

**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 olduğum 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 çalıŐmayı destekleyen Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, hayatımın her anında yanımda olan, beni her zaman destekleyen yaşamımı kolaylaŐtıran kıymetli anneme, varlıklarıyla gurur duyduğum, hayatımın her döneminde yanımda olan, beni her zaman maddi ve manevi olarak destekleyen sevgili kardeşlerime en içten dileklerle 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 ısı enerjisi 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 ısı enerjisi 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 ısı depolama, DesignBuilder, Enerji verimliliği, Faz değiştiren malzemeler, FDM entegreli dış duvar.

## SUMMARY

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

Many studies have been carried out to increase energy performance in buildings, and have entered the literature. One of the 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 the simulation program "DesignBuilder". The most effective design was determined according to these scenarios. In addition, environmentally friendly approaches have been introduced to reduce carbon emission rates as a result of the reduction in energy consumption values.

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

As a result, it has been concluded that using 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 |

## TABLolar 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 değiştiren 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 makrokapsülleme biçimleri<br>(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 ışınım 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<br>kazancı.....      | 60 |
| Şekil 27. İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi<br>kazancı.....      | 62 |
| Şekil 28. İnfiniteRPCM25C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi<br>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 değiştiren malzemeler                                  |
| HDPE           | : Yüksek yoğunluklu polietilen                               |
| HVAC           | : Heating, Ventilation, Air Conditioning                     |
| kWh            | : Kilowatt saat  |
| m              | : Metre  |
| m <sup>2</sup> | : Metrekare  |
| µm             | : Mikrometre   |
| mm             | : Milimetre  |
| nm             | : Nanometre  |
| PCM            | : Phase-change material                                      |
| °C             | : Santigrat derece   |
| TED            | : Termal enerji depolama                                     |
| W              | : Watt   |
| vd.            | : Ve diğerleri   |

## 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 taşınması ve enerji mekanizmalarına güç kazandırması ön görülmektedir.

Daha iyi yalıtım, hava sızdırmazlığının ve güneş ışınımının 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 arttırmaktadır.

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 paradigmlar oluşturmakta, 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 kullanılabilen 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 / m<sup>2</sup>'lik ortalama bir ışınlama altında yaşadığı anlamına gelmektedir. İnsanın ihtiyaçlarını karşılamak için 10 m<sup>2</sup> 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 açılıklarının 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 kütesinin 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 fotovoltaik 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 hacimde 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 'ısı kütlesi' kavramı ile sık sık karşılaşmaktadır. Bina kabuğu ısı kütlesi 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).

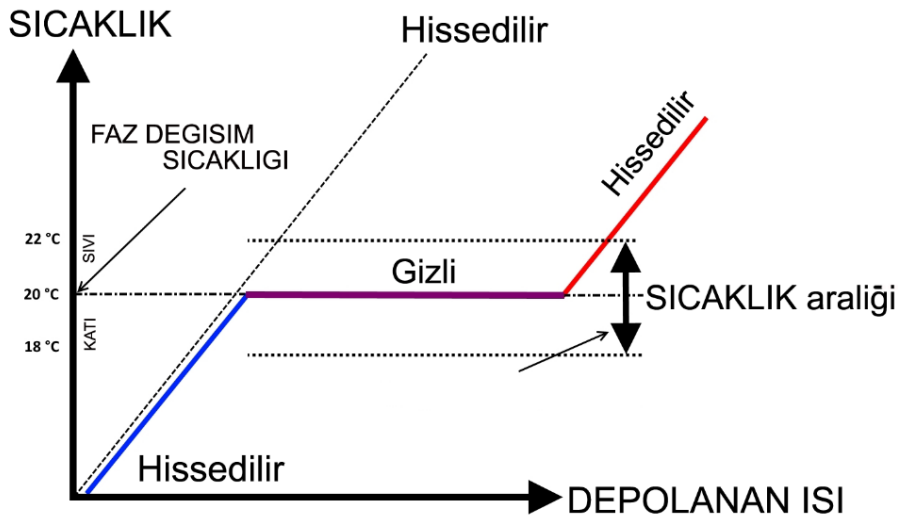
## **2.2. Faz Değiştiren malzemeleri (FDM)**

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 diğereine 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'lik 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

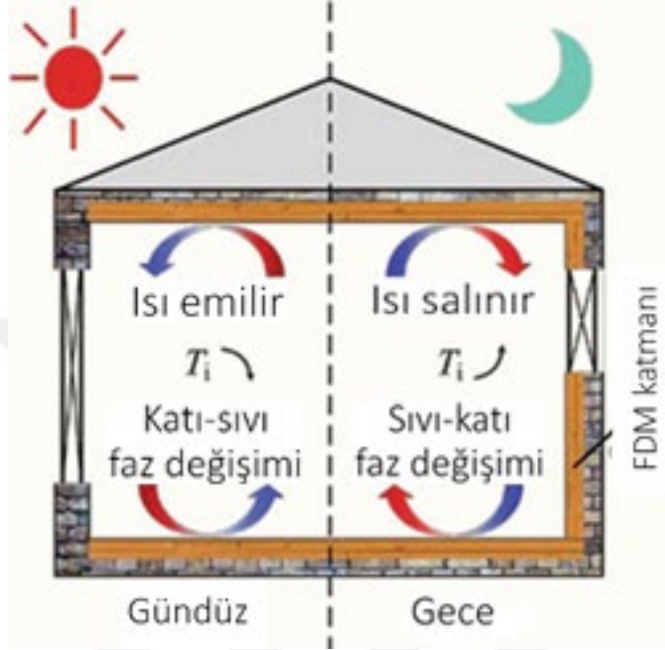
işyeri binası kuruluşlarının zarflarına FDM dahil edilerek sağlanabilir. Binaların ısıtılması ve soğutulması için FDM uygulamaları alanında umut verici birkaç gelişme vardır. FDM’i bina zarfına yerleştirmek, bina enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır ve iç mekan termal ortamını iyileştirir. Bina zarfında 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 katılaştırma 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 kullanımını 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 organiklerdir. 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 kapsülendirir. 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).

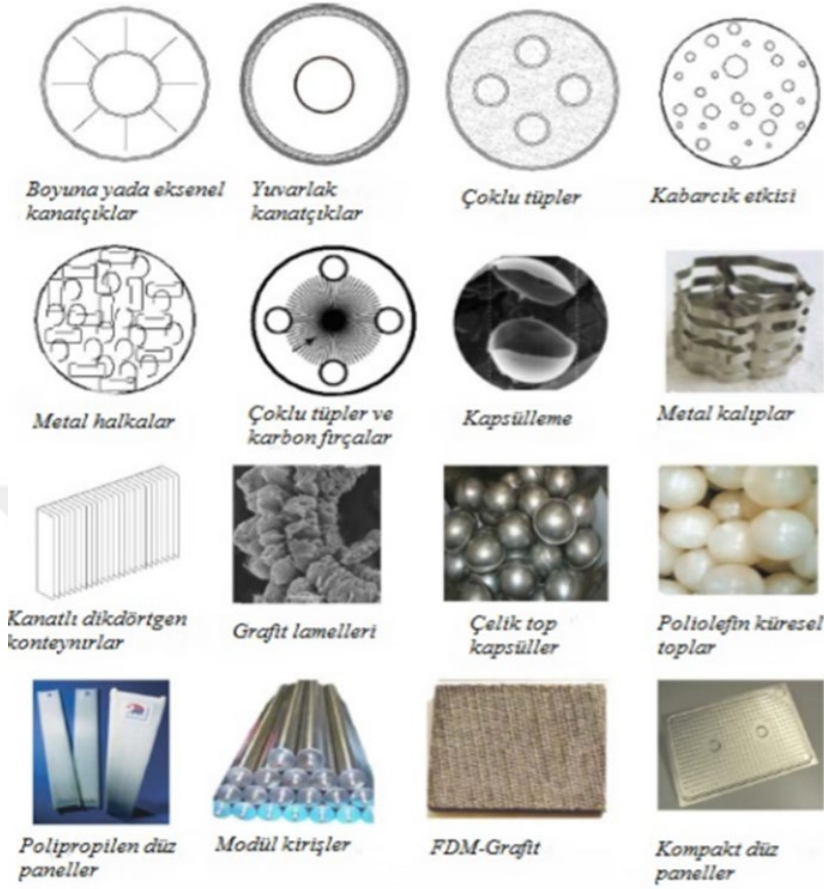


Şekil 2. Binalarda gece ve gündüz zamanlarda FDM

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 ısı 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.

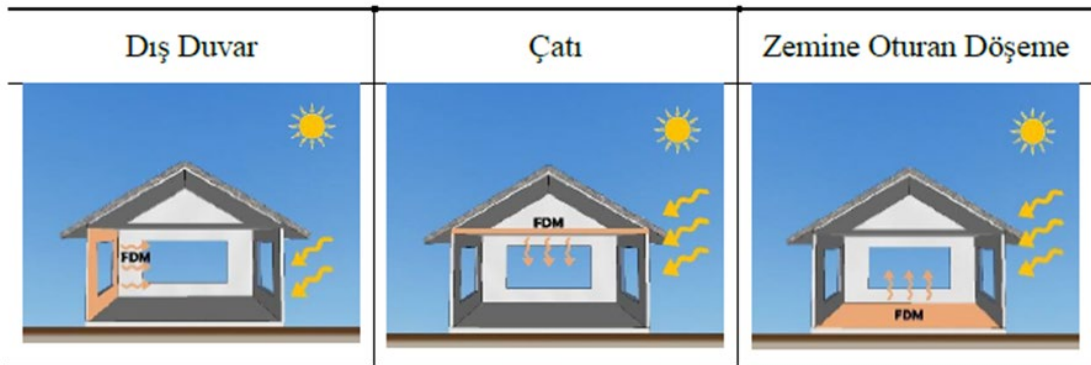
Taşıdıkları yüksek enerji yoğunluğu, doğada bol bulunması, geniş sıcaklık aralıklarına sahip olmaları ve düşük maliyetli olmaları gibi sayısız benzersiz avantajları nedeniyle, FDM'ler genellikle inşaat malzemeleri, elektronik cihazlar, lityum iyon pilleri ve su tanklarının ısı depolaması için güneş enerjisi 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).

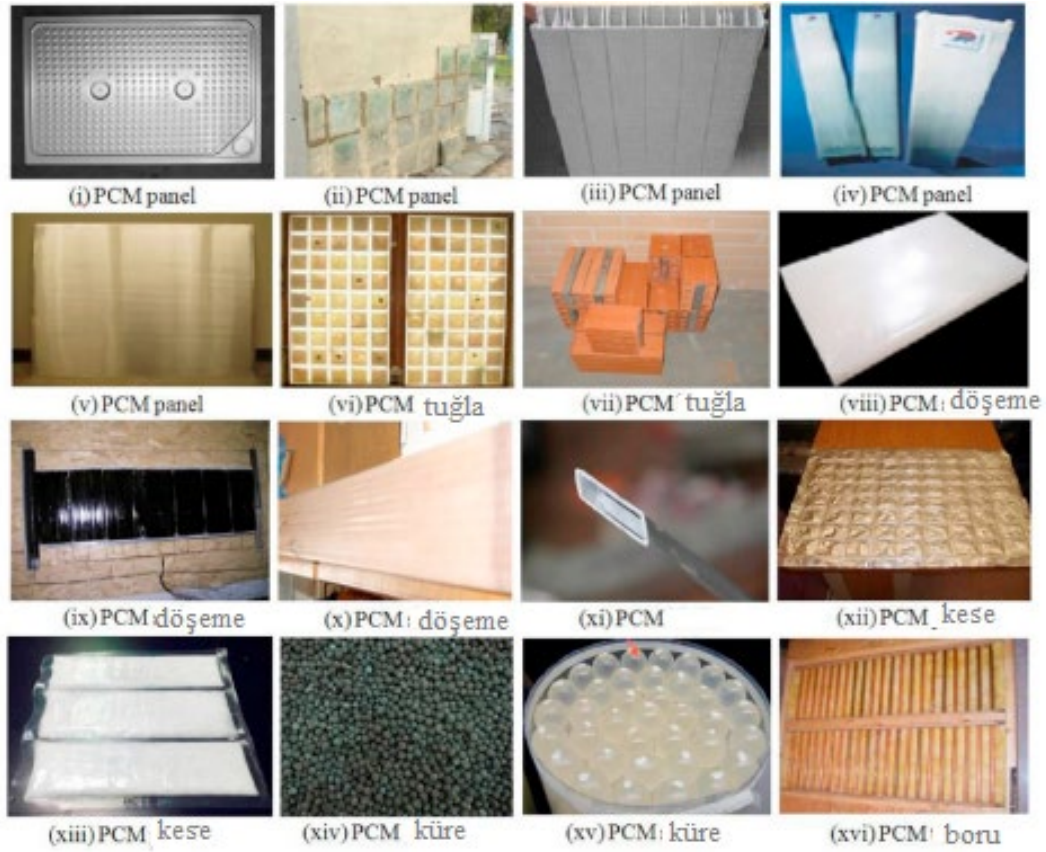
**Doğrudan birleştirme**, en basit, pratik ve ekonomik yöntemdir. Bu durumda aslında FDM doğrudan inşaat malzemesi ile karıştırılır. Doğrudan birleştirme yöntemleri; sıvı, jel veya toz FDM harç, sıva gibi yapı malzemesiyle karıştırılarak kullanılması işlemidir. Bu yöntemin ana avantajı, fazla ekipman 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 mikrokapsüllemiş olarak sıva uygulamaları tercih edilmekle beraber, makrokapsüllemiş 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 kullanılabilir (Sivanathan vd. 2020).



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

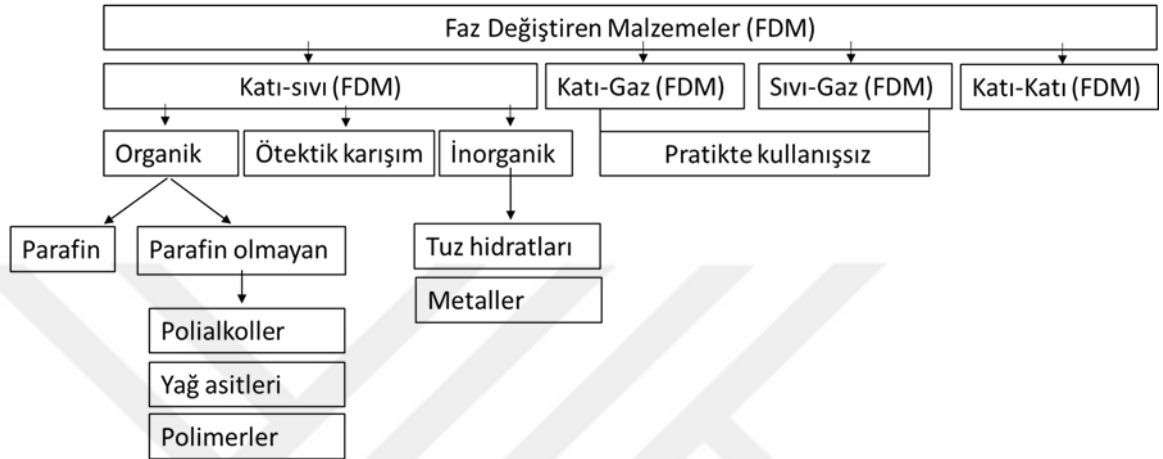
**Şekli kararlı hale getirilmiş FDM** ya harmanlama, adsorpsiyon ve empenye etme gibi fiziksel yöntemlerle ya da kimyasal yöntemlerle (graft kopolimerizasyonu ve sol-jel yöntemleri dahil) elde edilebilir (Amaral vd., 2017). Şekli kararlı hale getirilmiş FDM'leri imal etmek için kullanılan malzeme destekleri, 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 enerji 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.

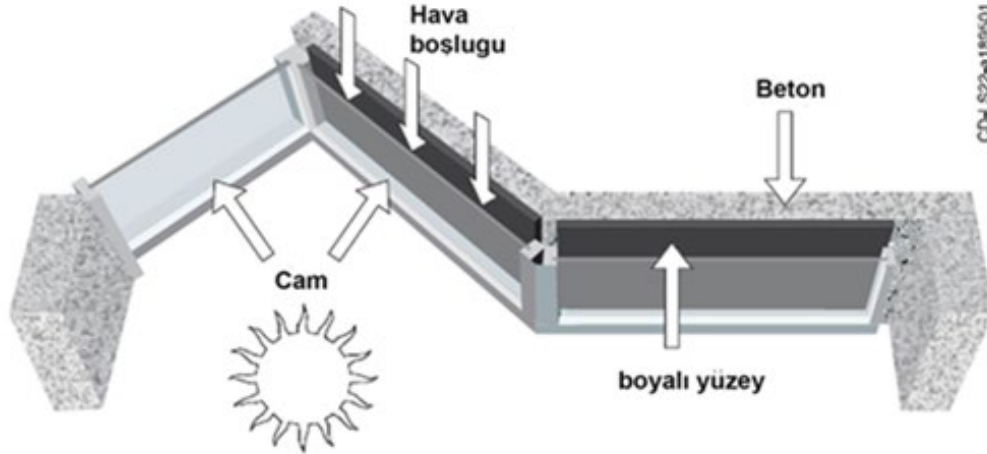
### **2.2.7. Organik FDM'in Dezavantajları**

- 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 kullanılabilirler. 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 ısının iç mekana iletilmesi 10 saate kadar sürebilir. Bu duvarın harici bir camı ve depolama işlevli bir iç kütle 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).

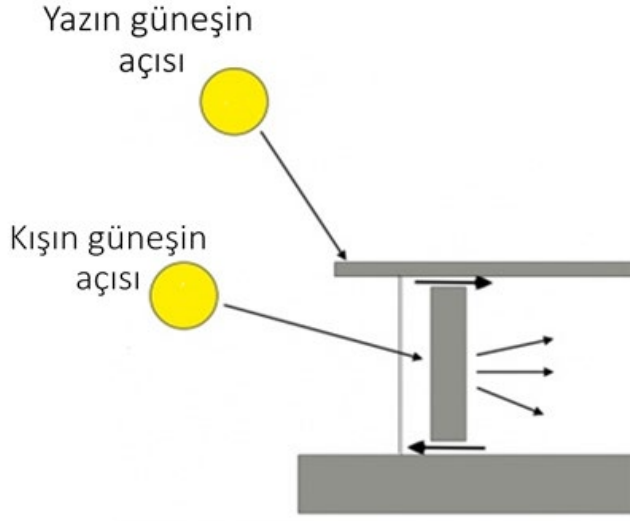


Şekil 7. Trombe duvarının şematik gösterimi (NREL, 2005).

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 ortamla 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 (Szyszka 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 dengesinin sağlanması amaçlanır. Kış aylarında gündüz vakitlerinde ara boşlukta (açık panjurlarda) hapsolmuş ısının 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, ısının gökyüzüne 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-katılma 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 ısınsının 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).

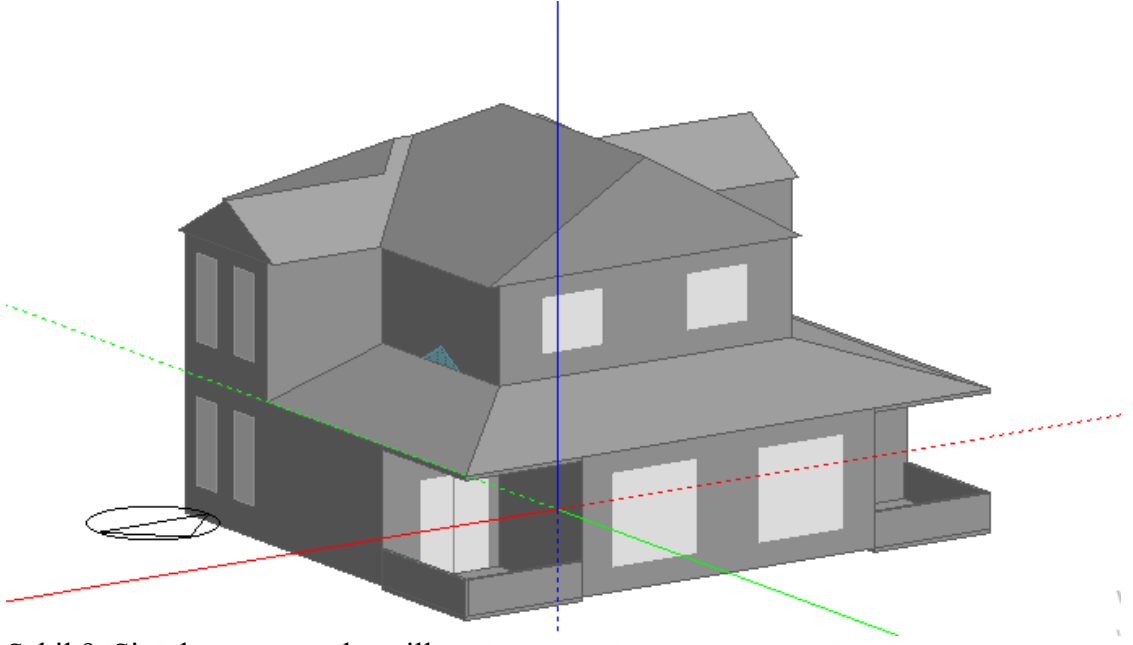
#### **4. MATERYAL VE YÖNTEM**

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 termofiziksel 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.

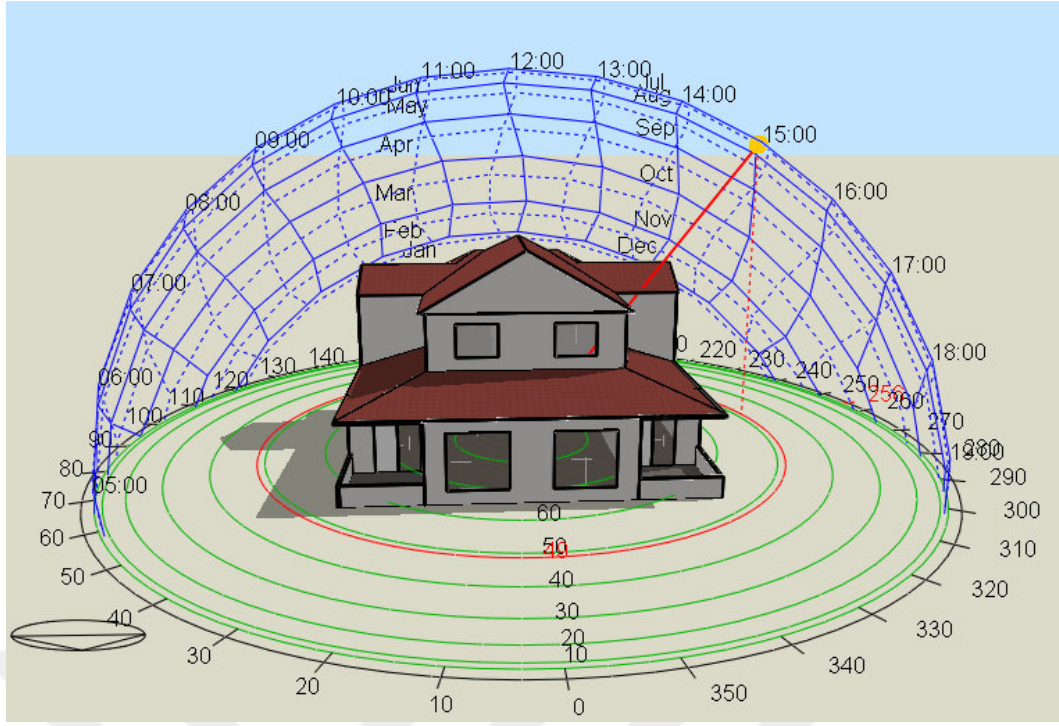


Şekil 9. Simülasyonu yapılan villa

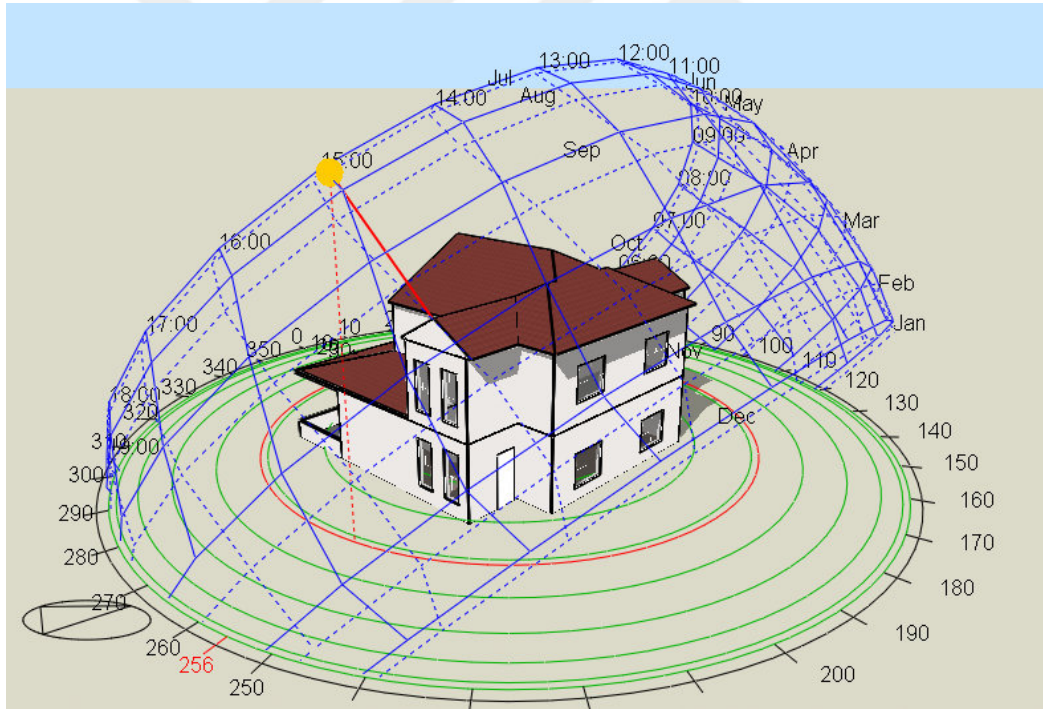
Tablo 1. Simülasyonu yapılacak villanın mimari bilgileri

|  | <b>Toplam</b> | <b>Kuzey<br/>315°-<br/>45°</b> | <b>Doğu<br/>45°-135°</b> | <b>Güney<br/>135°- 225°</b> | <b>Batı<br/>225°- 315°</b> |
|--|---------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Toplam İnşaat Alanı (m<sup>2</sup>)</b> | 505.13        | -                              | -                        | -                           | -                          |
| <b>Toplam Çatı Alanı (m<sup>2</sup>)</b>   | 262.25        | -                              | -                        | -                           | -                          |
| <b>Bürüt Alan (m<sup>2</sup>)</b>          | 407.85        | 113.84                         | 90.15                    | 113.72                      | 90.15                      |
| <b>Net Alan (m<sup>2</sup>)</b>            | 405.05        | 113.16                         | 89.43                    | 113.04                      | 89.43                      |
| <b>Pencere Alanı (m<sup>2</sup>)</b>       | 48.92         | 22.19                          | 7.60                     | 11.52                       | 7.60                       |
| <b>Bürüt Pencere-Duvar Oranı (%)</b>       | 11.99         | 19.49                          | 8.44                     | 10.13                       | 8.44                       |
| <b>Net Pencere-Duvar Oranı (%)</b>         | 12.08         | 19.61                          | 8.50                     | 10.19                       | 8.50                       |

Hesaplamlarda 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 tuttukları 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**

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

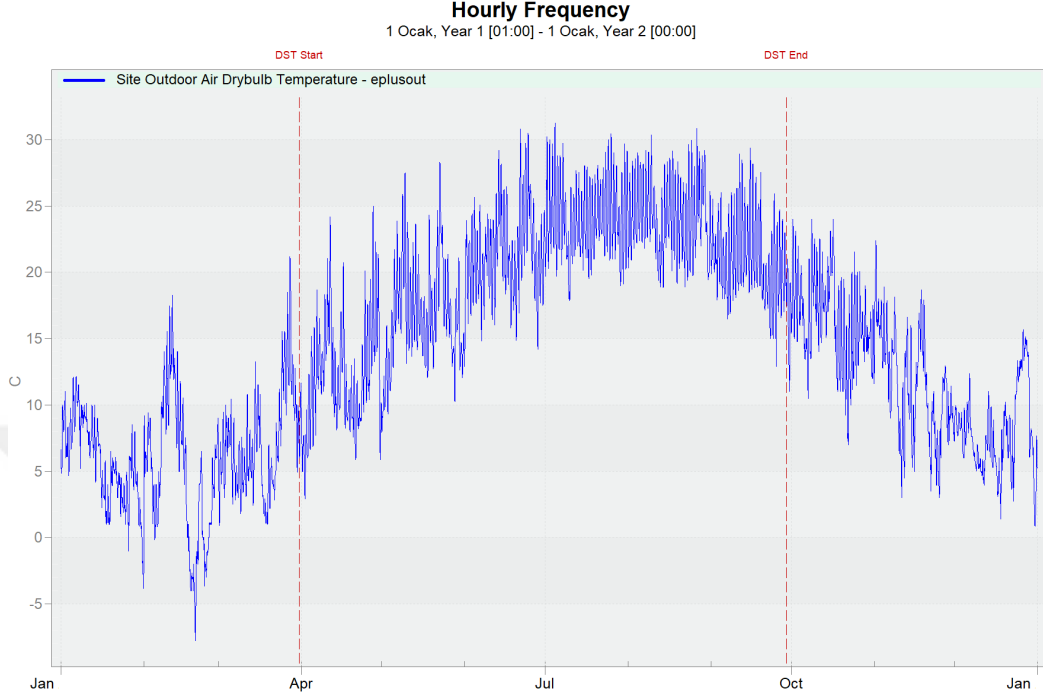
İstanbul iline ait 90 (1927-2021 yılları arası) yıllık ortalama sıcaklık değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

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

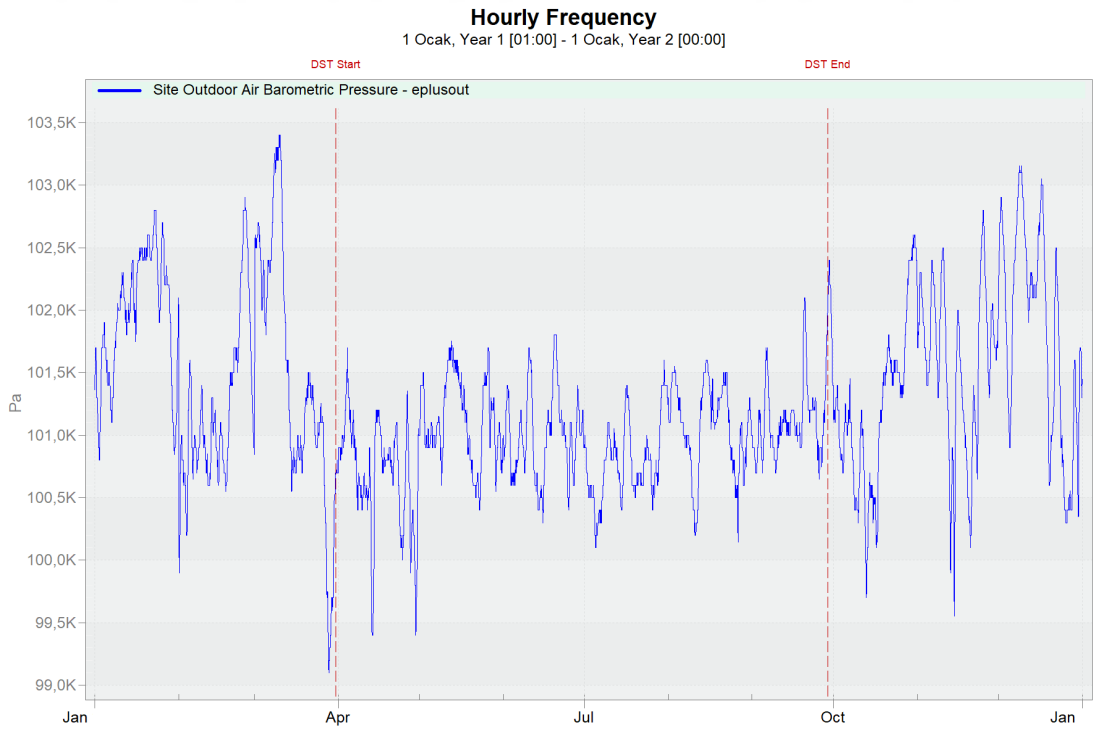
| <b>Aylar<br/>(Ölçüm<br/>Periyodu<br/>1931-2021)</b> | <b>Ortalama<br/>Sıcaklık<br/>(°C)</b> | <b>Ortalama En<br/>Yüksek<br/>Sıcaklık (°C)</b> | <b>Ortalama En<br/>Düşük<br/>Sıcaklık (°C)</b> | <b>Ortalama<br/>Güneşlenme<br/>Süresi (Saat)</b> |
|---|---------------------------------------|---|--|--|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

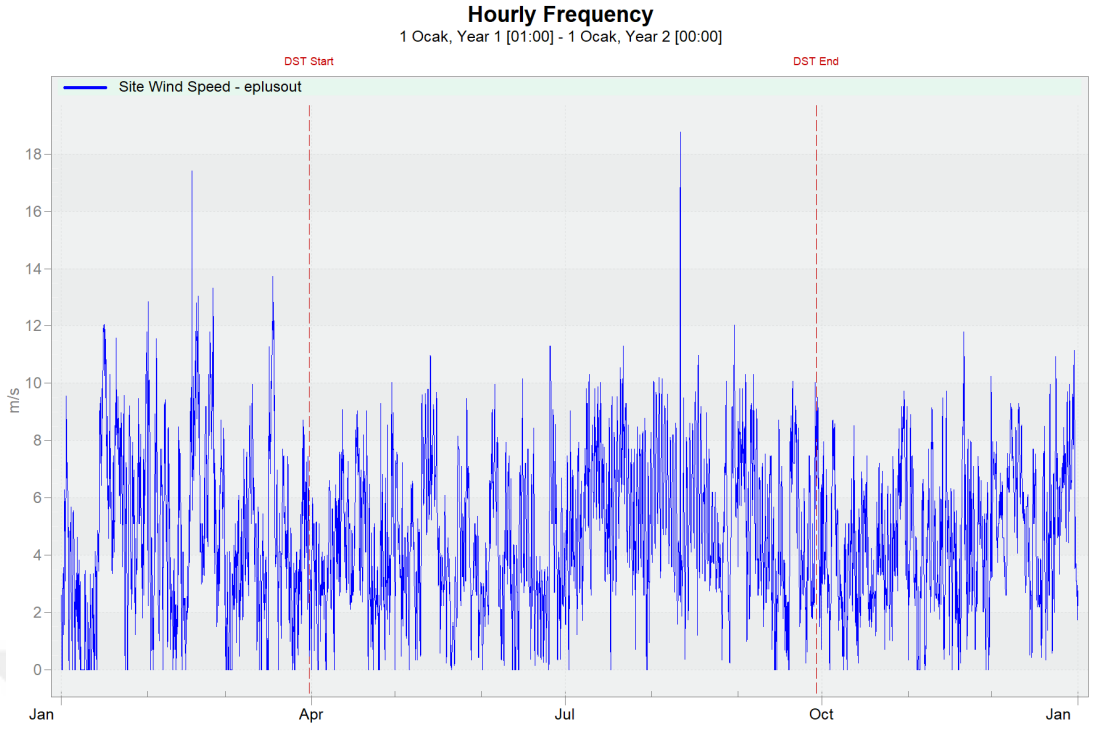
değerlerinin saatlik verileri Şekil 13’de, yıllık rüzgar hızı değerlerinin saatlik verileri Şekil 14’de verilmiştir. İstanbul iline ait yıllık güneş açısı değerlerinin saatlik verileri Şekil 15’de, yıllık güneş ışınım değerlerinin saatlik verileri Şekil 16’da verilmiştir.



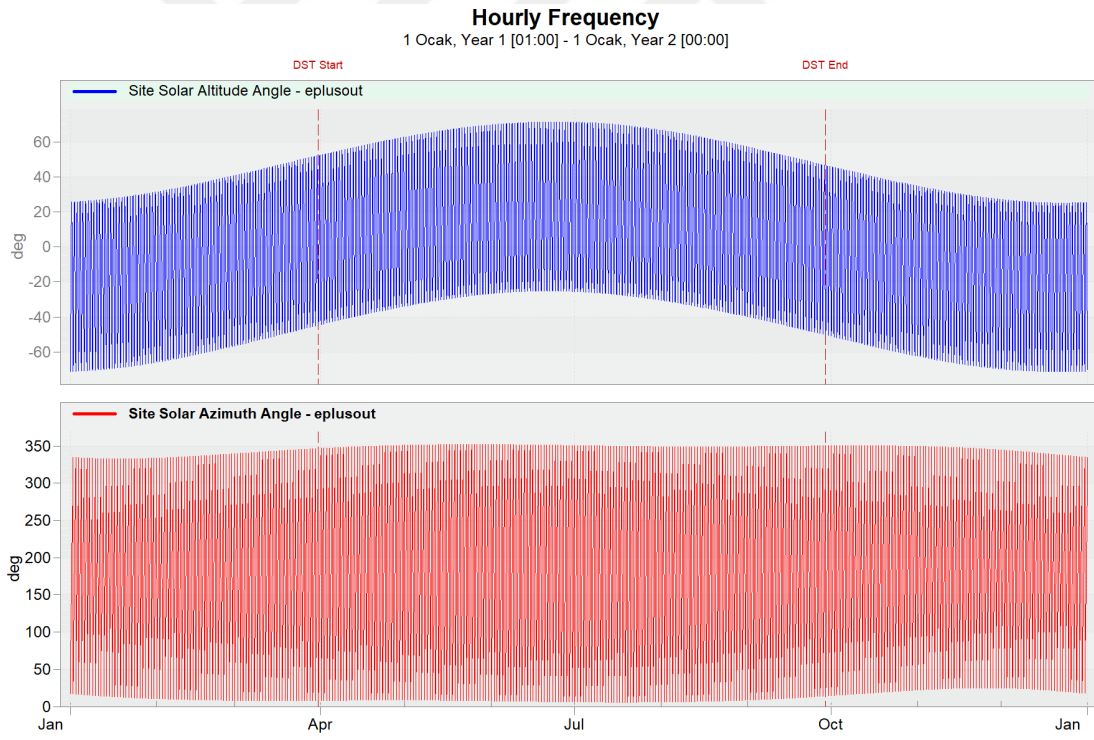
Şekil 12. İstanbul ili yıllık sıcaklık değerlerinin saatlik verileri



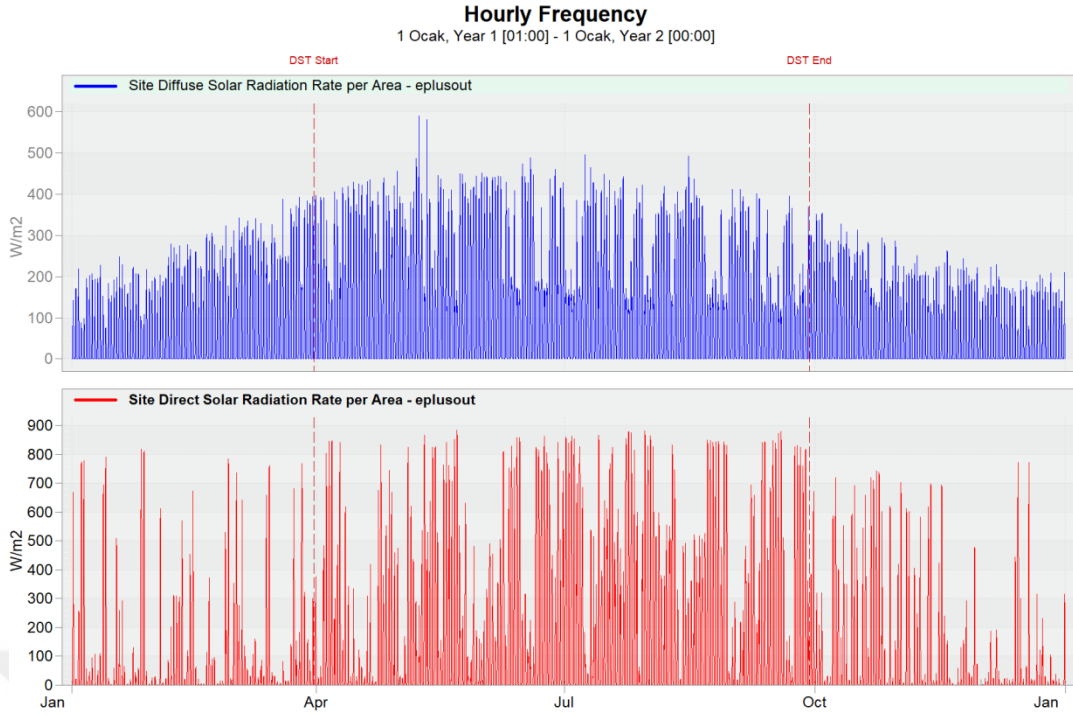
Şekil 13. İstanbul ili yıllık hava basıncı değerlerinin saatlik verileri



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 ışınım 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 sıcaklık etkisinin araştırılması için Finite Difference algoritması kullanılmıştır. Simülasyonu yapılan modelin tüm girdi değerleri ASHRAE 90.1 standartlarına göre yapılmıştır. Simülasyonlarda Simple Sky Diffuse Modelling, Sutherland Hodgman algoritmaları, Average ove days in frequency ve Polygon clipping metotları seçilmiştir. Yapılan simülasyonlardan elde edilen her bir analiz ile yılın 365 gününün 24 saatinde, saatte 12 veri işlenmiş ve araştırmalarda kullanılacak olan farklı senaryoların simülasyonları için yıllık 10.512.000 veriye ulaşılmıştır.

#### 4.1.4. Faz Değıştiren Malzemelerin Özellikleri

Simülasyonu 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 <sup>3</sup> ) | (W/m-K)    | (j/kg-K) | (°C)            |
| <b>BioPCM182</b>    | 0.0742    | 235.00               | 0.2000     | 1970.00  | 21-23-25-27-29  |
| <b>İnfiniteRPCM</b> | -         | 929.00               | 0.8150     | 3140.00  | 18-21-23-25-29  |
| <b>BioPCM27</b>     | 0.0112    | 235.00               | 0.2000     | 1970.00  | 21-23-25-27-29  |
| <b>BioPCM51</b>     | 0.0208    | 235.00               | 0.2000     | 1970.00  | 21-23-25-27-29  |
| <b>BioPCM91</b>     | 0.0371    | 235.00               | 0.2000     | 1970.00  | 21-23-25-27-29  |
| <b>WINCO</b>        | 0.0030    | 832.00               | 0.1480     | 2500.00  | 21-23-29        |

#### 4.1.5. Faz Değıştiren Malzemelerin Isıl İletkenlik Katsayısına Etkisi

Çalışmalarda simülasyonu 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 m<sup>2</sup>.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 m<sup>2</sup>'lik alanından birim zamanda geçen ısı miktarıdır. Bir metrekareye düşen ısı kaybı olarak ifade edilen ısı iletkenlik katsayısının birimi W/m<sup>2</sup>K 'dir. Isıl geçirgenlik katsayı değeri ne kadar düşük olursa ısı kaybı o kadar az olur. Enerji tasarrufu açısından verimli olması planlanan binalarda bu değer in 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),  $\alpha$  Termal yayılım (m<sup>2</sup>/s), malzemenin ısı iletkenliğinin yoğunluğuna oranı ve ısı iletkenlik (k/pc)'dir.

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

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

Denkle m 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 ar ağını 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).

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

Eşitlik 6’da verilen ifadelerden,  $k$  termal iletkenliği (W/mK),  $h_{giriş}$  iç duvar ısı transfer katsayısını (W/m<sup>2</sup>K),  $h_{çıkış}$  dış duvar ısı transfer katsayısını (W/m<sup>2</sup>K),  $T_{giriş}$  ölçüme tabi olan odanın iç ortam-iç yüzey sıcaklığını (°C),  $T_{çıkış}$  ölçüme tabi olan odanın dış yüzey sıcaklığını (°C),  $\varepsilon$  dış yüzeyin emisyon faktörünü göstermektedir ve genelde 0,9’a eşit olduğu varsayılır (Lassorn, 2011).  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabiti ( $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup> . K<sup>4</sup>).  $\beta$  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.

Hesaplamlarda 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).

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

Eşitlik 9'da verilen  $Q \cdot$  ısının geçişi boyunca anlık olarak ısının kaybı ve ısının kazancısıdır ( $W/m^2$ ).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Faz Değişiren 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

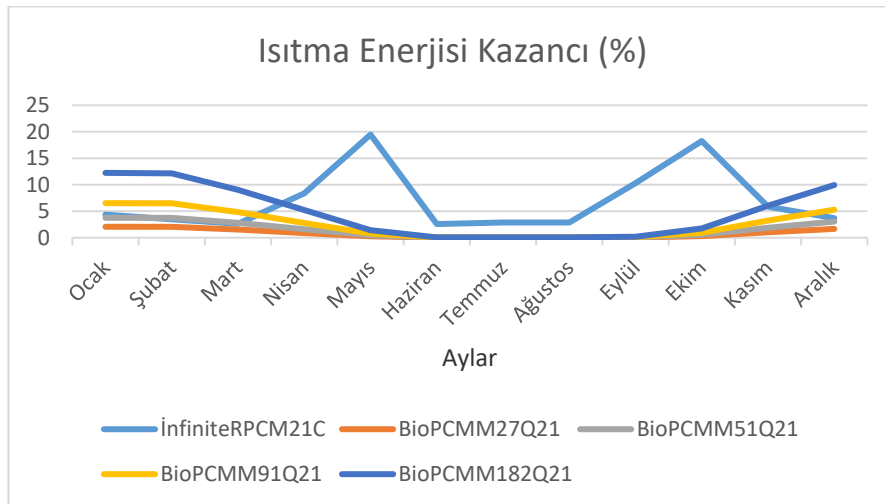
|                        | FDM Kalınlığı (mm) | Soğutma Enerjisi (kWh) | Isıtma Enerjisi (kWh) | Toplam HVAC (kWh) | Toplam Enerji Tasarrufu (%) | mm Başına Düşen Enerji Tasarrufu (%) |
|------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------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

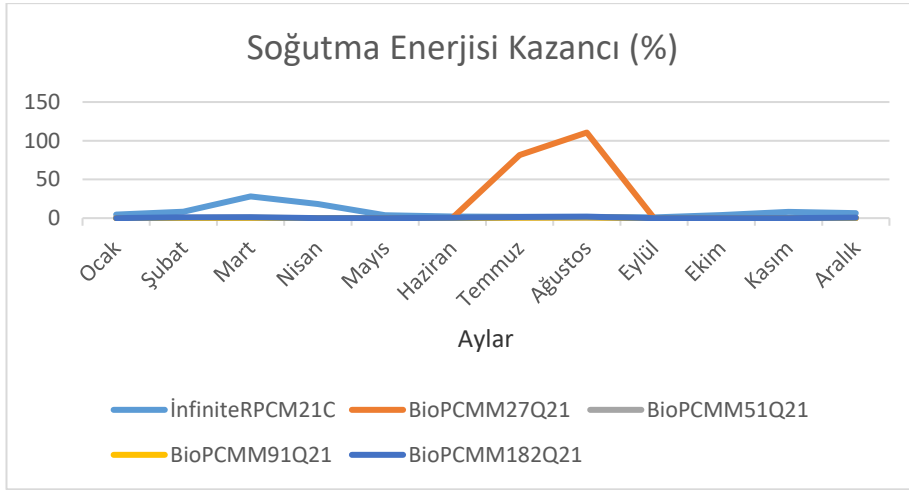
Tablo 5 de verilen analiz sonuçlarına bakıldığında dikkat çeken bir diğer ayrıntı ise faz değiştiren malzemelerin binanın yıllık ısıtma enerji ve yıllık soğutma enerji ihtiyaçlarını karşılamaındaki performanslarının farklı olmasıdır. Aynı bina kabuğunda, eşit kalınlıkta (74.2 mm) BioPCM182Q21 ve İnfiniteRPCMQ21 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 takdirde 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;

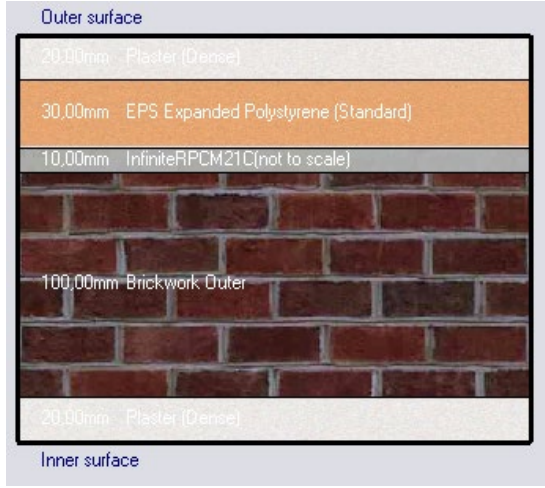
Tip1: 2 cm dış sıva, 3 cm yalıtım malzemesi EPS, 1 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva

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

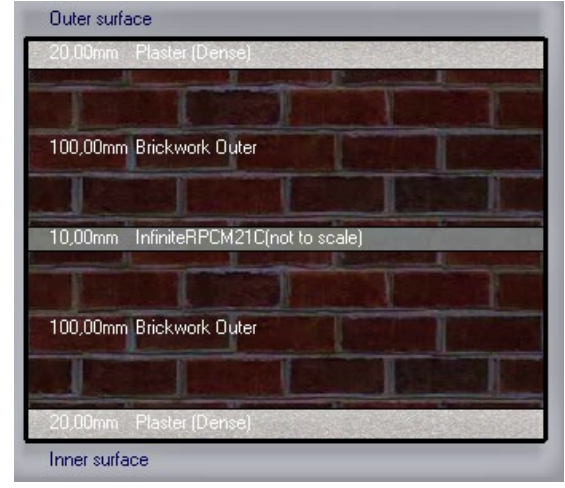
Tip3: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 1 cm İnfiniteRPCM21C, 2 cm dış sıva

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

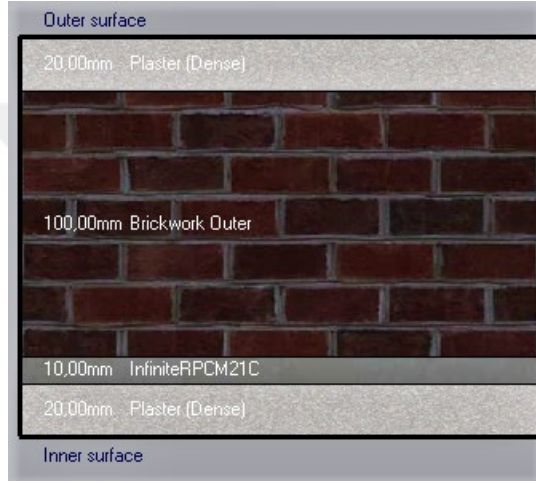
Senaryo1 de kullanılan dış duvara ait görsel Şekil 19’da verilmiştir.



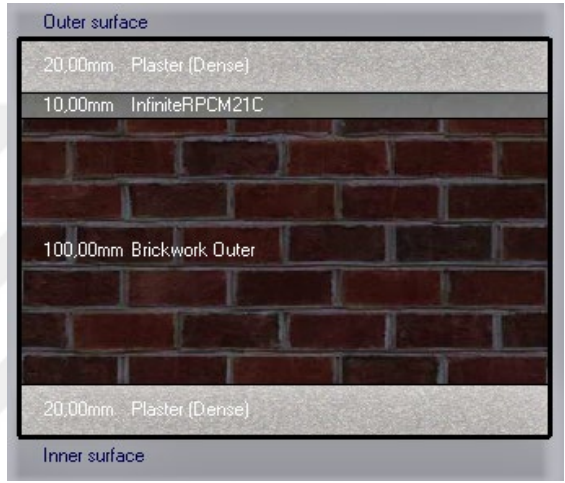
Senaryo1-Tip1



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

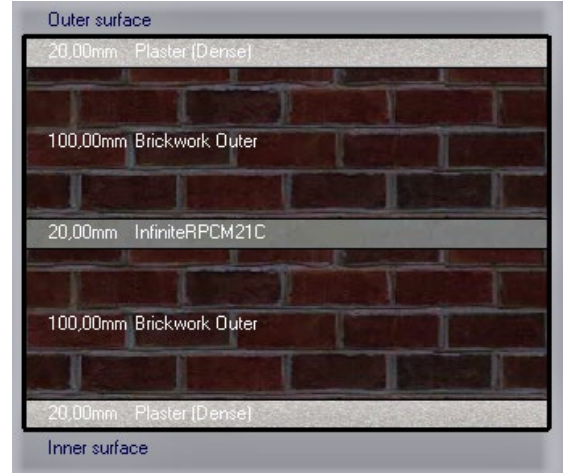
Tip3: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 2 cm İnfiniteRPCM21C, 2 cm dış sıva

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

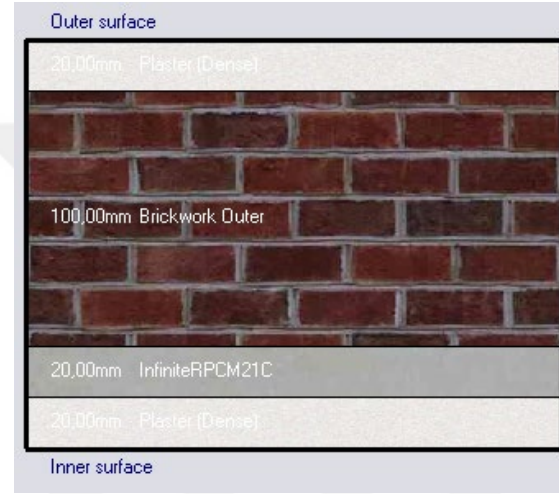
Senaryo2 de kullanılan dış duvara ait görsel Şekil 19'de verilmiştir.



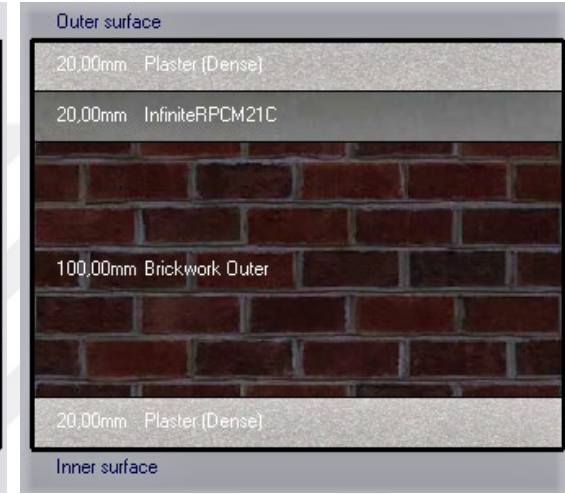
Senaryo2-Tip1



Senaryo2-Tip2



Senaryo2-Tip3



Senaryo2-Tip4

Şekil 20. Senaryo 2-Tipler

### Senaryo 3:

Dış duvar yapı bileşenlerinin dıştan içe doğru sıralı hali;

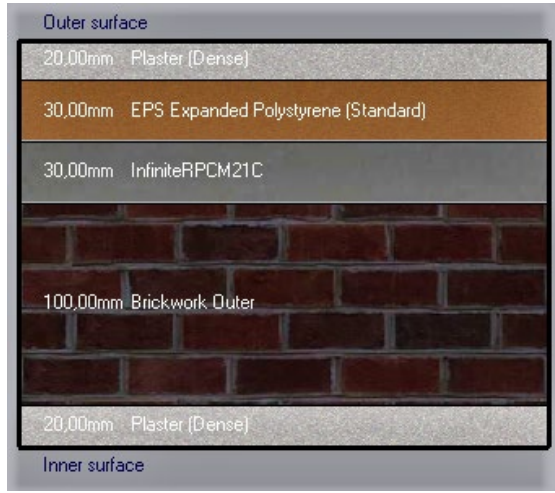
Tip1: 2 cm dış sıva, 3 cm yalıtım malzemesi EPS, 3 cm İnfiniteRPCM21C, 10 cm tuğla, 2 cm dış sıva,

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

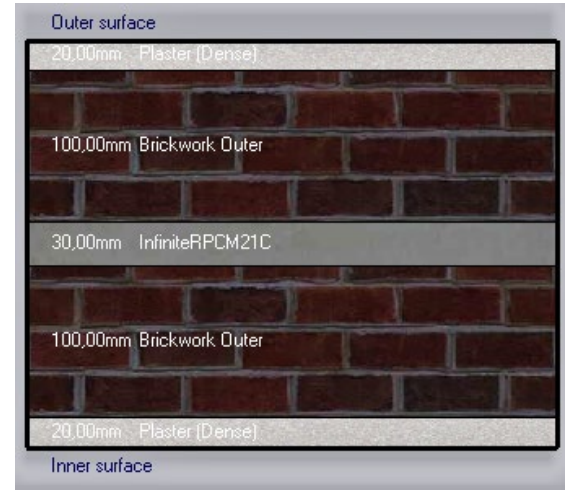
Tip3: 2 cm dış sıva, 10 cm tuğla, 3 cm İnfiniteRPCM21C, 2 cm dış sıva

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

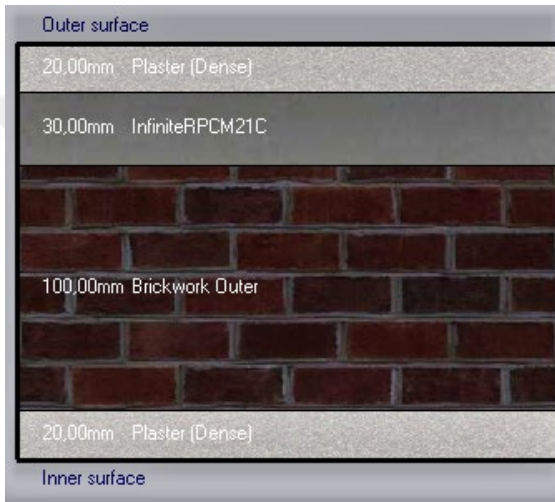
Senaryo3'de kullanılan dış duvara ait görsel Şekil 21'de verilmiştir.



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<br>d (m) | Isıl iletkenliği<br>$\lambda$ (W/m.K) | $R=1/U$<br>( $m^2.K/W$ ) |
|------------|---------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 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                   |
|            | $R_{s1t1}$    |                   |                                       |                          |

Tablo 6. (Devamı)

| Duvar Tipi | Duvar yapısı | Kalınlık<br>d (m) | Isıl iletkenliği<br>$\lambda$ (W/m.K) | R=1/U<br>(m <sup>2</sup> .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<br>d (m) | Isıl iletkenliği<br>$\lambda$ (W/m.K) | R=1/U<br>(m <sup>2</sup> .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<br>d (m) | Isıl iletkenliği<br>$\lambda$ (W/m.K) | R=1/U<br>(m <sup>2</sup> .K/W) |
|--------------|--------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Tip 3</b> | 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                          |
| <b>Tip 4</b> | 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<br>d (m) | Isıl iletkenliği<br>$\lambda$ (W/m.K) | R=1/U<br>(m <sup>2</sup> .K/W) |
|--------------|---------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Tip 1</b> | 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                          |
| <b>Tip 2</b> | 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                          |
| <b>Tip 3</b> | 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<br>d (m) | Isıl iletkenliği<br>$\lambda$ (W/m.K) | R=1/U<br>(m <sup>2</sup> .K/W) |
|--------------|--------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Tip 4</b> | 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.

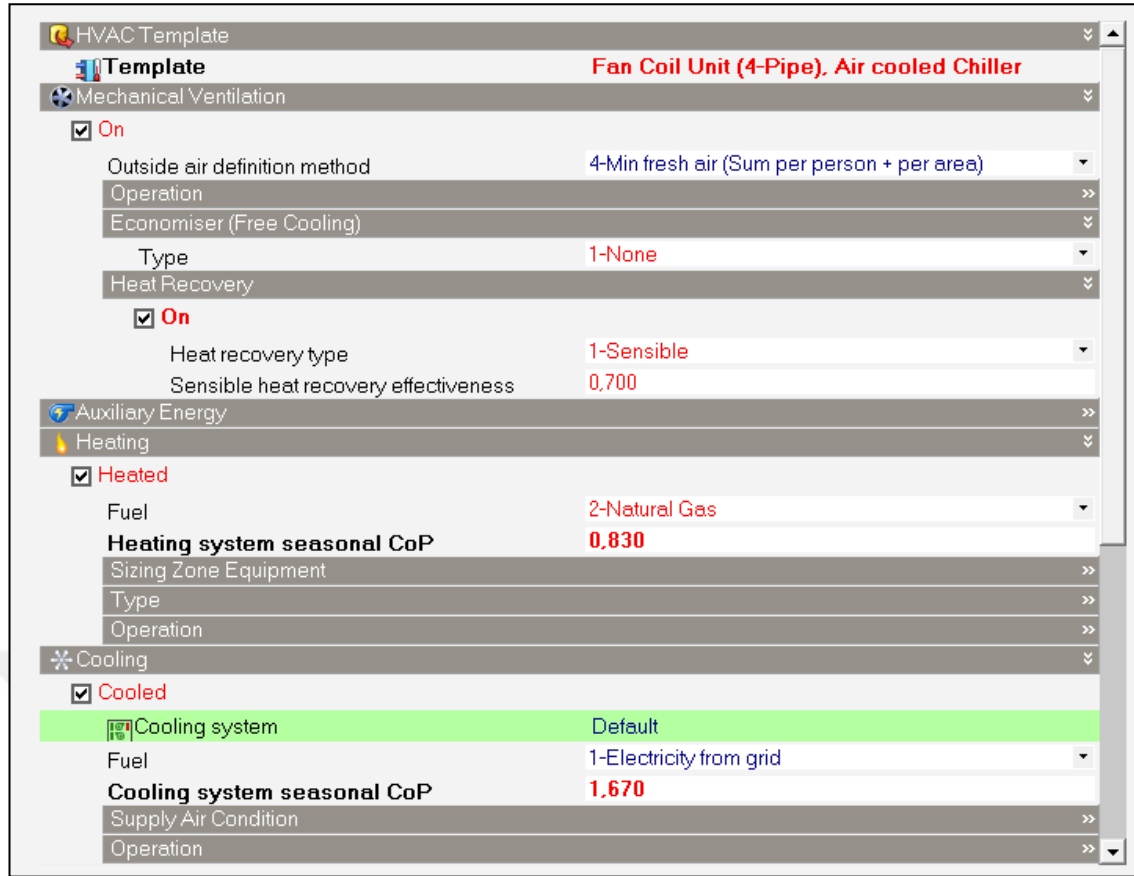
Tablo 9. Senaryolara göre ısı iletkenlik katsayı değerleri

|                 | Tip1-U<br>(W/m2K) | Tip2-U<br>(W/m2K) | Tip3-U<br>(W/m2K) | Tip4-U<br>(W/m2K) |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Senaryo1</b> | 0.884             | 1.999             | 2.622             | 2.622             |
| <b>Senaryo2</b> | 0.874             | 1.951             | 2.541             | 2.541             |
| <b>Senaryo3</b> | 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 Amaı Kullanılması

Çalışmanın bu bölümünde faz değiştiren malzemelerin binaların dış duvarında kullanımının ısıtma ve soğutma performansına etkisi araştırılmıştır. Araştırmalarda simülasyonu yapılacak villa için iki farklı lokasyon olarak İstanbul ve İzmir illeri seçilmiştir. Simülasyonu 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.



Şekil 22. Simülasyonu yapılan villanın HVAC verileri

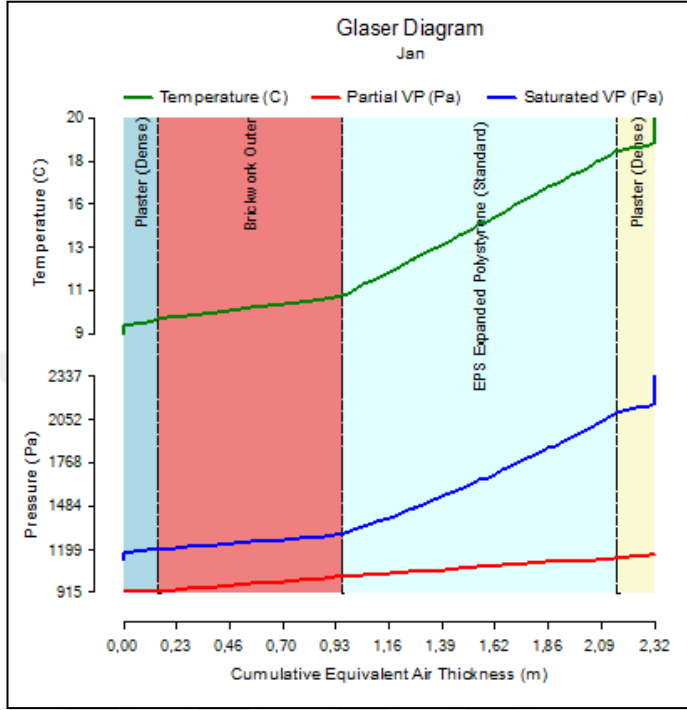
Tip modeller için incelemeler yapılırken öncelikle FDM'siz villanın analizi yapılmış ardından tüm tip modeller için analizler yapılarak FDM kullanılan dış duvarın ve FDM kullanılmayan dış duvarın ısıtma ihtiyacına ve soğutma ihtiyacına etkisi üzerine karşılaştırmalar yapılmıştır. DesignerBuilder programı 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 Sıcaklık RH (%) |    | Uluslararası Sıcaklık RH (%) |    | Min Sıcaklık Faktörü | Min Tsi | Tsı  |
|----------------|------------------------|----|------------------------------|----|----------------------|---------|------|
| <b>Ocak</b>    | 3.0                    | 85 | 20.0                         | 50 | 0.652                | 14.1    | 18.6 |
| <b>Şubat</b>   | 3.0                    | 82 | 20.0                         | 50 | 0.652                | 14.1    | 18.6 |
| <b>Mart</b>    | 5.0                    | 79 | 20.0                         | 50 | 0.606                | 14.1    | 18.8 |
| <b>Nisan</b>   | 8.0                    | 75 | 20.0                         | 50 | 0.507                | 14.1    | 19.0 |
| <b>Mayıs</b>   | 11.0                   | 73 | 20.0                         | 50 | 0.343                | 14.1    | 19.3 |
| <b>Haziran</b> | 14.0                   | 75 | 20.0                         | 50 | 0.014                | 14.1    | 19.5 |
| <b>Temmuz</b>  | 15.0                   | 75 | 20.0                         | 50 | -0.183               | 14.1    | 19.6 |
| <b>Ağustos</b> | 15.0                   | 77 | 20.0                         | 50 | -0.183               | 14.1    | 19.6 |
| <b>Eylül</b>   | 13.0                   | 80 | 20.0                         | 50 | 0.155                | 14.1    | 19.4 |

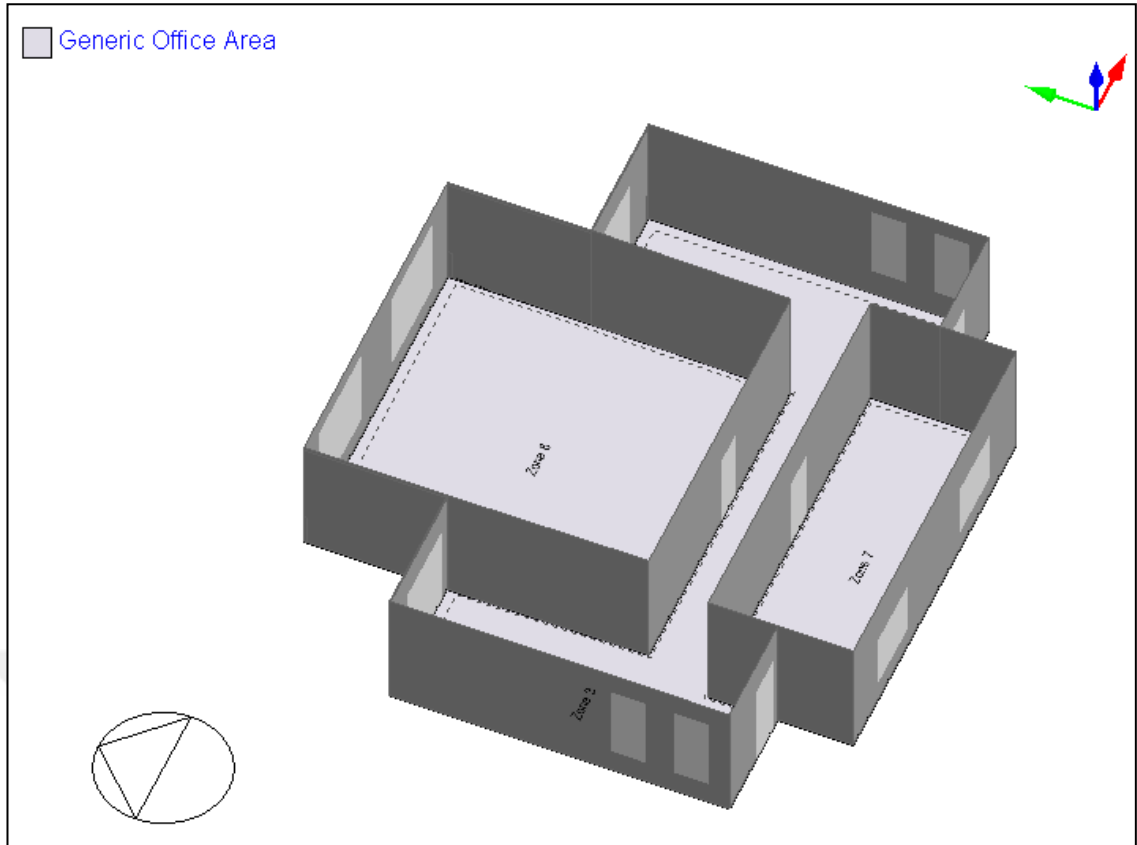
Tablo 10. (Devamı)

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

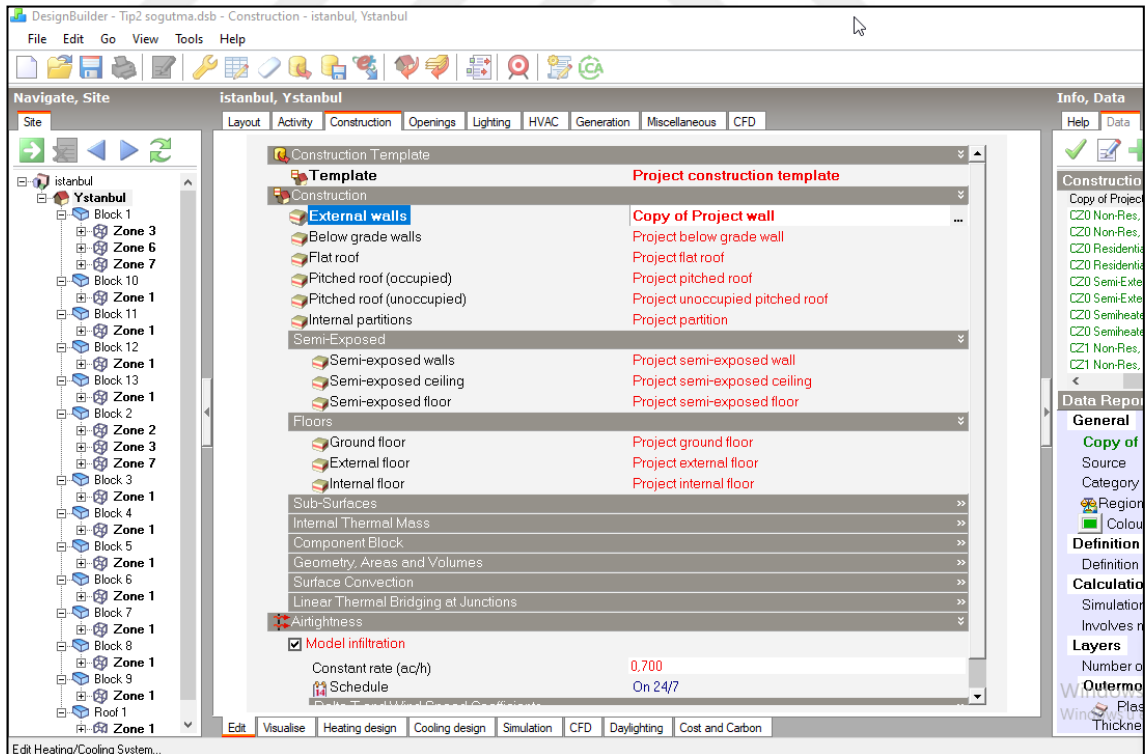


Şekil 23. FDM'siz villaya ait sıcaklık diyagramı

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 ısıl iletkenlik katsayıları göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan duvar tiplerine göre ısıl 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       |
| iç sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva            | 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 sıva           | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva           | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva           | 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 |
| Tip 2 İNFİTERPCM-1 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 2 İNFİTERPCM-2 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 2 İNFİTERPCM-3 | d(m)   | k(W/m.K) | R        |
|                    | hi     |          |          |                    | 0.13   | hi       |          |                    |        | 0.13     | hi       |
| iç sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva            | 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 |
| dış sıva           | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva           | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva           | 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 |
| Tip 3 İNFİTERPCM-1 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 3 İNFİTERPCM-2 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 3 İNFİTERPCM-3 | d(m)   | k(W/m.K) | R        |
|                    | hi     |          |          |                    | 0.13   | hi       |          |                    |        | 0.13     | hi       |
| iç sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva            | 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 |
| tuğla              | 0.1    | 0.84     | 0.119048 | tuğla              | 0.1    | 0.84     | 0.119048 | tuğla              | 0.1    | 0.84     | 0.119048 |
| dış sıva           | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva           | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva           | 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 |

Tablo 11. (devamı)

| Tip 4 INFINTERPCM-1 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 4 INFINTERPCM-2 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 4 INFINTERPCM-3 | d(m)   | k(W/m.K) | R        |
|---------------------|--------|----------|----------|---------------------|--------|----------|----------|---------------------|--------|----------|----------|
|                     | hi     |          |          |                     | 0.13   | hi       |          |                     |        | 0.13     | hi       |
| iç sıva             | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva             | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva             | 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 sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva            | 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 INFINTERPCM-1 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 5 INFINTERPCM-2 | d(m)   | k(W/m.K) | R        | Tip 5 INFINTERPCM-3 | d(m)   | k(W/m.K) | R        |
|                     | hi     |          |          |                     | 0.13   | hi       |          |                     |        | 0.13     | hi       |
| iç sıva             | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva             | 0.02   | 0.5      | 0.04     | iç sıva             | 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 sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva            | 0.02   | 0.5      | 0.04     | dış sıva            | 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 |           |          |       |       | Tip 1 2BioM27 |          |       |       |           | Tip 1 3BioM27 |       |       |           |          |       |
|--------------|-----------|----------|-------|-------|---------------|----------|-------|-------|-----------|---------------|-------|-------|-----------|----------|-------|
|              | d(m)      | k(W/m.K) | R     |       | d(m)          | k(W/m.K) | R     |       | d(m)      | k(W/m.K)      | R     |       | d(m)      | k(W/m.K) | R     |
|              | hi        |          | 0.130 |       | 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 | iç sıva   | 0.02     | 0.5   |
|              | tuğla     | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla         | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1           | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1      | 0.84  |
|              | EPS       | 0.03     | 0.4   | 0.075 | EPS           | 0.03     | 0.4   | 0.075 | EPS       | 0.03          | 0.4   | 0.075 | EPS       | 0.03     | 0.4   |
|              | fdm       | 0.0112   | 0.2   | 0.056 | fdm           | 0.0224   | 0.2   | 0.112 | fdm       | 0.0336        | 0.2   | 0.168 | fdm       | 0.0336   | 0.2   |
|              | dış sıva  | 0.02     | 0.5   | 0.040 | dış sıva      | 0.02     | 0.5   | 0.040 | dış sıva  | 0.02          | 0.5   | 0.040 | dış sıva  | 0.02     | 0.5   |
|              | ho        |          | 0.040 |       | ho            |          | 0.040 |       | ho        |               | 0.040 |       | ho        |          | 0.040 |
|              | Rtop      |          | 0.500 |       | Rtop          |          | 0.556 |       | Rtop      |               | 0.612 |       | Rtop      |          | 0.612 |
|              | U(W/m2.K) |          | 2.000 |       | U(W/m2.K)     |          | 1.798 |       | U(W/m2.K) |               | 1.634 |       | U(W/m2.K) |          | 1.634 |
| Tip 2 BioM27 |           |          |       |       | Tip 2 2BioM27 |          |       |       |           | Tip 2 3BioM27 |       |       |           |          |       |
|              | d(m)      | k(W/m.K) | R     |       | d(m)          | k(W/m.K) | R     |       | d(m)      | k(W/m.K)      | R     |       | d(m)      | k(W/m.K) | R     |
|              | hi        |          | 0.130 |       | 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 | iç sıva   | 0.02     | 0.5   |
|              | tuğla     | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla         | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1           | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1      | 0.84  |
|              | fdm       | 0.0112   | 0.2   | 0.056 | fdm           | 0.0224   | 0.2   | 0.112 | fdm       | 0.0336        | 0.2   | 0.168 | fdm       | 0.0336   | 0.2   |
|              | tuğla     | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla         | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1           | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1      | 0.84  |
|              | dış sıva  | 0.02     | 0.5   | 0.040 | dış sıva      | 0.02     | 0.5   | 0.040 | dış sıva  | 0.02          | 0.5   | 0.040 | dış sıva  | 0.02     | 0.5   |
|              | ho        |          | 0.040 |       | ho            |          | 0.040 |       | ho        |               | 0.040 |       | ho        |          | 0.040 |
|              | Rtop      |          | 0.544 |       | Rtop          |          | 0.600 |       | Rtop      |               | 0.656 |       | Rtop      |          | 0.656 |
|              | U(W/m2.K) |          | 1.838 |       | U(W/m2.K)     |          | 1.666 |       | U(W/m2.K) |               | 1.524 |       | U(W/m2.K) |          | 1.524 |
| Tip 3 BioM27 |           |          |       |       | Tip 3 2BioM27 |          |       |       |           | Tip 3 3BioM27 |       |       |           |          |       |
|              | d(m)      | k(W/m.K) | R     |       | d(m)          | k(W/m.K) | R     |       | d(m)      | k(W/m.K)      | R     |       | d(m)      | k(W/m.K) | R     |
|              | hi        |          | 0.130 |       | 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 | iç sıva   | 0.02     | 0.5   |
|              | fdm       | 0.0112   | 0.2   | 0.056 | fdm           | 0.0224   | 0.2   | 0.112 | fdm       | 0.0336        | 0.2   | 0.168 | fdm       | 0.0336   | 0.2   |
|              | tuğla     | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla         | 0.1      | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1           | 0.84  | 0.119 | tuğla     | 0.1      | 0.84  |
|              | dış sıva  | 0.02     | 0.5   | 0.040 | dış sıva      | 0.02     | 0.5   | 0.040 | dış sıva  | 0.02          | 0.5   | 0.040 | dış sıva  | 0.02     | 0.5   |
|              | ho        |          | 0.040 |       | ho            |          | 0.040 |       | ho        |               | 0.040 |       | ho        |          | 0.040 |
|              | Rtop      |          | 0.425 |       | Rtop          |          | 0.481 |       | Rtop      |               | 0.537 |       | Rtop      |          | 0.537 |
|              | U(W/m2.K) |          | 2.353 |       | U(W/m2.K)     |          | 2.079 |       | U(W/m2.K) |               | 1.862 |       | U(W/m2.K) |          | 1.862 |

Tablo 12. (Devamı)

| Tip 4 BioM27 |                        |             |       | Tip 4 2BioM27 |                        |             |       | Tip 4 3BioM27 |                        |             |       |       |
|--------------|------------------------|-------------|-------|---------------|------------------------|-------------|-------|---------------|------------------------|-------------|-------|-------|
|              | d(m)                   | k(W/m.<br>K | R     |               | d(m)                   | k(W/m.<br>K | R     |               | d(m)                   | k(W/m.<br>K | R     |       |
|              | hi                     |             | 0.130 |               | hi                     |             | 0.130 |               | hi                     |             | 0.130 |       |
|              | iç siva                | 0.02        | 0.5   | 0.040         | iç siva                | 0.02        | 0.5   | 0.040         | iç siva                | 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 siva               | 0.02        | 0.5   | 0.040         | dış siva               | 0.02        | 0.5   | 0.040         | dış siva               | 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/m <sup>2</sup> .K) |             | 2.353 |               | U(W/m <sup>2</sup> .K) |             | 2.079 |               | U(W/m <sup>2</sup> .K) |             | 1.862 |       |
| Tip 5 BioM27 |                        |             |       | Tip 5 2BioM27 |                        |             |       | Tip 5 3BioM27 |                        |             |       |       |
|              | d(m)                   | k(W/m.<br>K | R     |               | d(m)                   | k(W/m.<br>K | R     |               | d(m)                   | k(W/m.<br>K | R     |       |
|              | hi                     |             | 0.130 |               | hi                     |             | 0.130 |               | hi                     |             | 0.130 |       |
|              | iç siva                | 0.02        | 0.5   | 0.040         | iç siva                | 0.02        | 0.5   | 0.040         | iç siva                | 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 siva               | 0.02        | 0.5   | 0.040         | dış siva               | 0.02        | 0.5   | 0.040         | dış siva               | 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/m <sup>2</sup> .K) |             | 2.000 |               | U(W/m <sup>2</sup> .K) |             | 1.798 |               | U(W/m <sup>2</sup> .K) |             | 1.634 |       |

Tablo 13. FDM kullanılmayan villanın ısı iletkenlik ve direnç değerleri

|                         | d(m)                | k(W/m.K) | R        |
|-------------------------|---------------------|----------|----------|
| <b>Tip1-Tip5 FDMsiz</b> | Hi                  |          | 0.13     |
|                         | iç 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 |
|                         | <b>Tip 2 FDMsiz</b> | Hi       |          |
| iç 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  |
| <b>Tip3-Tip4 FDMsiz</b> |                     | hi       |          |
|                         | iç 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,  $\lambda$  (W/m.K) ısı iletkenliğini,  $R=1/U$  ( $m^2.K/W$ ) direnç değerini ifade etmektedir.

Simülasyonu 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) |
| <b>Tip1</b> | 21°C     |                       |                        |                       |                        |                       |                        |
|             | 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               |
| <b>Tip2</b> | 21°C     |                       |                        |                       |                        |                       |                        |
|             | 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)

| 21°C |          | 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

| 21 °C |          | 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) |          |          |
| 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) |
| <b>Tip1</b> | 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               |
| <b>Tip2</b> | 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               |
| <b>Tip3</b> | 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               |
| <b>Tip4</b> | 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               |
| <b>Tip5</b> | 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 % |
| <b>Tip1</b> | 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                       |
| <b>Tip2</b> | 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                      |
| <b>Tip3</b> | 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                      |
| <b>Tip4</b> | 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                      |
| <b>Tip5</b> | 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'ün 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**

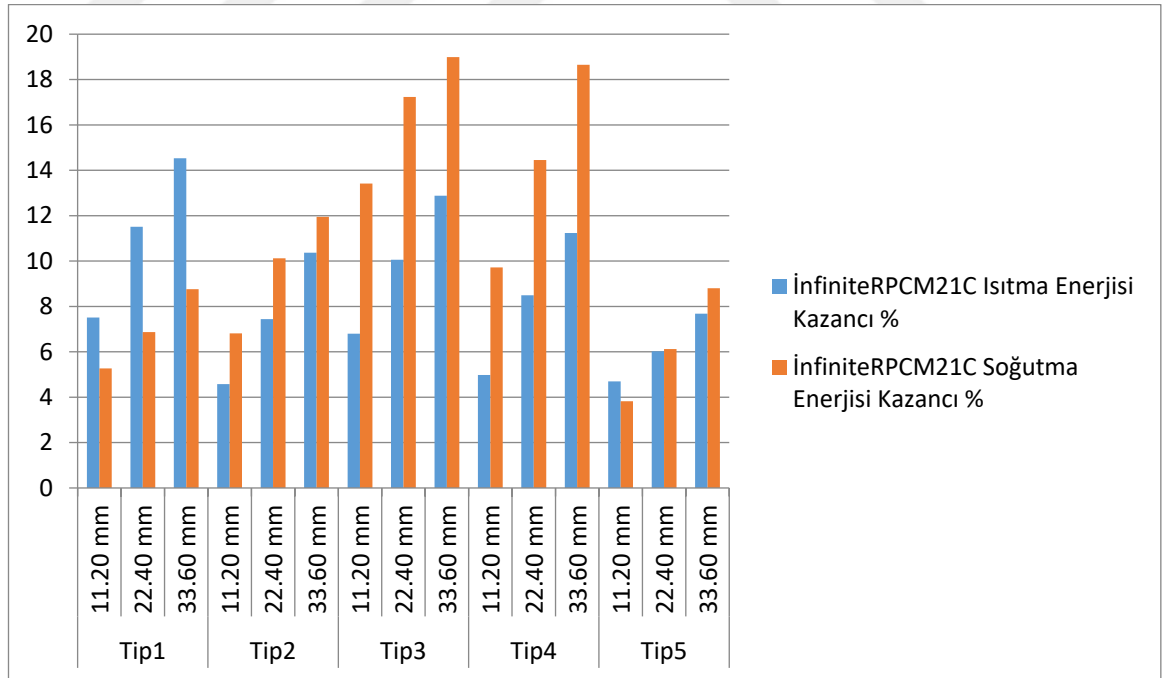
##### **5.4.1. İnfiniteRPCM21C'in performansının irdelenmesi**

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 görülmüştür.

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.



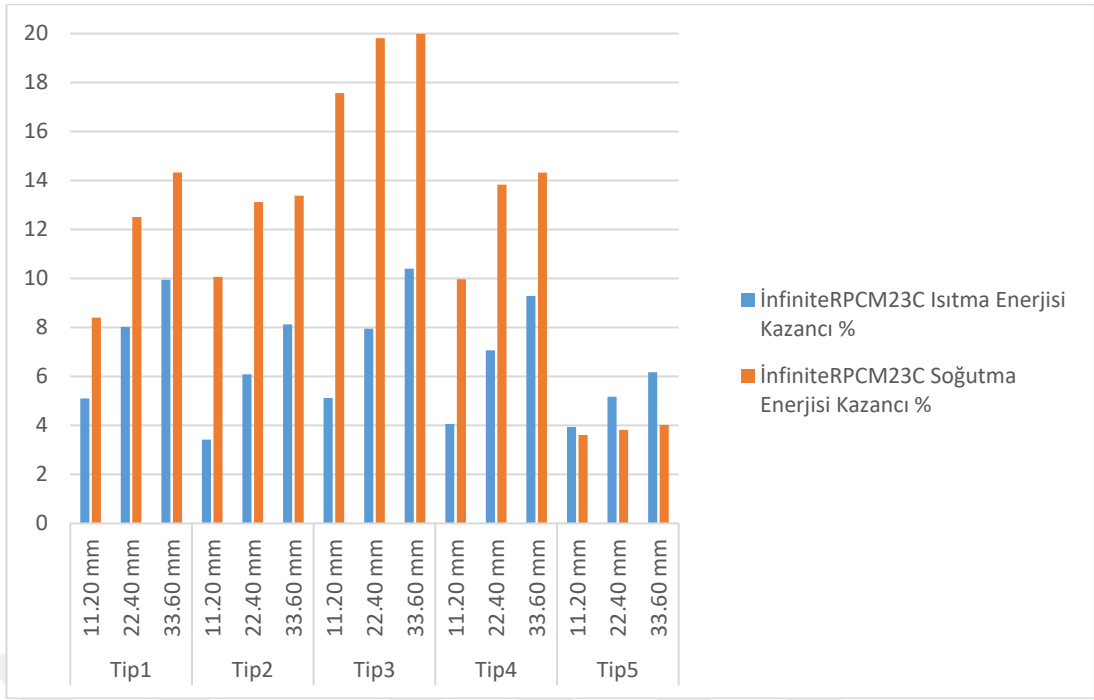
Şekil 26. İnfiniteRPCM21C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

#### 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. İnfiniteRPCM23C kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

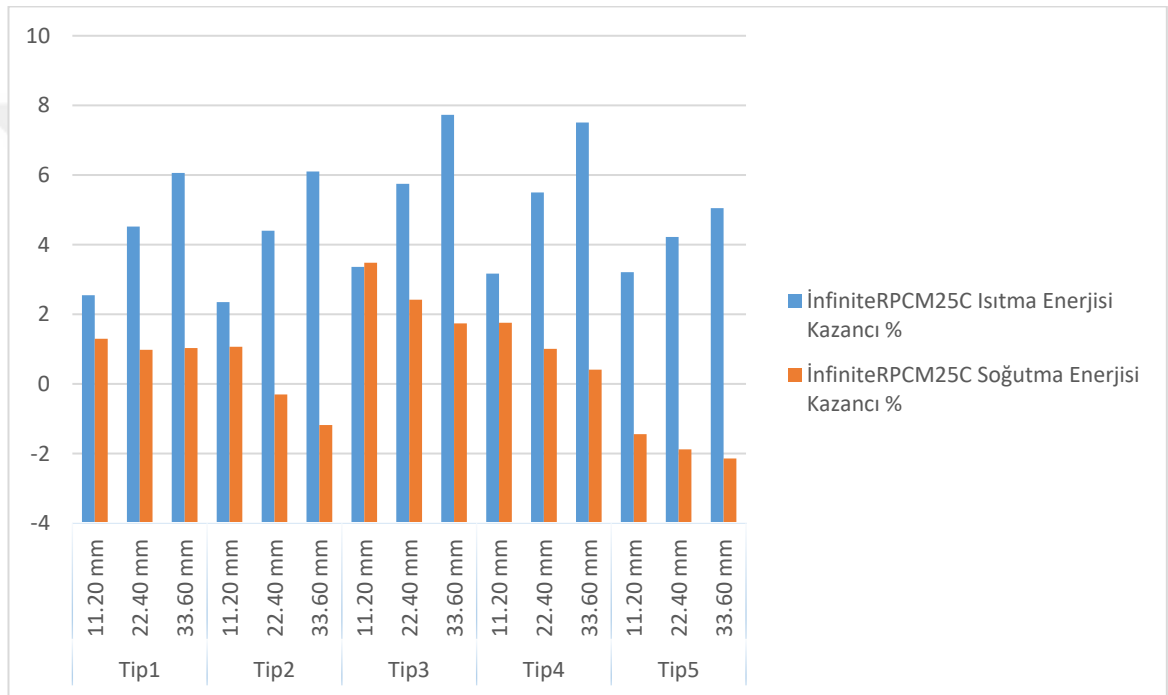
#### 5.4.3. İnfiniteRPCM25C'nin performansının irdelenmesi

Isıtma enerjisi kazancı bakımından irdelenmesi; Yapının dış duvarında kullanılan İnfiniteRPCM25C'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 İnfiniteRPCM23C'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 İnfiniteRPCM25C 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 artışının 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

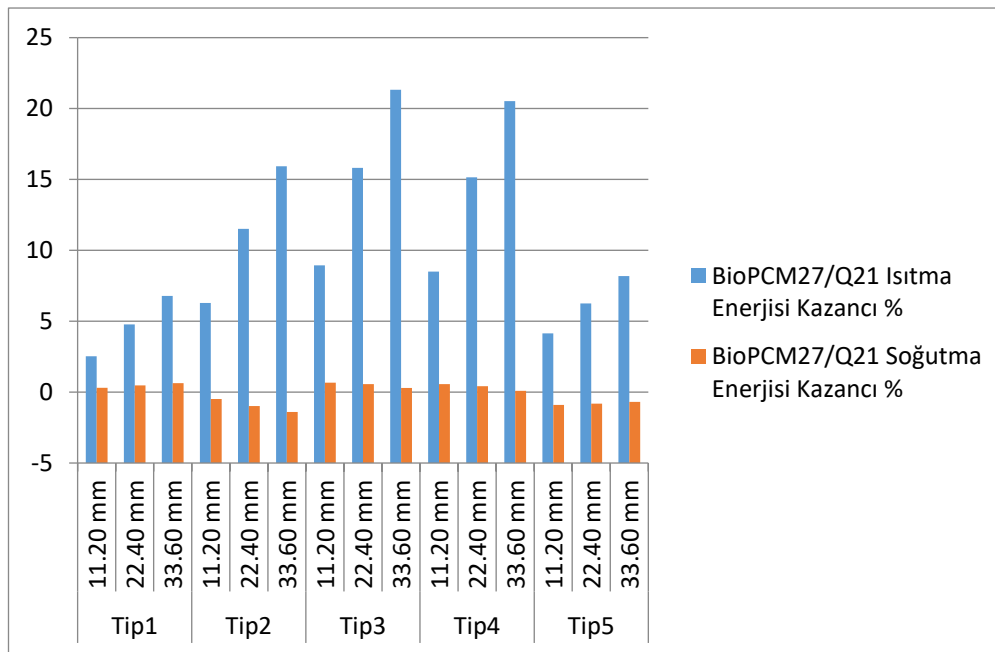
#### 5.4.4. BioPCMM27/Q21'in performansının irdelenmesi

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.



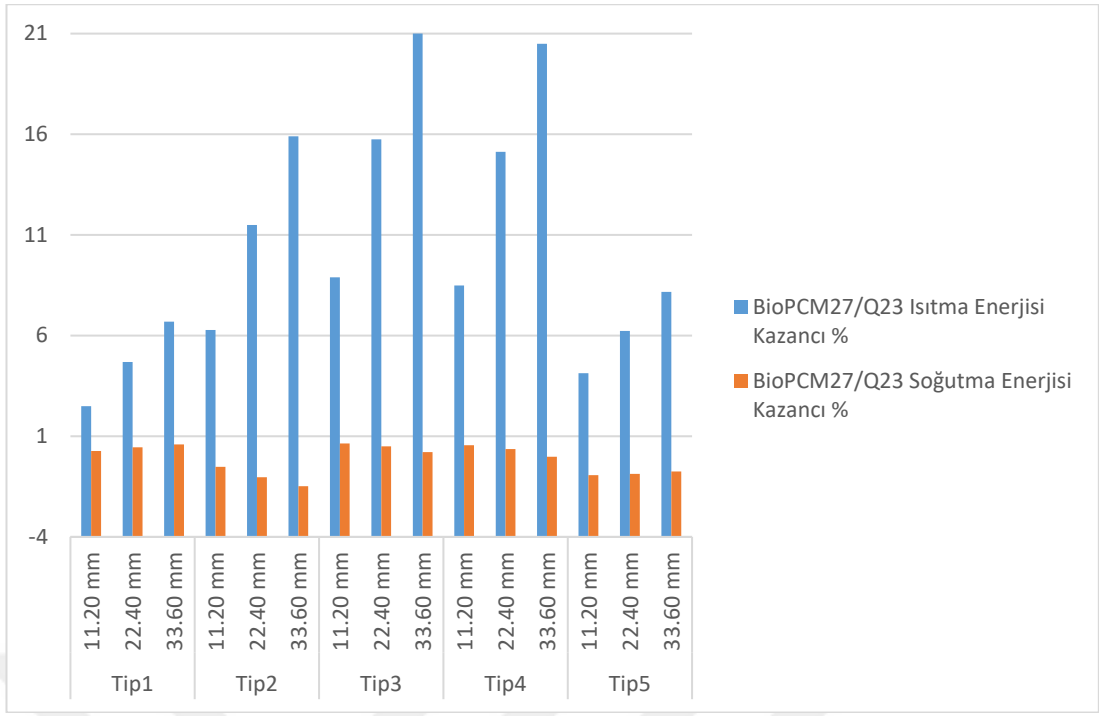
Şekil 29. BioPCMM27/Q21 kullanılan villanın yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi kazancı

#### 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

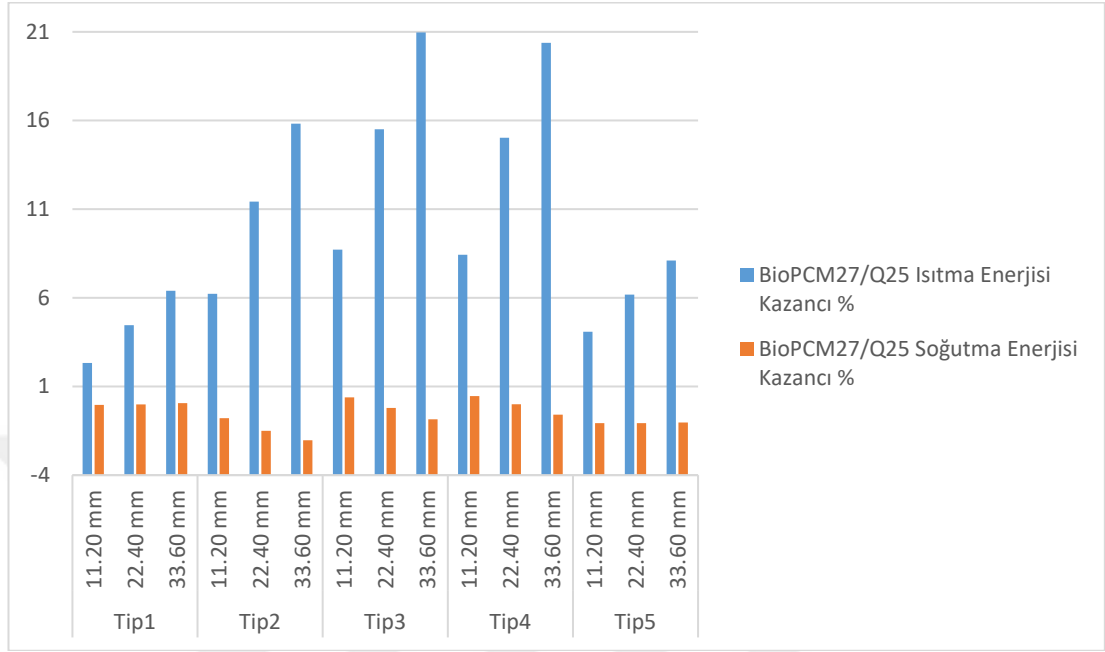
#### 5.4.6. BioPCMM27/Q25'in performansının irdelenmesi

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

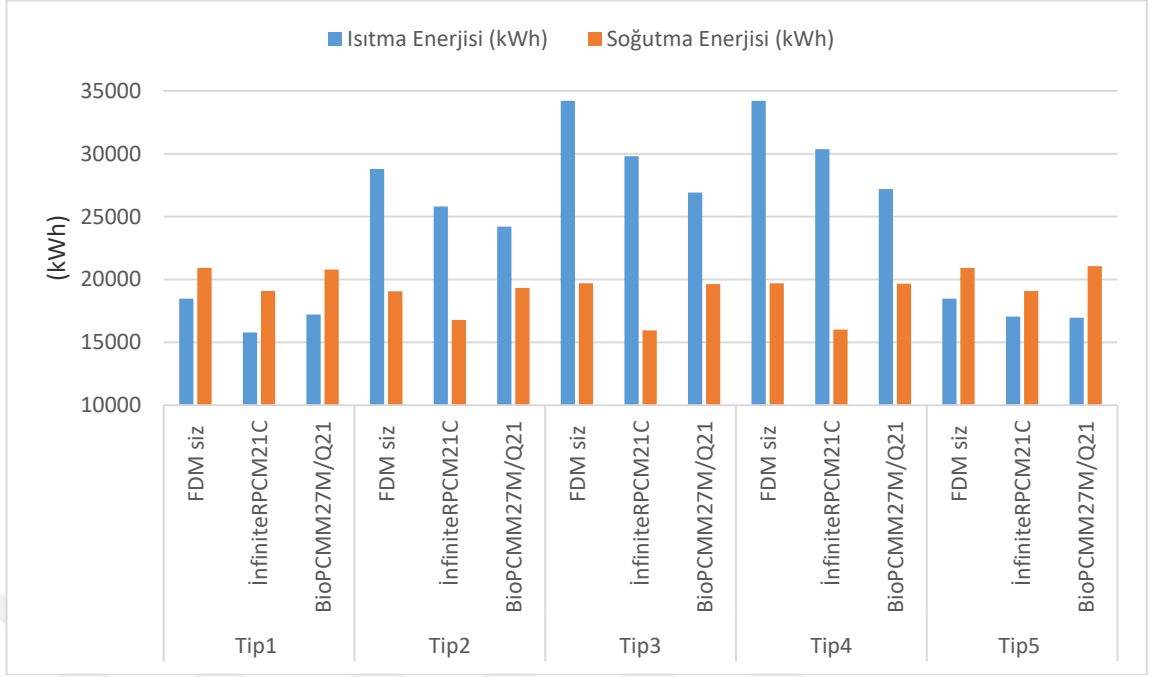
Bu bölümde bina dış duvarında kullanılan FDM'nin dış duvar yapı bileşenlerindeki yerinin villanın ısıtma yükünü ve soğutma yükünü nasıl etkilediğinin araştırılması amacıyla Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 ve Tip5 modellerinin analizlerinden elde edilen veriler incelenmiştir. İncelemelerde elde edilen veriler 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

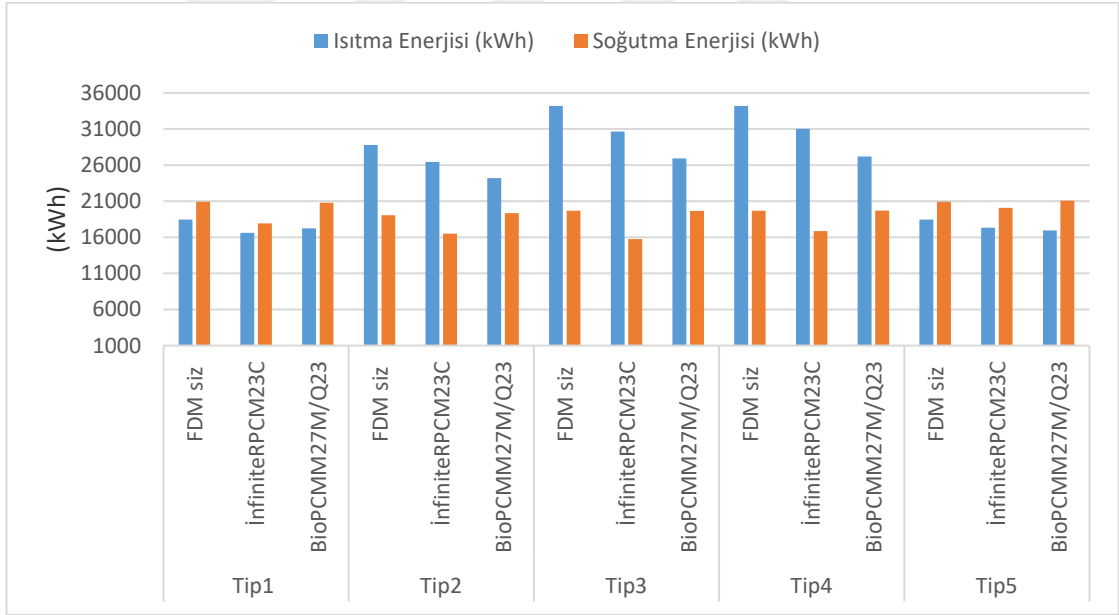
İnfiniteRPCM'in erime sıcaklığı 21°C iken Tip3 ve Tip4 model versiyonlarının ısıtma enerjisi performansları Tip1 model versiyonundan daha yüksek iken erime sıcaklığı yükseldiğinde bu durumunun aksine Tip1 model versiyonu Tip4 ve Tip3 model versiyonlarından daha verimli hale gelmektedir. Benzer şekilde 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.

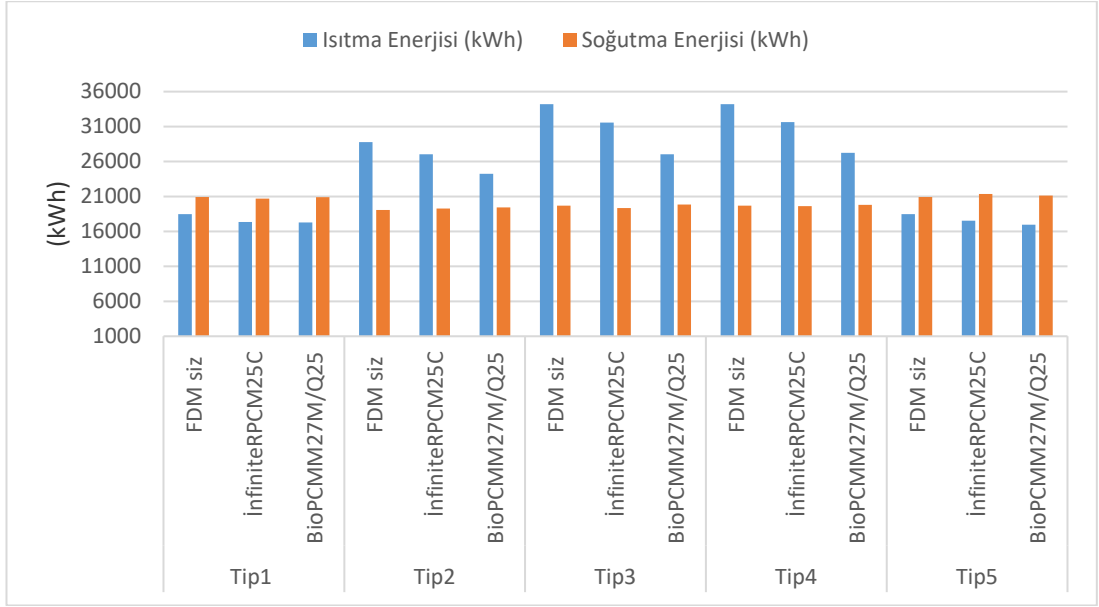
Hem yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hem de yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı beraber değerlendirildiğinde yıllık toplam enerji kazanımında Tip3 modelin en iyi performansı, Tip5 modelin en kötü performansı sergilediği görülmüştür. 33.60 mm kalınlığında ve 21°C erime sıcaklığında ki FDM'lerin yıllık ısıtma 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



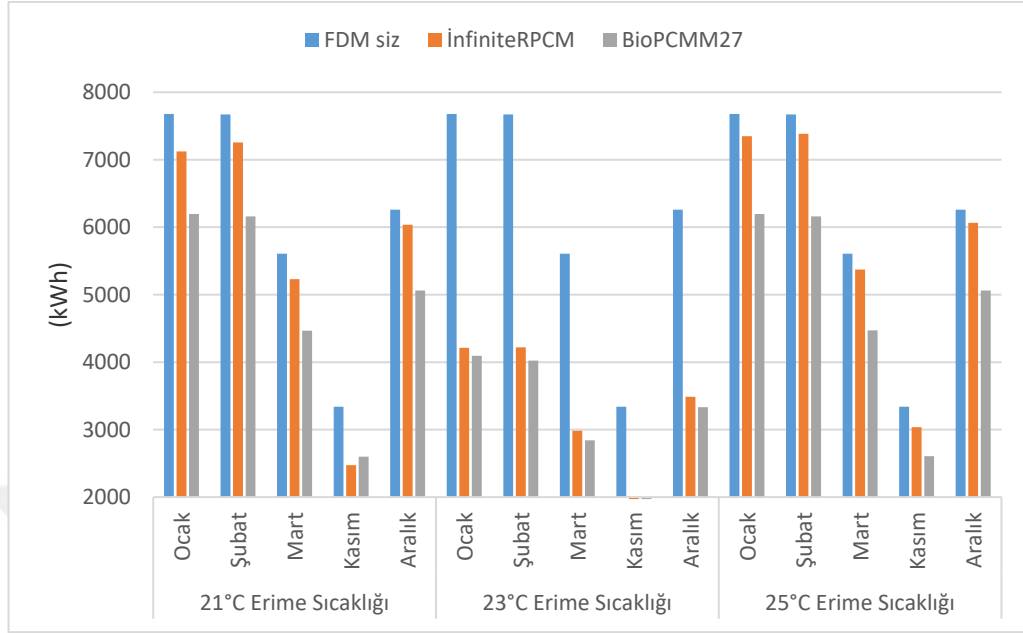
Şekil 34. FDM'siz ve 25°C erime sıcaklığına sahip FDM'li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı

#### 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

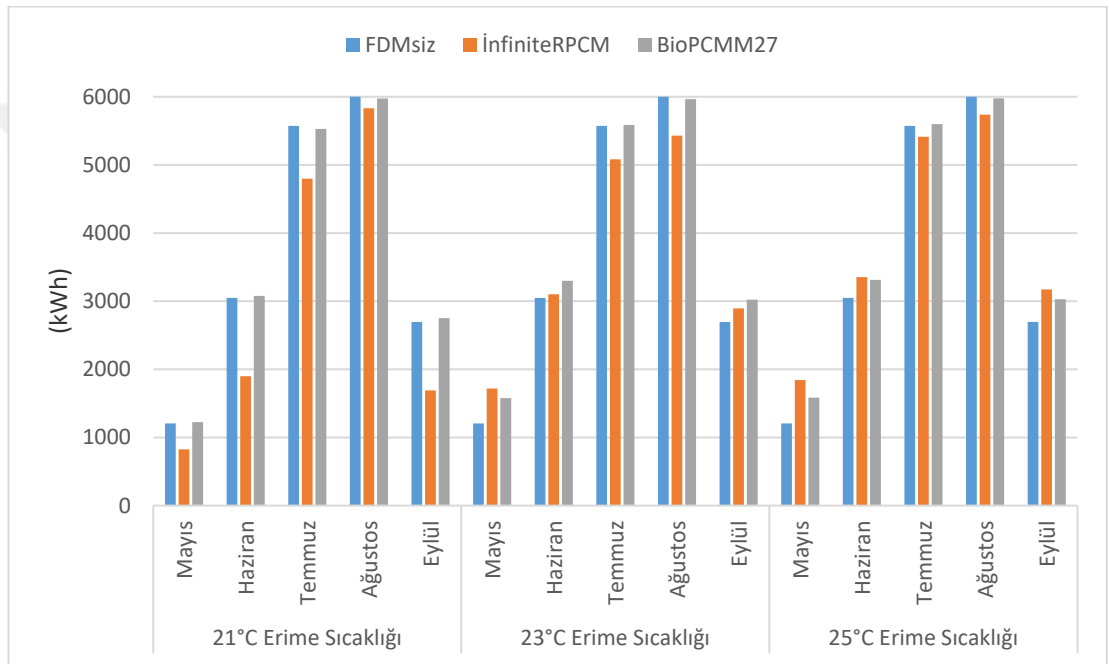
FDM'lerin erime sıcaklıklarının aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyacını veren grafik Şekil 35'te verilmiştir.



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 içerisinde 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

| Tip 1    | Isıtma Enerjisi Kazancı % |                  |                     |                  |                     |                  |       |
|----------|---------------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|-------|
|          | İnfiniteRP<br>CM21C       | BioPCM27/<br>Q21 | İnfiniteRP<br>CM23C | BioPCM27/<br>Q23 | İnfiniteRP<br>CM25C | BioPCM27/<br>Q25 |       |
| 22.20 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 % |             |                 |             |                 |             |
|----------|---------|---------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|          |         | İnfiniteRPCM21C           | BioPCM27Q21 | İnfiniteRPCM23C | BioPCM27Q23 | İnfiniteRPCM25C | BioPCM27Q25 |
| 22.20 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

| Tip 3    |         | Isıtma Enerjisi Kazancı % |             |                 |             |                 |             |
|----------|---------|---------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|          |         | InfinitaRPCM21C           | BioPCM27Q21 | InfinitaRPCM23C | BioPCM27Q23 | InfinitaRPCM25C | 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 % |             |                      |             |                      |             |
|----------|---------|---------------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
|          |         | InfinitesRP<br>CM21C      | BioPCM27Q21 | InfinitesRP<br>CM23C | BioPCM27Q23 | InfinitesRP<br>CM25C | BioPCM27Q25 |
| 20.11 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 % |             |                      |             |                      |             |
|----------|---------|---------------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
|          |         | İnfinitesRP<br>CM21C      | BioPCM27Q21 | İnfinitesRP<br>CM23C | BioPCM27Q23 | İnfinitesRP<br>CM25C | BioPCM27Q25 |
| 11.20 mm | Ocak    | 3.55                      | 4.01        | 3.11                 | 4.01        | 2.55                 | 4.00        |
|          | Şubat   | 2.56                      | 3.63        | 2.11                 | 3.63        | 1.95                 | 3.63        |
|          | Mart    | 4.14                      | 5.00        | 3.70                 | 5.00        | 3.41                 | 4.99        |
|          | Nisan   | 9.14                      | 3.35        | 7.04                 | 3.30        | 4.42                 | 3.17        |
|          | Mayıs   | 14.25                     | -3.23       | 13.19                | -3.40       | 7.91                 | -4.06       |
|          | Haziran | 0.27                      | 0.55        | 0.56                 | 0.54        | 0.60                 | 0.48        |
|          | Temmuz  | 0.35                      | 0.43        | 0.36                 | 0.42        | 0.42                 | 0.35        |
|          | Ağustos | 0.38                      | 0.43        | 0.36                 | 0.43        | 0.41                 | 0.43        |
|          | Eylül   | -1.36                     | -2.90       | 5.73                 | -3.15       | 6.74                 | -3.86       |
|          | Ekim    | 21.33                     | -3.98       | 15.59                | -4.14       | 7.33                 | -4.66       |
|          | Kasım   | 7.04                      | 4.73        | 4.77                 | 4.72        | 3.82                 | 4.69        |
|          | Aralık  | 3.46                      | 4.91        | 3.29                 | 4.91        | 3.28                 | 4.91        |
| 22.40 mm | Ocak    | 4.18                      | 5.85        | 4.07                 | 5.84        | 3.12                 | 5.84        |
|          | Şubat   | 3.01                      | 5.53        | 2.37                 | 5.53        | 2.34                 | 5.53        |
|          | Mart    | 4.40                      | 6.99        | 4.03                 | 6.98        | 3.77                 | 6.97        |
|          | Nisan   | 14.82                     | 6.08        | 8.92                 | 6.02        | 5.25                 | 5.86        |
|          | Mayıs   | 27.72                     | 1.12        | 28.06                | 0.86        | 20.72                | -0.08       |
|          | Haziran | 0.69                      | 0.95        | 0.98                 | 0.98        | 1.02                 | 0.94        |
|          | Temmuz  | 0.70                      | 0.85        | 0.78                 | 0.85        | 0.84                 | 0.84        |
|          | Ağustos | 0.75                      | 0.85        | 0.77                 | 0.85        | 0.83                 | 0.85        |
|          | Eylül   | -0.63                     | -0.04       | 6.59                 | -0.51       | 10.45                | -2.05       |
|          | Ekim    | 28.56                     | -0.29       | 31.09                | -0.58       | 20.09                | -1.36       |
|          | Kasım   | 9.93                      | 7.07        | 6.80                 | 7.06        | 5.48                 | 7.01        |
|          | Aralık  | 3.73                      | 6.71        | 3.68                 | 6.71        | 3.68                 | 6.71        |
| 33.00 mm | Ocak    | 5.18                      | 7.55        | 4.91                 | 7.55        | 3.69                 | 7.55        |
|          | Şubat   | 3.16                      | 7.26        | 2.77                 | 7.27        | 2.77                 | 7.28        |
|          | Mart    | 4.63                      | 8.81        | 4.29                 | 8.81        | 4.09                 | 8.80        |
|          | Nisan   | 22.97                     | 8.54        | 11.45                | 8.48        | 5.44                 | 8.32        |
|          | Mayıs   | 34.14                     | 5.31        | 33.70                | 4.88        | 25.38                | 3.49        |
|          | Haziran | 1.10                      | 1.33        | 1.41                 | 1.38        | 1.43                 | 1.38        |
|          | Temmuz  | 1.10                      | 1.27        | 1.20                 | 1.27        | 1.26                 | 1.27        |
|          | Ağustos | 1.14                      | 1.27        | 1.19                 | 1.27        | 1.25                 | 1.27        |
|          | Eylül   | -0.02                     | 2.63        | 7.23                 | 2.12        | 11.16                | -0.20       |
|          | Ekim    | 34.11                     | 3.12        | 38.84                | 2.68        | 31.55                | 1.59        |
|          | Kasım   | 15.60                     | 9.21        | 8.86                 | 9.20        | 7.35                 | 9.14        |
|          | Aralık  | 4.13                      | 8.36        | 4.12                 | 8.36        | 4.12                 | 8.36        |

Tablo 25. Tip1 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

|          |         | Soğutma Enerjisi Kazancı % |              |                  |              |                  |              |
|----------|---------|----------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
|          |         | InfinitesRPCM21C           | BioPCM27/Q21 | InfinitesRPCM23C | BioPCM27/Q23 | InfinitesRPCM25C | BioPCM27/Q25 |
| 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 % |             |                  |             |                  |             |
|----------|---------|----------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
|          |         | InfinitelRPCM23C           | BioPCM27Q23 | InfinitelRPCM23C | BioPCM27Q23 | InfinitelRPCM23C | BioPCM27Q23 |
| 22.20 mm | Tip 2   |                            |             |                  |             |                  |             |
|          | 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       |
| 22.60 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 % |             |                 |             |                 |             |
|----------|---------|----------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|          |         | İnfiniteRPCM21C            | BioPCM27Q21 | İnfiniteRPCM23C | BioPCM27Q23 | İnfiniteRPCM25C | BioPCM27Q25 |
| 11.20 mm | Tip 3   |                            |             |                 |             |                 |             |
|          | 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       |

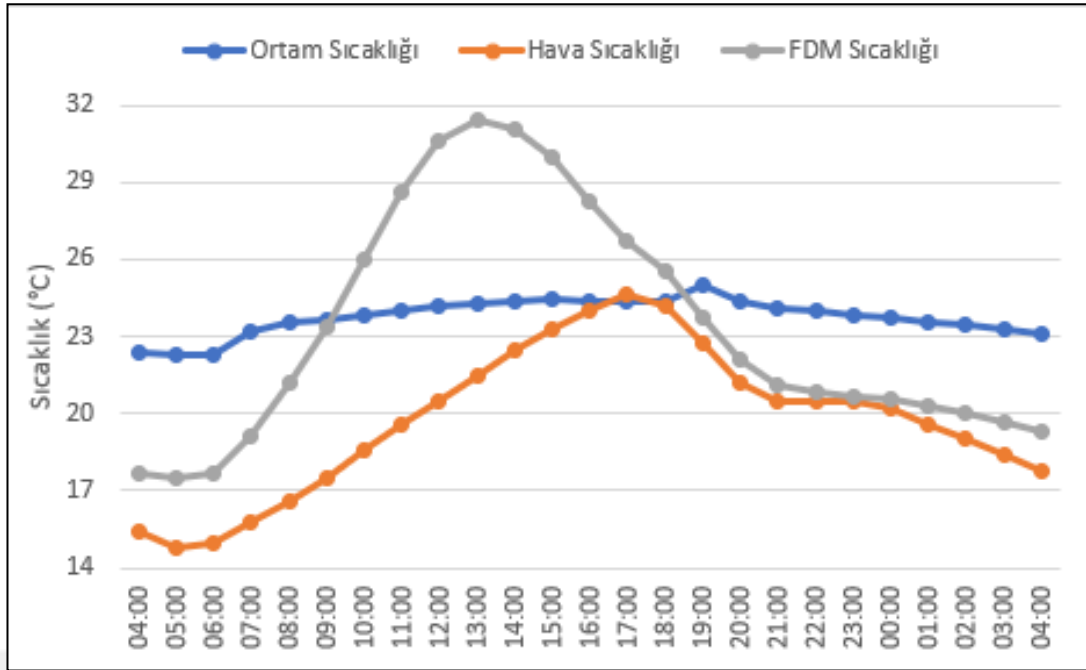
Tablo 28. Tip 4 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

|         |         | Soğutma Enerjisi Kazancı % |             |                      |             |                      |             |
|---------|---------|----------------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
|         |         | InfinitesRP<br>CM23C       | BioPCM27Q23 | InfinitesRP<br>CM23C | BioPCM27Q23 | InfinitesRP<br>CM23C | BioPCM27Q23 |
| 22.0 mm | Tip 4   |                            |             |                      |             |                      |             |
|         | 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                |             |
| 22.4 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       |
| 23.0 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       |

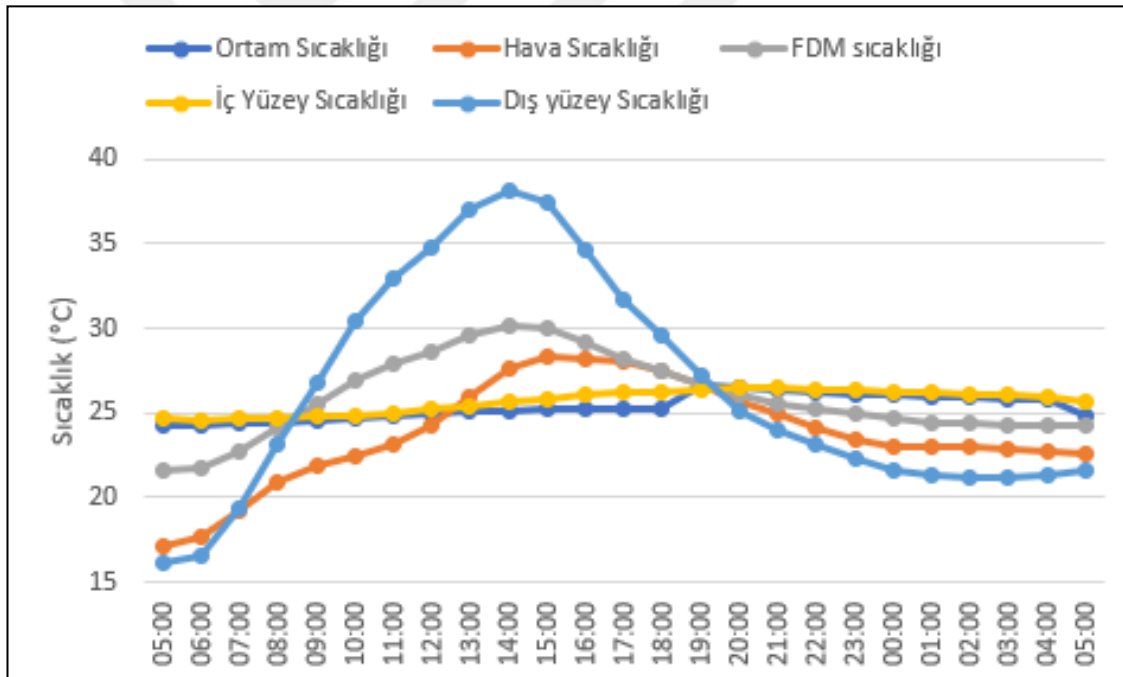
Tablo 29. Tip 5 model villanın aylık soğutma enerjisi kazançları

|          |         | Soğutma Enerjisi Kazancı % |              |                  |              |                  |              |
|----------|---------|----------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| Tip 5    |         | InfinitelRPCM23C           | BioRPCM27Q23 | InfinitelRPCM23C | BioRPCM27Q23 | InfinitelRPCM23C | BioRPCM27Q23 |
|          |         |                            |              |                  |              |                  |              |
| 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         |
| 33.90 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 olanlarda 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.



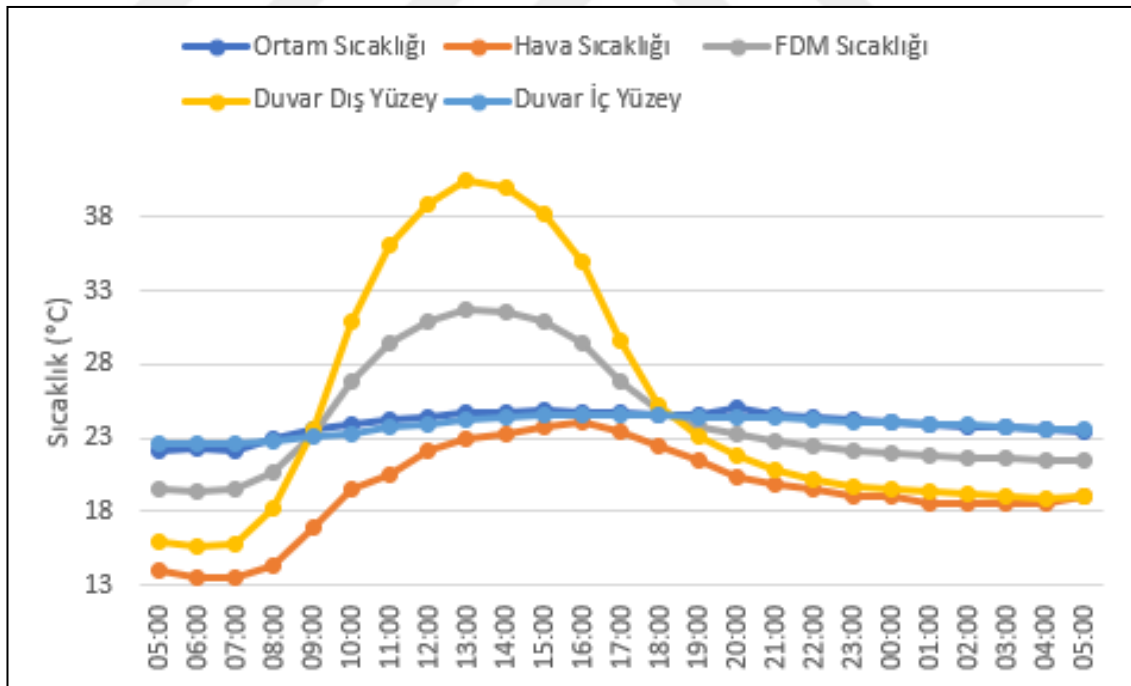
Şekil 37. 21 Mayıs tarihli Tip1 11.20 mm İnfiniteRPCM21C'nin saatlik sıcaklık değişimi



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

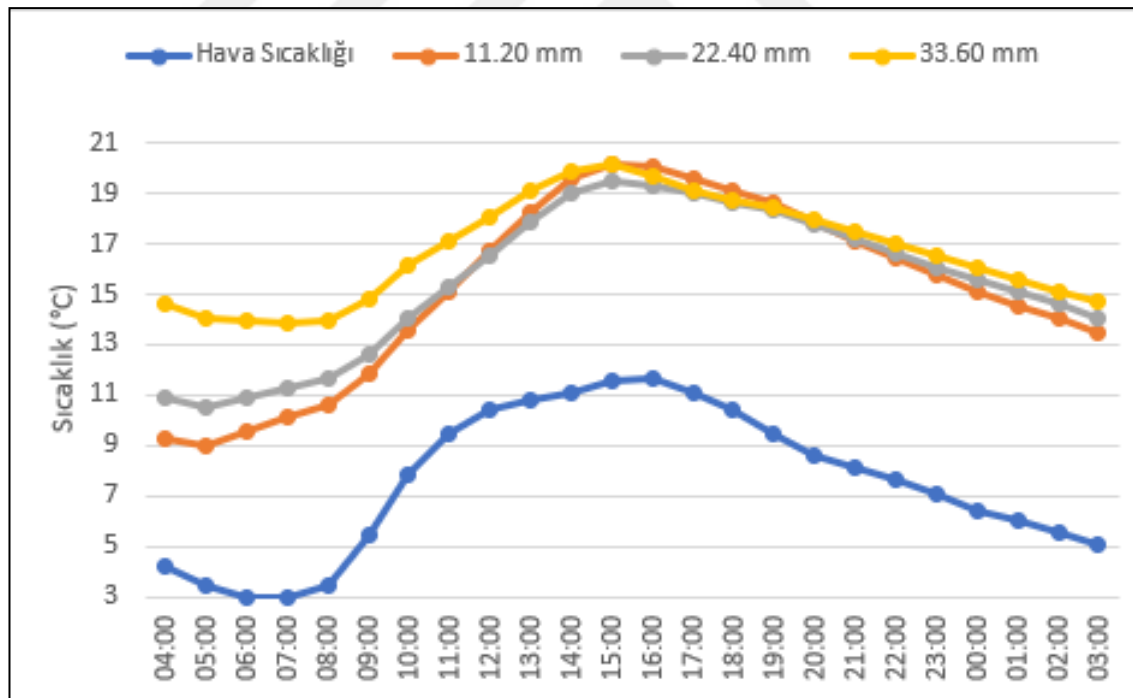
Ekim ayı performansına bakıldığında, 21°C erime sıcaklığındaki versiyonunun güneşten aldığı ısı sayesinde eriyebildiği için %38.94 kazanç ile çok yüksek verimli ısıtma kazancı sağladığı, 23°C erime sıcaklığındaki versiyonunun biraz daha düşük olarak %32.22 oranında ısıtma kazancı sağladığı, aynı koşullarda 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

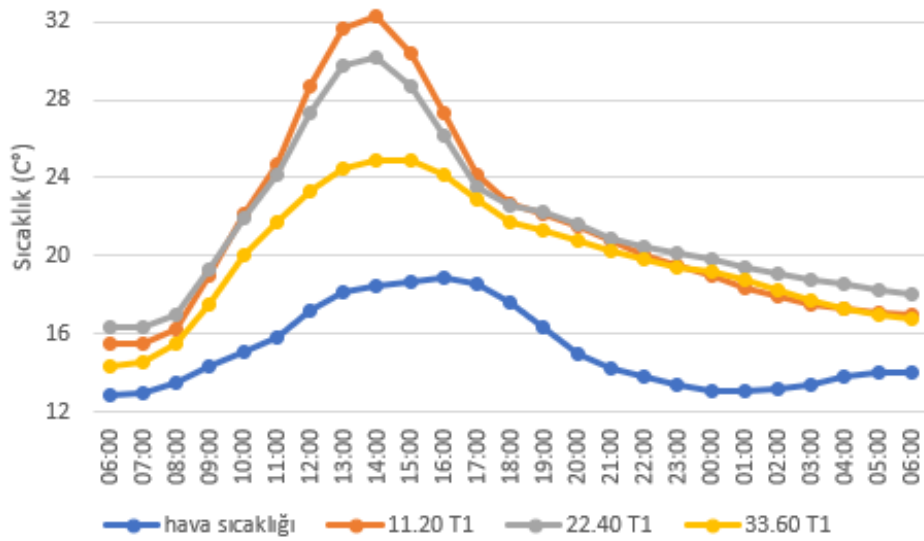
görülmüştür. BioPCMM27'in performansı erime sıcaklığına göre incelendiğinde 21°C erime sıcaklığının tüm aylarda en iyi ısıtma enerjisi performansı gösterdiği kalınlık arttıkça kazancın arttığı, erime sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı, 23°C ve 25°C erime sıcaklıklarında kalınlığın artması ile kazancın değişmediği görülmektedir. Tip3 modelde erime sıcaklığı arttıkça kazancın düştüğü, mevsim geçişlerinde güneşten gelen ışınım 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

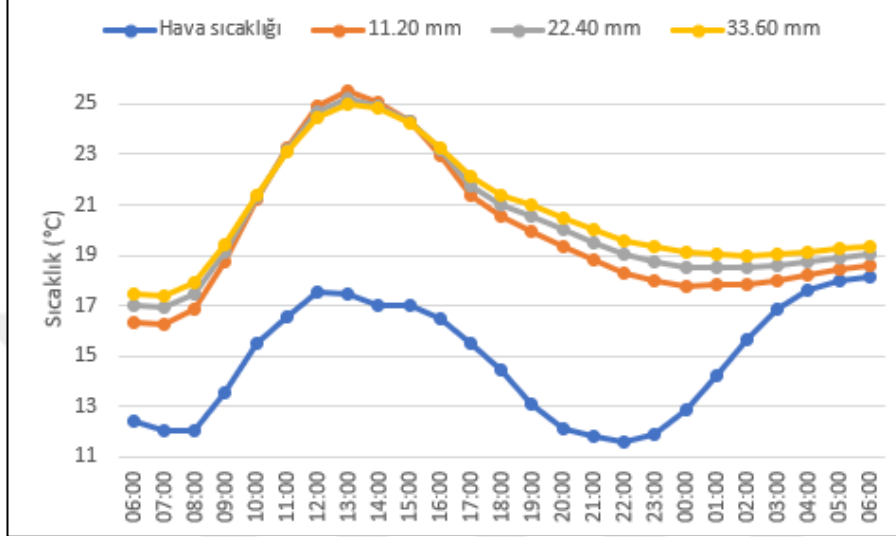
kalınlığı kullanıldığında erime sıcaklığındaki artışın ısıtma enerjisi kazancında olumlu bir etki etmediği görülmektedir. BioPCMM27'in 22.40 mm ve 33.60 mm kalınlıkları kullanıldığında ise 21°C ki ısıtma enerjisi kazancının daha yüksek olduğu erime sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı yani 23°C erime 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

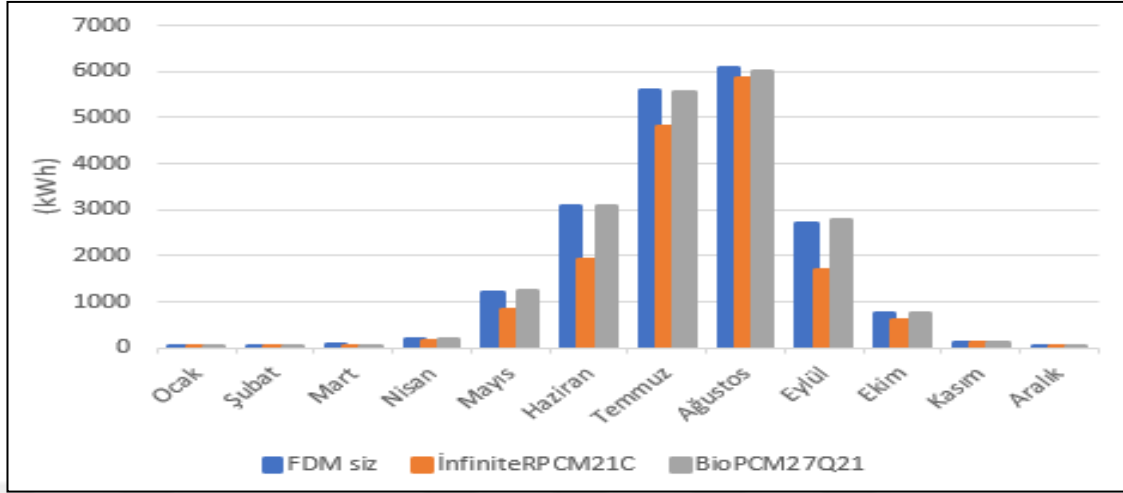
performansı irdelendiğinde 21°C erime sıcaklığında 33.60 mm kalınlıkta kullanımının en yüksek ısıtma kazancı sağladığı belirtilmiştir. Analiz sonuçları erime sıcaklıklarına göre incelendiğinde ise erime sıcaklık artışının verimi etkilemediği görülmektedir. Spesifik olarak seçilen 31 Ekim tarihli Tip5 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 çıktılarında 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

|                | <b>Tip 1</b>    | <b>Tip 2</b>    | <b>Tip 3</b>    | <b>Tip 4</b>    | <b>Tip 5</b>    |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Ocak</b>    | 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           |
| <b>Şubat</b>   | 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           |
| <b>Mart</b>    | 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          | -               |
| <b>Nisan</b>   | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | -               |
|                | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | -               |
|                | %40.43          | %33.53          | %39.73          | %25.96          | -               |
| <b>Mayıs</b>   | İnfiniteRPCM23C | İnfiniteRPCM23C | İnfiniteRPCM23C | İnfiniteRPCM23C | -               |
|                | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | -               |
|                | %41.34          | %56.65          | %68.88          | %46.20          | -               |
| <b>Haziran</b> | 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          |
| <b>Temmuz</b>  | 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          |
| <b>Ağustos</b> | 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)

|               | <b>Tip 1</b>    | <b>Tip 2</b>    | <b>Tip 3</b>    | <b>Tip 4</b>    | <b>Tip 5</b>    |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Eylül</b>  | 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          |
| <b>Ekim</b>   | İnfiniteRPCM25C | İnfiniteRPCM23C | İnfiniteRPCM23C | İnfiniteRPCM21C | -               |
|               | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | -               |
|               | %63.96          | %61.80          | %69.74          | %59.67          | -               |
| <b>Kasım</b>  | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | BioPCM27Q21     | -               |
|               | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | 33.60 mm        | -               |
|               | %42.69          | %21.34          | %25.97          | %21.19          | -               |
| <b>Aralık</b> | 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

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

|                | <b>Tip 1</b>    | <b>Tip 2</b>    | <b>Tip 3</b>    | <b>Tip 4</b>    | <b>Tip 5</b>    |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Ocak</b>    | 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           |
| <b>Şubat</b>   | 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           |
| <b>Mart</b>    | 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           | -               |
| <b>Nisan</b>   | 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           | -               |
| <b>Mayıs</b>   | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | -               |
|                | 33.60 mm        | 22.40 mm        | 22.40 mm        | 33.60 mm        | -               |
|                | %26.11          | %12.84          | %31.74          | %13.80          | -               |
| <b>Haziran</b> | 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          |
| <b>Temmuz</b>  | 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)

|                | <b>Tip 1</b>    | <b>Tip 2</b>    | <b>Tip 3</b>    | <b>Tip 4</b>    | <b>Tip 5</b>    |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Ağustos</b> | 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          |
| <b>Eylül</b>   | 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          |
| <b>Ekim</b>    | İnfiniteRPCM21C | -               | İnfiniteRPCM21C | İnfiniteRPCM21C | -               |
|                | 33.60 mm        | -               | 22.40 mm        | 11.20 mm        | -               |
|                | %18.06          | -               | %23.04          | %6.70           | -               |
| <b>Kasım</b>   | 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          | -               |
| <b>Aralık</b>  | 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

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

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

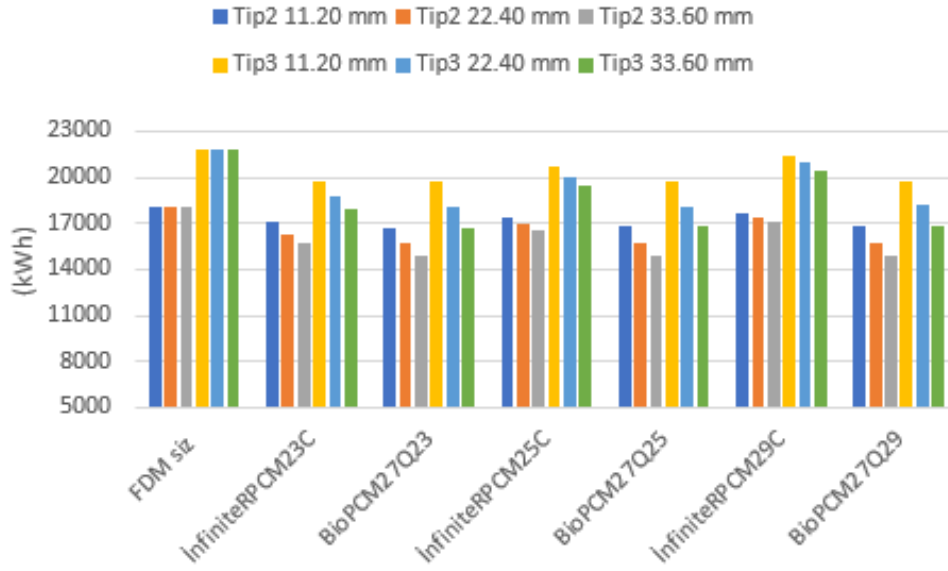
Tablo 35. İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları

|      |          | 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

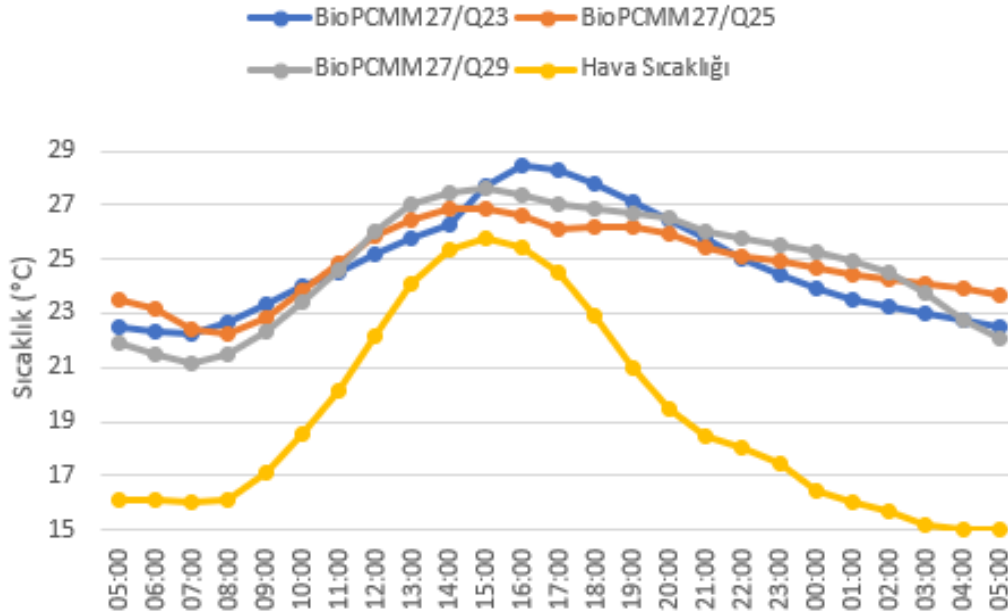
|             |             | <b>İnfiniteRPCM23C</b>    |                            | <b>BioPCM27/Q23</b>       |                            |
|-------------|-------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>23°C</b> |             | Isıtma Enerjisi Kazancı % | Soğutma Enerjisi Kazancı % | Isıtma Enerjisi Kazancı % | Soğutma Enerjisi Kazancı % |
|             | <b>Tip2</b> | 11.20 mm                  | 5.40                       | 8.75                      | 6.98                       |
| 22.40 mm    |             | 9.51                      | 14.78                      | 12.76                     | -0.18                      |
| 33.60 mm    |             | 12.97                     | 17.09                      | 17.65                     | -0.29                      |
| <b>Tip3</b> | 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                       |
|             |             | <b>İnfiniteRPCM25C</b>    |                            | <b>BioPCM27/Q25</b>       |                            |
| <b>25°C</b> |             | Isıtma Enerjisi Kazancı % | Soğutma Enerjisi Kazancı % | Isıtma Enerjisi Kazancı % | Soğutma Enerjisi Kazancı % |
|             | <b>Tip2</b> | 11.20 mm                  | 3.31                       | 6.10                      | 6.92                       |
| 22.40 mm    |             | 5.77                      | 6.60                       | 12.67                     | -0.65                      |
| 33.60 mm    |             | 8.13                      | 6.20                       | 17.58                     | -0.54                      |
| <b>Tip3</b> | 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                       |
|             |             | <b>İnfiniteRPCM29C</b>    |                            | <b>BioPCM27/Q29</b>       |                            |
| <b>29°C</b> |             | Isıtma Enerjisi Kazancı % | Soğutma Enerjisi Kazancı % | Isıtma Enerjisi Kazancı % | Soğutma Enerjisi Kazancı % |
|             | <b>Tip2</b> | 11.20 mm                  | 1.85                       | -11.88                    | 6.91                       |
| 22.40 mm    |             | 3.58                      | -15.70                     | 12.69                     | -0.67                      |
| 33.60 mm    |             | 5.28                      | -17.24                     | 17.58                     | -0.82                      |
| <b>Tip3</b> | 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 BioPCMM27'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

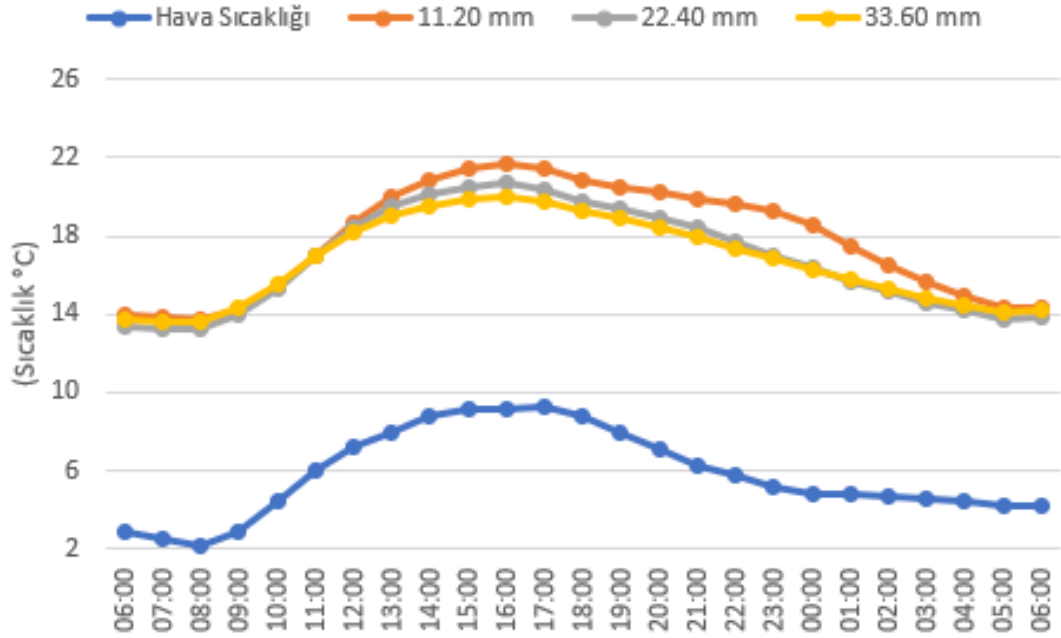
BioPCMM27’in ısıtma enerjisi kazancı kullanılan farklı kalınlıklar dikkate alınarak incelendiğinde kalınlık arttıkça doğrusal orantılı olarak ısıtma kazancı veriminin de arttığı, BioPCMM27’in erime sıcaklığı arttıkça performansının çok düşük oranlarda da olsa azaldığı görülmüştür. Spesifik olarak seçilen 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

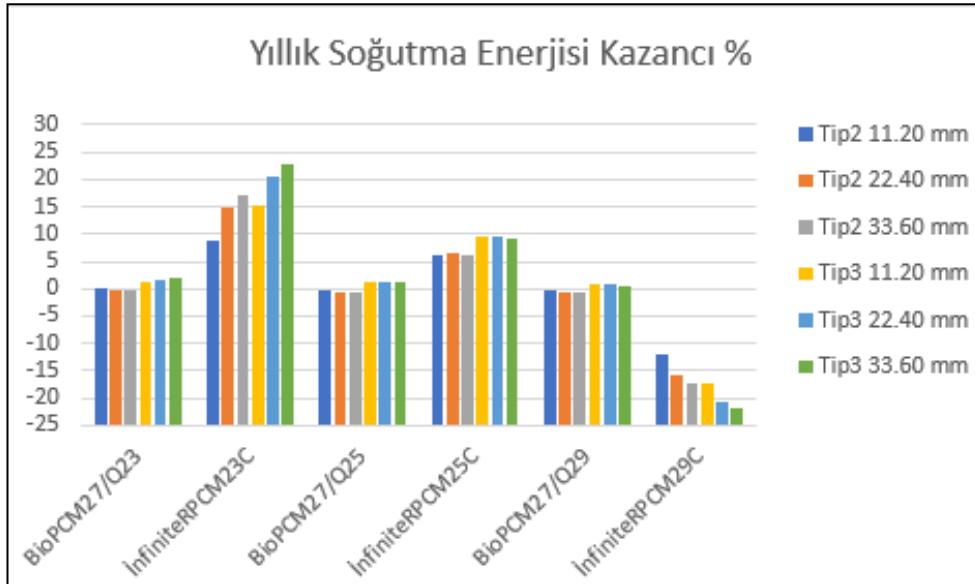
İnfiniteRPCM’in yıllık ısıtma enerjisi kazancı kullanılan farklı kalınlıklar dikkate alınarak irdelendiğinde İnfiniteRPCM’in kalınlığı arttıkça performansının azaldığı

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.



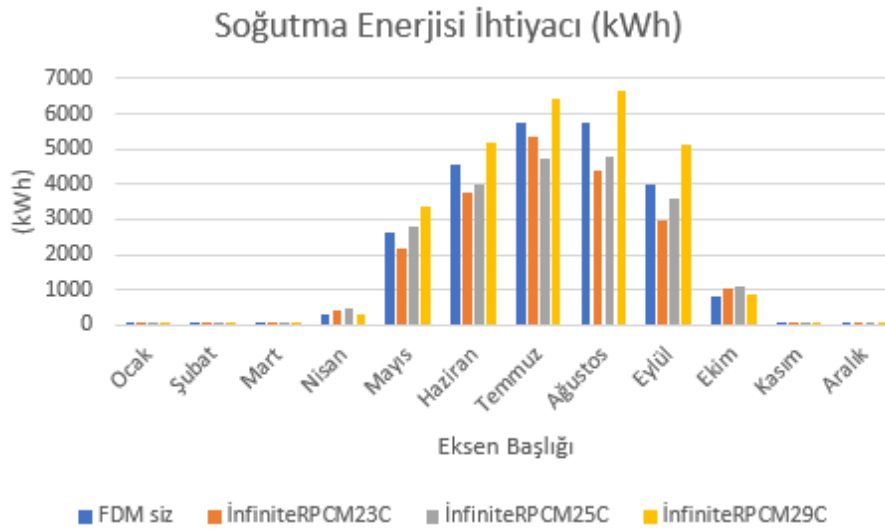
Şekil 46. 29 Ocak tarihli Tip3 model İnfiniteRPCM23C'nin tüm kalınlıklarına ait FDM'lerin saatlik sıcaklık değişimi

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.



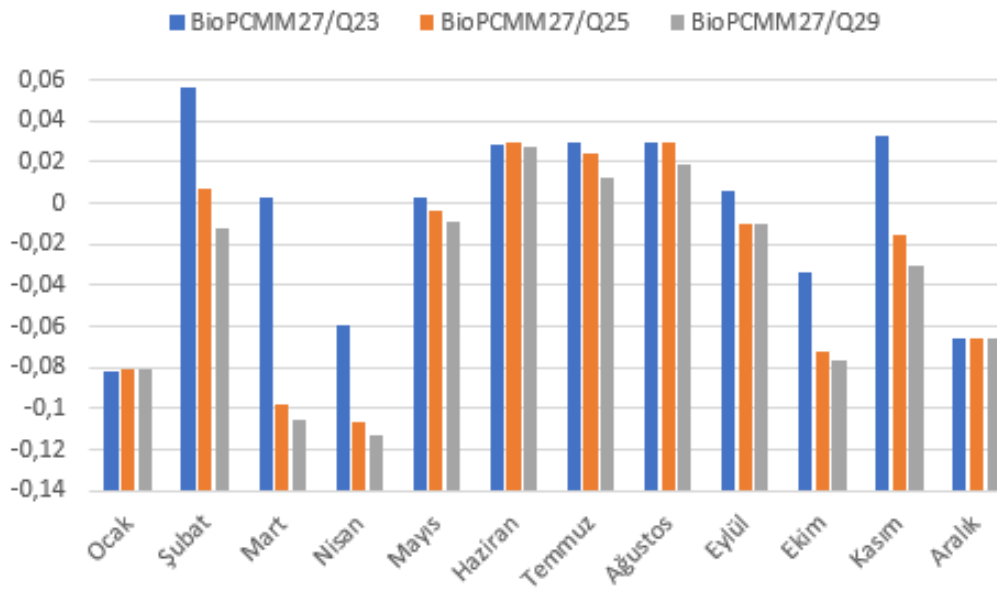
Şekil 47. İzmir lokasyonlu FDM’li villanın yıllık soğutma enerjisi kazancı

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 ısıl 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., Martín, 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.
- 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 kullanımında güneş ışıını katkıının 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 Yönlere Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir. *Megaron*, 6(1).

- Yilmaz, B. (2009). *Binalarda enerji verimliliği ve sŸrdŸrŸlebilirlik*. Yayınlanmamış YŸksek lisans tezi, İstanbul Teknik Ÿniversitesi, 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)

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

Ek 1. (Devamı)

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

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

Ek 1. (Devamı)

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

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

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

Ek 1. (Devamı)

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

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

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

Ek 1. (Devamı)

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

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

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

Ek 1. (Devamı)

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

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

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

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

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

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

Ek 1. (Devamı)

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

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

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

Ek 1. (Devamı)

| <b>11.20 mm BioPCMM27/Q25 Isıtma Enerjisi (kWh)</b> |             |             |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | <b>Tip1</b> | <b>Tip2</b> | <b>Tip3</b> | <b>Tip4</b> | <b>Tip5</b> |
| <b>Ocak</b>   | 4339.6720   | 6176.5580   | 7063.1647   | 7085.5910   | 4251.9565   |
| <b>Şubat</b>  | 4249.3133   | 6162.5821   | 7045.5510   | 7065.5407   | 4181.6531   |
| <b>Mart</b>   | 3050.0220   | 4487.6357   | 5136.5617   | 5158.0663   | 2961.3507   |
| <b>Nisan</b>  | 1233.2474   | 1994.7799   | 2371.8823   | 2375.9715   | 1231.2767   |
| <b>Mayıs</b>  | 238.1177    | 467.3771    | 633.2867    | 626.9612    | 261.7943    |
| <b>Haziran</b>                                      | 75.2961     | 73.9279     | 80.3459     | 79.6208     | 75.2499     |
| <b>Temmuz</b>                                       | 86.3683     | 84.0947     | 87.8630     | 87.7747     | 86.4268     |
| <b>Ağustos</b>                                      | 82.5899     | 80.4035     | 83.5656     | 83.5466     | 82.5809     |
| <b>Eylül</b>  | 87.8363     | 100.3954    | 124.9856    | 123.0889    | 94.2390     |
| <b>Ekim</b>   | 344.1220    | 598.0391    | 787.6370    | 780.4920    | 375.1628    |
| <b>Kasım</b>  | 1665.5576   | 2608.7147   | 3037.0547   | 3052.0777   | 1630.4567   |
| <b>Aralık</b>                                       | 3564.5818   | 5110.6727   | 5762.8798   | 5794.4750   | 3458.7787   |

| <b>22.40 mm BioPCMM27/Q25 Isıtma Enerjisi (kWh)</b> |             |             |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | <b>Tip1</b> | <b>Tip2</b> | <b>Tip3</b> | <b>Tip4</b> | <b>Tip5</b> |
| <b>Ocak</b>   | 4257.2220   | 5867.8169   | 6583.2727   | 6620.6890   | 4170.5016   |
| <b>Şubat</b>  | 4167.2182   | 5843.8847   | 6555.4616   | 6588.5692   | 4099.1981   |
| <b>Mart</b>   | 2988.7674   | 4248.4430   | 4768.9923   | 4805.2726   | 2899.4528   |
| <b>Nisan</b>  | 1197.3462   | 1865.9877   | 2176.4804   | 2183.4746   | 1197.1715   |
| <b>Mayıs</b>  | 226.6323    | 422.4757    | 559.4987    | 548.5466    | 251.7777    |
| <b>Haziran</b>                                      | 74.9808     | 73.4113     | 78.3653     | 77.4967     | 74.9050     |
| <b>Temmuz</b>                                       | 86.0043     | 83.7291     | 87.2993     | 87.2060     | 86.0041     |
| <b>Ağustos</b>                                      | 82.2419     | 80.0617     | 83.1690     | 83.1673     | 82.2333     |
| <b>Eylül</b>  | 85.3796     | 96.2767     | 116.9166    | 114.0322    | 92.5937     |
| <b>Ekim</b>   | 331.3619    | 548.0057    | 706.2387    | 693.1016    | 363.3439    |
| <b>Kasım</b>  | 1624.3779   | 2454.4936   | 2798.9414   | 2823.1660   | 1590.6926   |
| <b>Aralık</b>                                       | 3498.2283   | 4861.4615   | 5374.6893   | 5427.2581   | 3393.2195   |

| <b>33.60 mm BioPCMM27/Q25 Isıtma Enerjisi (kWh)</b> |             |             |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | <b>Tip1</b> | <b>Tip2</b> | <b>Tip3</b> | <b>Tip4</b> | <b>Tip5</b> |
| <b>Ocak</b>   | 4181.8925   | 5606.6191   | 6196.2815   | 6242.8361   | 4095.1107   |
| <b>Şubat</b>  | 4091.5903   | 5573.5322   | 6160.3534   | 6201.2399   | 4023.4890   |
| <b>Mart</b>   | 2932.2622   | 4045.2132   | 4471.3059   | 4517.5003   | 2842.5003   |
| <b>Nisan</b>  | 1164.5749   | 1756.7433   | 2018.5744   | 2026.8996   | 1165.8432   |
| <b>Mayıs</b>  | 216.8306    | 386.1371    | 501.0183    | 487.9784    | 242.7830    |
| <b>Haziran</b>                                      | 74.6647     | 72.9811     | 77.0030     | 76.4110     | 74.5694     |
| <b>Temmuz</b>                                       | 85.6410     | 83.3703     | 86.6321     | 86.6371     | 85.6347     |
| <b>Ağustos</b>                                      | 81.8938     | 79.7202     | 82.8193     | 82.8171     | 81.8861     |
| <b>Eylül</b>  | 83.6382     | 92.7100     | 110.4733    | 107.7245    | 90.9164     |
| <b>Ekim</b>   | 319.7706    | 507.2921    | 642.4569    | 625.6568    | 352.7609    |
| <b>Kasım</b>  | 1586.2021   | 2323.2994   | 2607.0582   | 2635.6914   | 1554.2573   |
| <b>Aralık</b>                                       | 3436.8430   | 4649.8450   | 5062.3227   | 5127.1829   | 3333.1655   |

Ek 1. (Devamı)

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

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

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

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

| 11.20 mm | İnfiniteRPCM23C |           | BioPCMM27/Q23 |           |
|----------|-----------------|-----------|---------------|-----------|
|          | Tip2            | Tip3      | Tip2          | Tip3      |
|          | Ocak            | 4094.3467 | 4715.4256     | 3919.0348 |
| 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 |
| 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 |
| 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)

| Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh) | 11.20 mm  | İnfiniteRPCM25C |           | BioPCMM27/Q25 |           |
|--------------------------------|-----------|-----------------|-----------|---------------|-----------|
|                                |           | Tip2            | Tip3      | Tip2          | Tip3      |
|                                |           | Ocak            | 4120.2564 | 4828.6144     | 3919.1029 |
| 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     |           |
| Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh) | 22.40 mm  | İnfiniteRPCM25C |           | BioPCMM27/Q25 |           |
|                                |           | Tip2            | Tip3      | Tip2          | Tip3      |
|                                |           | Ocak            | 4067.8537 | 4738.7500     | 3703.8769 |
| 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     |           |
| Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh) | 33.60 mm  | İnfiniteRPCM25C |           | BioPCMM27/Q25 |           |
|                                |           | Tip2            | Tip3      | Tip2          | Tip3      |
|                                |           | Ocak            | 4017.4074 | 4670.1388     | 3520.0731 |
| 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     |           |

Ek 2. (Devamı)

|         | 11.20 mm  | İnfiniteRPCM29C |           | BioPCMM27/Q29 |           |
|---------|-----------|-----------------|-----------|---------------|-----------|
|         |           | Tip2            | Tip3      | Tip2          | Tip3      |
|         |           | Ocak            | 4120.3695 | 4846.6553     | 3919.0789 |
| 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 |
| 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 |
| 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     |           |

İstima Enerjisi İhtiyacı (kWh)

| 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   |

Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)

| 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   |

Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)

| 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   |

Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)

## 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.

