1284	4347.5587	3404.5721	3848.0821	
33.60 mm	İnfiniteRPCM23C		BioPCMM27/Q23		
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3	
Ocak	3883.8762	4548.0137	3520.0632	3885.9868	
Şubat	3551.6725	4139.2382	3157.1607	3507.4898	
Mart	2376.9576	2646.1592	2130.7458	2396.3724	
Nisan	558.4670	540.5796	913.7358	1120.2065	
Mayıs	132.5669	144.5264	151.1258	165.6994	
Haziran	72.6975	76.0013	72.5319	75.4882	
Temmuz	83.4166	86.6607	83.3330	86.5764	
Ağustos	79.7903	82.8928	79.7159	82.8170	
Eylül	79.5815	83.7285	78.5738	83.0675	
Ekim	185.7080	198.0566	329.8702	424.7198	
Kasım	1977.7416	2169.4352	2019.1570	2302.1883	
Aralık	3632.5105	4235.8324	3235.4413	3597.2257	

Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	11.20 mm	İnfiniteRPCM25C		BioPCMM27/Q25	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4120.2564	4828.6144	3919.1029	4477.7465
	Şubat	3721.1485	4405.0617	3531.3709	4080.9084
	Mart	2524.0196	2959.3910	2397.8956	2801.2547
	Nisan	1076.9182	1304.3628	1082.9365	1387.7177
	Mayıs	149.9702	159.5940	165.6544	211.8986
	Haziran	73.1449	75.9772	73.4509	79.0682
	Temmuz	84.0677	87.3269	84.2902	89.3789
	Ağustos	80.4182	83.5334	80.4032	83.5205
	Eylül	77.5608	80.3582	81.2684	89.3974
	Ekim	310.3282	370.2566	400.5305	579.2297
	Kasım	2359.5194	2810.3403	2291.1575	2702.9662
	Aralık	3784.0521	4493.2472	3604.3222	4157.6933
	22.40 mm	İnfiniteRPCM25C		BioPCMM27/Q25	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4067.8537	4738.7500	3703.8769	4151.3032
	Şubat	3679.0537	4336.3957	3329.1789	3763.4361
	Mart	2489.4616	2913.2085	2254.1890	2581.5326
	Nisan	969.4085	1141.2780	992.6230	1250.0504
	Mayıs	149.7704	156.8441	156.7834	190.9417
	Haziran	72.8315	75.6567	73.0301	77.2042
	Temmuz	83.7115	86.9606	83.7997	87.8392
	Ağustos	80.0752	83.1825	80.0592	83.1670
	Eylül	77.0907	79.9240	80.4077	86.9738
	Ekim	241.4483	251.2126	367.0937	510.5153
	Kasım	2275.8061	2697.0790	2146.1537	2486.2536
	Aralık	3727.3930	4424.2608	3404.6908	3848.3650
	33.60 mm	İnfiniteRPCM25C		BioPCMM27/Q25	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4017.4074	4670.1388	3520.0731	3886.6036
	Şubat	3637.4725	4228.6736	3157.3996	3508.8643
	Mart	2458.1724	2907.8365	2131.4192	2403.4891
	Nisan	884.1718	1029.5965	916.6950	1139.0387
	Mayıs	150.8433	156.8094	149.0096	175.6230
	Haziran	72.5190	75.3369	72.5637	76.1063
	Temmuz	83.3533	86.5940	83.3303	87.0309
	Ağustos	79.7325	82.8319	79.7150	82.8144
	Eylül	76.7329	79.5568	78.7478	84.8993
	Ekim	186.3575	193.0341	337.7397	458.5091
	Kasım	2164.9266	2603.4633	2021.6466	2310.5936
	Aralık	3673.4212	4349.9494	3235.6097	3597.5305

İstima Enerjisi İhtiyacı (kWh)	11.20 mm	İnfiniteRPCM29C		BioPCMM27/Q29	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4120.3695	4846.6553	3919.0789	4478.3734
	Şubat	3725.8107	4427.6854	3531.3559	4081.6640
	Mart	2527.1314	3032.9650	2397.7968	2802.5316
	Nisan	1153.0317	1505.6037	1082.7350	1389.4203
	Mayıs	174.5889	215.1747	165.9510	215.7875
	Haziran	73.2302	76.7414	73.5339	79.6475
	Temmuz	84.0492	87.8477	84.3940	89.8869
	Ağustos	80.3948	83.5117	80.4037	83.5206
	Eylül	78.6793	83.4013	81.4487	90.0212
	Ekim	406.5796	559.9227	401.3224	583.9777
	Kasım	2416.1701	2916.9072	2291.1881	2704.6095
	Aralık	3784.0788	4493.9148	3604.2356	4158.1291
	22.40 mm	İnfiniteRPCM29C		BioPCMM27/Q29	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4067.9288	4787.5885	3703.8153	4152.4423
	Şubat	3680.8453	4362.6579	3329.0865	3764.5681
	Mart	2490.9506	2979.9414	2253.9636	2582.9767
	Nisan	1117.1237	1453.6908	991.7784	1251.6743
	Mayıs	173.6376	206.8060	156.7829	195.0514
	Haziran	72.8623	75.9910	73.0228	77.9048
	Temmuz	83.6888	86.9391	83.7917	88.3004
	Ağustos	80.0501	83.1592	80.0592	83.1680
	Eylül	77.0607	80.7944	80.3795	87.7416
	Ekim	366.8123	488.7457	366.5054	516.3527
	Kasım	2371.0535	2871.9099	2145.5260	2488.1161
	Aralık	3727.4129	4424.4839	3404.5026	3849.1463
	33.60 mm	İnfiniteRPCM29C		BioPCMM27/Q29	
		Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
	Ocak	4017.4544	4720.4991	3519.9594	3888.1660
	Şubat	3638.0122	4296.2437	3157.2966	3510.2793
	Mart	2458.8641	2928.7238	2131.1493	2404.8805
	Nisan	1083.9944	1402.6569	915.8132	1140.1803
	Mayıs	173.2150	200.8995	149.3630	179.4558
	Haziran	72.5202	75.5289	72.6113	76.7478
	Temmuz	83.3294	86.5714	83.3313	87.4705
	Ağustos	79.7063	82.8074	79.7156	82.8162
	Eylül	76.0843	79.5307	79.4248	86.1149
	Ekim	314.5973	432.6759	338.8278	464.3114
	Kasım	2328.2396	2814.9290	2021.2675	2312.2724
	Aralık	3673.4352	4350.0476	3235.3122	3598.5911

11.20 mm	İnfiniteRPCM23C		BioPCMM27/Q23	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.4995	31.1361	31.4312	32.3678
Şubat	29.0862	31.2233	28.5000	31.7007
Mart	80.0946	103.1409	71.9518	78.6850
Nisan	401.1070	406.7457	288.5124	285.1565
Mayıs	2290.2334	2197.7088	2549.0063	2605.4171
Haziran	3818.5752	3782.9147	4343.9377	4516.0413
Temmuz	5348.2093	5349.3019	5531.4964	5691.6590
Ağustos	4762.5156	4383.3380	5457.5866	5659.7148
Eylül	3108.9319	2956.3107	3886.1179	3959.8834
Ekim	1044.9383	1026.2564	770.0080	768.1420
Kasım	92.8410	96.8936	72.7444	77.7391
Aralık	38.8870	39.8177	39.7742	41.0653
22.40 mm	İnfiniteRPCM23C		BioPCMM27/Q23	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.6896	31.1911	32.0212	33.2126
Şubat	28.7736	30.3158	28.9738	31.3836
Mart	78.9086	100.7932	74.7947	82.3005
Nisan	419.4663	427.8894	304.9543	301.7076
Mayıs	2275.7857	2184.7232	2572.2004	2613.5986
Haziran	3505.2698	3455.9689	4327.6157	4473.1628
Temmuz	4860.4814	4773.5927	5511.1494	5639.4574
Ağustos	4148.1563	3996.3656	5428.1497	5605.3207
Eylül	3056.0614	2917.3269	3899.6946	3953.9918
Ekim	1111.2864	1068.8357	810.5294	793.4900
Kasım	101.2679	102.5424	74.7155	77.5060
Aralık	38.6509	39.5933	40.2771	41.9311
33.60 mm	İnfiniteRPCM23C		BioPCMM27/Q23	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.5451	30.8836	32.4139	33.8921
Şubat	27.9169	29.4614	29.4626	31.9911
Mart	80.2985	95.5644	77.8395	85.1593
Nisan	446.7111	443.9575	320.5200	318.7690
Mayıs	2282.6140	2192.2594	2588.0094	2630.4903
Haziran	3388.6736	3289.8912	4313.2694	4444.4231
Temmuz	4431.3692	4373.2452	5489.6312	5600.5289
Ağustos	4106.4920	3958.5347	5401.8113	5563.0458
Eylül	3043.8723	2913.4464	3909.9695	3955.6391
Ekim	1138.3252	1093.6619	850.8985	828.7416
Kasım	107.6623	107.6279	77.0627	79.0236
Aralık	38.4028	39.4042	40.6812	42.6105

11.20 mm	İnfiniteRPCM25C		BioPCMM27/Q25	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.5970	31.0739	31.4296	32.3674
Şubat	28.0648	32.0302	28.6055	32.4324
Mart	68.8504	91.3867	72.2965	86.6399
Nisan	370.5148	461.2547	287.3563	306.5872
Mayıs	2697.6928	2772.9070	2554.0991	2606.5320
Haziran	4004.3903	3990.8967	4344.9769	4499.9266
Temmuz	4864.9112	4740.2862	5540.6361	5696.4580
Ağustos	4820.3858	4804.7919	5465.2666	5659.9204
Eylül	3636.6320	3611.5438	3912.8136	3966.6277
Ekim	1011.9156	1084.5787	768.1850	798.4200
Kasım	83.6106	90.7981	72.8537	79.5288
Aralık	38.8828	39.7560	39.7745	41.0757
22.40 mm	İnfiniteRPCM25C		BioPCMM27/Q25	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.3900	31.1672	32.0162	33.2115
Şubat	27.2733	31.6133	29.1103	32.9312
Mart	66.6794	83.8131	75.1514	90.1393
Nisan	393.1748	494.3795	300.9180	319.6046
Mayıs	2702.6743	2779.9135	2577.6888	2625.8490
Haziran	3950.0366	3944.0490	4323.9985	4463.8626
Temmuz	4697.0000	4659.0107	5550.7706	5656.9110
Ağustos	4778.5146	4766.1901	5467.6523	5609.0800
Eylül	3630.6424	3607.3787	3942.5779	3996.7313
Ekim	1136.5447	1232.1876	799.0158	824.7943
Kasım	90.5376	98.8510	74.8543	80.6161
Aralık	38.6265	39.5150	40.2777	41.9424
33.60 mm	İnfiniteRPCM25C		BioPCMM27/Q25	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.1396	30.9325	32.4553	33.8476
Şubat	26.8242	29.5863	29.5524	33.6668
Mart	65.1743	73.2916	78.1111	93.7322
Nisan	392.3377	485.7849	314.8959	332.9472
Mayıs	2692.4321	2772.1459	2594.4417	2648.0982
Haziran	3927.9990	3926.8205	4307.4062	4437.1269
Temmuz	4673.9973	4644.0993	5522.1615	5633.0247
Ağustos	4755.9608	4750.7801	5400.7752	5561.9351
Eylül	3624.1731	3607.2071	3952.4751	4017.0820
Ekim	1309.8656	1360.4824	839.1627	859.0299
Kasım	98.3353	100.6899	76.8304	82.8809
Aralık	38.3773	39.2832	40.6820	42.6299

11.20 mm	İnfiniteRPCM29C		BioPCMM27/Q29	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.5956	31.1045	31.4289	32.3639
Şubat	27.5534	30.6993	28.6252	33.4273
Mart	67.4104	75.3011	72.2554	88.0094
Nisan	271.0818	277.4435	287.0502	310.4325
Mayıs	2959.2068	3361.1398	2551.8499	2617.8851
Haziran	4752.6879	5191.5810	4347.1415	4502.0099
Temmuz	5982.3721	6414.7338	5559.1270	5709.0834
Ağustos	6107.0639	6646.2439	5483.7875	5655.9585
Eylül	4675.4000	5153.1332	3907.5916	3948.1363
Ekim	821.1282	893.4303	766.8342	810.5841
Kasım	70.7506	77.5513	72.9932	81.1001
Aralık	38.8828	39.7548	39.7735	41.0729
22.40 mm	İnfiniteRPCM29C		BioPCMM27/Q29	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.3866	30.8953	32.0149	33.2053
Şubat	27.1423	28.8265	29.0864	33.7613
Mart	65.8954	69.1828	75.0400	91.1934
Nisan	269.9756	261.5911	300.8169	322.5947
Mayıs	3007.7455	3455.5290	2577.7162	2636.9407
Haziran	4946.9543	5390.5785	4328.4464	4472.5008
Temmuz	6133.0382	6606.5365	5557.1473	5701.0469
Ağustos	6202.6871	6728.1782	5467.2637	5638.8981
Eylül	4965.6046	5389.7105	3938.2794	3979.4759
Ekim	927.4169	986.7790	799.0012	834.6417
Kasım	70.4093	72.6554	74.8170	82.2528
Aralık	38.6265	39.5144	40.2758	41.9375
33.60 mm	İnfiniteRPCM29C		BioPCMM27/Q29	
	Tip2	Tip3	Tip2	Tip3
Ocak	30.1364	30.6985	32.4533	33.8392
Şubat	26.7954	27.8441	29.5469	34.2968
Mart	64.7590	65.4445	77.9462	94.3794
Nisan	269.5501	253.8678	314.1809	335.0050
Mayıs	3020.4158	3420.1261	2598.3696	2661.9658
Haziran	5047.2137	5493.4315	4303.4487	4450.1217
Temmuz	6165.0675	6664.5769	5550.3033	5699.7714
Ağustos	6214.3593	6735.3154	5441.2074	5620.9425
Eylül	4987.3660	5444.7567	3957.3293	4016.2582
Ekim	1105.7218	1065.3290	830.9681	862.5734
Kasım	70.3181	70.7005	76.8619	84.1322
Aralık	38.3772	39.2828	40.6792	42.6234

ÖZGEÇMİŞ

Gamze İLGAR, ilk, Orta ve Lise Öğrenimini Kars'ta tamamladı. 2014 yılında Kafkas Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde öğrenim hayatına devam ederek, 2018 yılında Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek Lisans Programına başladı. 2013 Temmuz'dan beri Kafkas Üniversitesi'nde idari personel olarak çalışmaktadır.

