

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNALARIN
UYGULANABİLİRLİĞİ VE EKONOMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS

Ceyhun AKPINAR

ARALIK-2023

GÜMÜŞHANE



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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNALARIN
UYGULANABİLİRLİĞİ VE EKONOMİK ANALİZİ**

**APPLICABILITY AND ECONOMIC ANALYSIS OF ZERO ENERGY
BUILDINGS FOR DIFFERENT CLIMATE REGIONS**

YÜKSEK LİSANS

Ceyhun AKPINAR

ARALIK-2023

GÜMÜŞHANE



T.C.

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNALARIN
UYGULANABİLİRLİĞİ VE EKONOMİK ANALİZİ

APPLICABILITY AND ECONOMIC ANALYSIS OF ZERO ENERGY
BUILDINGS FOR DIFFERENT CLIMATE REGIONS

YÜKSEK LİSANS

Ceyhun AKPINAR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Meryem TERHAN

ARALIK-2023

GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Farklı İklim Bölgeleri İçin Sıfır Enerjili Binaların Uygulanabilirliği ve Ekonomik Analizi**” 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.

25/12/2023

Ceyhun AKPINAR

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren, çalışmanın her aşamasında yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Meryem TERHAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli annem ve babama, tüm kararlarımda sonucu ne olursa olsun doğruya yönlendirmekten başka gayesi olmayan ve hayat boyunca bana arkadaş aratmayan değerli ağabeyim Burak AKPINAR'a ve birlikte omuzladığımız hayatın yükünü sırtımdan eksiltip hep kolaylaştıran, her koşulda desteğini daima arkamda hissettiğim değerli eşim Buse AKPINAR'a son olarak da bilimin ışığında yetişmesi için tüm gücümle gayret edeceğim, ailemize yeni bir dünyanın kapılarını açan oğlum Dağhan AKPINAR'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ceyhun AKPINAR
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Fosil yakıtlar, günümüzde enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük bir rol oynamaktadır. Fosil yakıtların ömrü ise artan enerji ihtiyacı ile orantılı olarak kısalmaktadır. Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak, büyük bir önem arz etmektedir. Bundan ötürü alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeler enerji alanında yapılan çalışmalar neticesinde artmıştır. Binalarda tüketilen enerjinin azaltılması Dünya’da tüketilen fosil yakıtların %35-40’ının binalarda kullanıldığı düşünüldüğünde enerji tasarrufu ve enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir. Tüm bu sebeplerden ötürü, binalarda yenilenebilir enerji kullanımını artırmak, bu kaynaklara yönelmek ve sıfır enerjili bina uygulamaları üzerine çalışmak zorunlu hale gelmektedir. Bu tez kapsamında Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında farklı bölgeleri araştırılarak sıfır enerjili bina uygulamalarının bu bölgelerde ilk yatırım maliyetini amorti ettiği zaman aralıkları ve ekonomik analizleri ile yaygınlaştırılabileceğinin gerçekliği araştırılmıştır. Tez çalışmasında İzmir, Ankara ve İstanbul illerinde inşası tasarlanan aynı yapısal özelliklere sahip bina, enerji simülasyon programı DesignBuilder programında çizilerek enerji simülasyonları EnergyPlus programında yapılmıştır. İhtiyaç olan enerjiyi karşılamak üzere yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sıfır enerjili binaların uygulanabilirliği araştırılmış ve ekonomik analizi yapılmıştır. Farklı iklim bölgelerinde sıfır enerjili bina ya da yaklaşık sıfır enerjili binaların uygulanabileceğinin mümkün olduğu sonucuna varılmış ve ilk yatırım maliyetleri, bakım giderleri gibi giderlerin de amorti edileceği zaman aralığı ekonomik analiz yöntemi ile farklı iklim tipleri için belirlenmiştir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre farklı çözüm paketleri ile İzmir, Ankara ve İstanbul illerinin tümünde net sıfır enerjili bina sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan ekonomik analizlerde İzmir, Ankara ve İstanbul illerinin tümünde geri ödeme süresinin yatırımın ekonomik ömrü içerisinde kısa ve orta vadede kendini amorti ettiği ve uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Enerji verimliliği, Sıfır enerjili bina, Ekonomik analiz, DesignBuilder

SUMMARY

Fossil fuels play a major role in meeting today's energy needs. The lifespan of fossil fuels is constantly shortening with increasing energy consumption. Reducing dependence on fossil fuels is of great importance. For this reason, the trend towards alternative and renewable energy sources has increased as a result of studies carried out in the field of energy. In a year where 35-40% of the fossils consumed in the world are grown, the energy used in production is very important. In this direction, strengthening studies in education and directing these resources make it necessary to work on energy building applications. Due to the energy use of the uses within the scope of this thesis, the economy of using energy building applications, which benefit from standard usage areas in Turkey, can be disseminated with time intervals and comprehensive analyzes like a morti from these general usage plans. In the thesis study, the building with the same structural features, which was designed to be constructed in the provinces of Izmir, Ankara and Istanbul, was drawn in the energy simulation program DesignBuilder program and the energy simulations were made in the EnergyPlus Program. Planning the energy needed and economic analysis. There are different options for climate options, such as re-conditioning of different climate types, close-zone general appearance, and amortization of expenses such as going out and using the economic method. According to the results obtained in the thesis study, zero energy building results were achieved in all provinces of Izmir, Ankara and Istanbul with different solution packages. In the economic analysis, it was concluded that the payback period pays for itself in the short and medium term within the economic life of the investment and is feasible in all provinces of Izmir, Ankara and Istanbul.

Keywords: Renewable energy, Energy efficiency, Zero energy building, Economic analysis, DesignBuilder

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji Verimliliği	1
1.2. Sıfır Enerjili Binalar.....	3
1.3. Dünyada Sıfır Enerjili Binaların Uygulama Çalışmaları.....	3
1.4. Türkiyede Sıfır Enerjili Binaların Uygulama Çalışmaları	3
2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	5
2.1. Isı Yalıtımı, Binaya Ait Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları	6
2.2. Binalarda Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanılması	6
2.3. Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemi	7
2.4. Sıcak Su İhtiyacı İçin Kullanılan Güneş Enerji Sistemleri	8
2.5. Isı Pompası Seçimi ve Hesabı	9
2.6. Gölgeleme Elemanlarının Kullanımı.....	11
2.7. Pencere Duvar Oranı	12
2.8. Aydınlatma ve Elektrikli Ekipman Kullanımı	13
2.9. Fotovoltaik Sistemler	13
3. LİTERATÜR ÖZETİ	15
4. MATERYAL VE YÖNTEM	18
4.1. DesignBuilder Enerji Simülasyon Programı ve PVGIS Fotovoltaik Sistem Tasarım Programı.....	18
4.2. Farklı İklim Tiplerinde Tasarlanan Örnek Binaların Ortak Yapısal Özellikleri	18
4.3. Ortak Yapısal Özellikler	19
4.4. Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları.....	26
4.4.1. Isı Kaybı Hesabı.....	26

4.4.2. Isı Kazancı Hesabı.....	27
4.5. Binalarda Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanımı ve Hesapları.....	28
4.6. Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemi Hesapları.....	28
4.7. Sıcak Su İhtiyacı İçin Kullanılan Güneş Enerji Sistemi Hesapları.....	31
4.8. Isı Pompası Seçimi ve Hesapları.....	32
4.9. Fotovoltaik Sistem Seçimi ve Hesapları.....	33
4.10. Ekonomik Analiz Yöntemleri.....	34
4.10.1. Net Bugünkü Değer(NBD) Yöntemi	35
4.10.2. Global Maliyet Analizi.....	35
4.10.3. Geri Ödeme Süresi (GÖS).....	36
4.10.4. İç Karlılık Oranı(İKO).....	37
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
5.1. Farklı İklim Tiplerinde Tasarlanan Örnek Binaların İyileştirmeler Yapılmadan Önceki Enerji Analizleri ile Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri	38
5.1.1. İzmir İli İçin İyileştirme Öncesi Enerji Analizi	38
5.1.2. İzmir İli İçin Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri.....	41
5.1.3. İzmir İli Enerji Etkin Bina İçin Ekonomik Analiz.....	93
5.1.4. Ankara İli İçin İyileştirme Öncesi Enerji Analizi	97
5.1.5. Ankara İli İçin Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri	100
5.1.6. Ankara İli Enerji Etkin Bina İçin Ekonomik Analiz.....	120
5.1.7. İstanbul İli İçin İyileştirme Öncesi Enerji Analizi	125
5.1.8. İstanbul İli İçin Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri	128
5.1.9. İstanbul İli Enerji Etkin Bina İçin Ekonomik Analiz.....	149
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	154
KAYNAKÇA.....	157
ÖZGEÇMİŞ	160

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. İzmir iline ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri.....	21
Tablo 2. Ankara iline ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri	21
Tablo 3. İstanbul iline ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri	22
Tablo 4. Boş bina duvar katman kalınlık ve ısı transfer katsayı tablosu	24
Tablo 5. Boş bina zemin katman kalınlık ve ısı transfer katsayı tablosu.....	25
Tablo 6. Boş bina çatı katman kalınlık ve ısı transfer katsayı tablosu.....	26
Tablo 7. İzmir ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü değerleri..	39
Tablo 8. İzmir ili için simüle edilen boş binanın toplam enerji tüketimi.	41
Tablo 9. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	44
Tablo 10. Duvar malzemesi boyut ve ısı kaybı karşılaştırması	45
Tablo 11. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	49
Tablo 12. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	53
Tablo 13. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri.	56
Tablo 14. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	61
Tablo 15. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri...	65
Tablo 16. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	69
Tablo 17. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	73
Tablo 18. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri.....	77
Tablo 19. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	80
Tablo 20. İzmir ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri.....	82
Tablo 21. İzmir ili için pencere duvar oranlarının yük değerlerine etkisi.....	83
Tablo 22. İzmir ili için pasif ve aktif çözümlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine etkisi.....	84

Tablo 23. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 10° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	91
Tablo 24. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	92
Tablo 25. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	92
Tablo 26. İzmir ili maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi.....	93
Tablo 27. İzmir ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırım maliyeti	94
Tablo 28. İzmir ili için sıfır enerjili bina tasarımı işletme ve bakım maliyet yıllık giderleri	94
Tablo 29. İzmir ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırımının yıllara göre enflasyon bazlı getirisi.....	95
Tablo 30. Ankara ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	98
Tablo 31. Ankara ili için simüle edilen boş binanın toplam enerji tüketimi.....	99
Tablo 32. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	102
Tablo 33. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	106
Tablo 34. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	110
Tablo 35. Ankara ili için pencere duvar oranının yük değerlerine etkisi.....	112
Tablo 36. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	114
Tablo 37. Ankara ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	116
Tablo 38. Ankara ili için pasif ve aktif çözümlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine etkisi.....	117
Tablo 39. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	119
Tablo 40. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	120
Tablo 41. Ankara ili maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi.....	121
Tablo 42. Ankara ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırım maliyeti	121

Tablo 43. Ankara ili için sıfır enerjili bina tasarımı işletme ve bakım maliyet yıllık giderleri	122
Tablo 44. Ankara ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırımının yıllara göre enflasyon bazlı getirisi.....	123
Tablo 45. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	126
Tablo 46. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın toplam enerji tüketimi.....	128
Tablo 47. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	131
Tablo 48. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	135
Tablo 49. İstanbul ili için pencere duvar oranının yük değerlerine etkisi.....	137
Tablo 50. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	139
Tablo 51. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	142
Tablo 52. İstanbul ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri	144
Tablo 53. İstanbul ili için pasif ve aktif çözümlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine etkisi.....	145
Tablo 54. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	148
Tablo 55. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları.....	149
Tablo 56. İstanbul ili maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi.....	150
Tablo 57. İstanbul ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırım maliyeti.....	150
Tablo 58. İstanbul ili için sıfır enerjili bina tasarımı işletme ve bakım maliyet yıllık giderleri	151
Tablo 59. İstanbul ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırımının yıllara göre enflasyon bazlı getirisi.....	152

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Binalarda enerji verimliliği uygulamaları.....	5
Şekil 2. Binalarda gece ve gündüz zamanlarda FDM.....	7
Şekil 3. Yerden ısıtma sistemi.....	7
Şekil 4. Yerden ısıtma sistemi saha uygulamaları	8
Şekil 5. Sıcak su ihtiyacı için güneş kollektörü	9
Şekil 6. Sıcak su ihtiyacı için güneş kollektörü saha uygulamaları.....	9
Şekil 7. Isı pompası çevrimi.....	10
Şekil 8. Isı pompası sistemi saha uygulamaları	11
Şekil 9. Pencereler için kullanılan çeşitli gölgeleme elemanları.....	12
Şekil 10. Farklı açılarla oluşturulan gölgeleme elemanları.....	12
Şekil 11. Farklı aydınlatma yerleşimi seçenekleri.....	13
Şekil 12. Fotovoltaik panel sistemi.....	14
Şekil 13. Farklı iklim tipleri için simüle edilen binanın üç boyutlu görünümü.....	19
Şekil 14. Simüle edilen boş binanın güney duvarına güneşin geliş açısı-1	20
Şekil 15. Simüle edilen boş binanın güney duvarına güneşin geliş açısı-2	20
Şekil 16. Boş bina duvar katmanları	23
Şekil 17. Boş bina duvar katman görünümü	23
Şekil 18. Boş bina zemin katmanları.....	24
Şekil 19. Boş bina zemin katman görünümü.....	24
Şekil 20. Boş bina çatı katmanları.....	25
Şekil 21. Boş bina çatı katman görünümü.....	25
Şekil 22. Boş bina pencere duvar oranı	26
Şekil 23. Çok katlı yapılarda ara döşemelerde hesap yöntemi.....	29
Şekil 24. Temel elemanları ile bir ısı pompası devresi şeması	32
Şekil 25. Güneş azimut açısı.....	34
Şekil 26. İzmir ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü grafiği ...	39
Şekil 27. İzmir ili için simüle edilen boş binanın günlük ısıtma soğutma yükü grafiği..	40
Şekil 28. İzmir ili için simüle edilen boş binanın saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği..	40
Şekil 29. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi	42
Şekil 30. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi katman görünümü	42
Şekil 31. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	43
Şekil 32. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	43

Şekil 33. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	44
Şekil 34. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği.....	45
Şekil 35. XPS yalıtım malzemesi ve uygulaması	46
Şekil 36. EPS yalıtım malzemesi ve uygulaması.....	47
Şekil 37. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi	47
Şekil 38. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü..	47
Şekil 39. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	48
Şekil 40. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	48
Şekil 41. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	49
Şekil 42. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	50
Şekil 43. İzmir ili için zeminde XPS yalıtım malzemesi seçimi	51
Şekil 44. İzmir ili için çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi	51
Şekil 45. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümleri	51
Şekil 46. İzmir ili için zeminde XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	52
Şekil 47. İzmir ili için çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri	52
Şekil 48. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	53
Şekil 49. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	54
Şekil 50. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	54
Şekil 51. İzmir ili için HVAC sistem seçimi.....	55
Şekil 52. İzmir ili için sıcak su sistemi seçimi	55
Şekil 53. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	56
Şekil 54. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi günlük ısıtma soğutma	

yükü grafiği.....	57
Şekil 55. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	57
Şekil 56. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi.....	58
Şekil 57. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi katman görünümü.....	58
Şekil 58. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	59
Şekil 59. İzmir ili için çatıda FDM seçimi.....	59
Şekil 60. İzmir ili için çatıda FDM seçimi katman görünümü.....	60
Şekil 61. İzmir ili için çatıda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	60
Şekil 62. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	61
Şekil 63. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	62
Şekil 64. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	62
Şekil 65. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi.....	63
Şekil 66. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi katman görünümü	64
Şekil 67. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	64
Şekil 68. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	65
Şekil 69. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği ...	66
Şekil 70. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	66
Şekil 71. İzmir ili için çatıda FDM seçimi	67
Şekil 72. İzmir ili için çatıda FDM seçimi katman görünümü.....	67
Şekil 73. İzmir ili için çatıda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	68
Şekil 74. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	68
Şekil 75. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	69
Şekil 76. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	70
Şekil 77. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi	71
Şekil 78. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi katman görünümü.....	71

Şekil 79. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	72
Şekil 80. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	72
Şekil 81. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	73
Şekil 82. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	74
Şekil 83. İzmir ili için çatıda FDM seçimi	75
Şekil 84. İzmir ili için çatıda FDM seçimi katman görünümü.....	75
Şekil 85. İzmir ili için çatıda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	76
Şekil 86. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	76
Şekil 87. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	77
Şekil 88. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	78
Şekil 89. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi.....	79
Şekil 90. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği...79	
Şekil 91. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	80
Şekil 92. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği...81	
Şekil 93. İzmir ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi.....	82
Şekil 94. İzmir ili için %15 pencere duvar oranı seçimi.....	83
Şekil 95. İzmir ili için %24 pencere duvar oranı seçimi.....	83
Şekil 96. İzmir ili için çatıda fotovoltaik panel sistemi kurulumu.....	86
Şekil 97. En verimli güneş paneli açısı.....	87
Şekil 98. Eğimli panel tasarımlarında gölgeleme faktöründen kaynaklı bırakılması gereken boşluklar.....	87
Şekil 99. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-1.....	88
Şekil 100. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-2.....	88
Şekil 101. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-3.....	88
Şekil 102. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-4.....	89
Şekil 103. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında yapılan lokasyon seçimi.....	90

Şekil 104. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 10° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri.....	90
Şekil 105. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 10° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	90
Şekil 106. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri.....	91
Şekil 107. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	91
Şekil 108. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	92
Şekil 109. Ankara ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	98
Şekil 110. Ankara ili için simüle edilen boş binanın günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	99
Şekil 111. Ankara ili için simüle edilen boş binanın saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	99
Şekil 112. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi.....	100
Şekil 113. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü.....	101
Şekil 114. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	101
Şekil 115. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	102
Şekil 116. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	103
Şekil 117. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	103
Şekil 118. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi	104
Şekil 119. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi katman görünümü	104
Şekil 120. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri	105
Şekil 121. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	105
Şekil 122. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	106

Şekil 123. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği.....	107
Şekil 124. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi	108
Şekil 125. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi katman görünümü	108
Şekil 126. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi ısı geçirgenlik değerleri	109
Şekil 127. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	109
Şekil 128. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	110
Şekil 129. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği.....	111
Şekil 130. Ankara ili için pencere duvar oranı seçimi.....	112
Şekil 131. Ankara ili için HVAC sistem seçimi.....	113
Şekil 132. Ankara ili için sıcak su sistemi seçimi	113
Şekil 133. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	114
Şekil 134. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	115
Şekil 135. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	115
Şekil 136. Ankara ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi.....	116
Şekil 137. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında yapılan lokasyon seçimi..	118
Şekil 138. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri.....	118
Şekil 139. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	119
Şekil 140. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	119
Şekil 141. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	126
Şekil 142. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	127

Şekil 143. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	127
Şekil 144. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi.....	129
Şekil 145. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü.....	129
Şekil 146. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	130
Şekil 147. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	130
Şekil 148. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği	131
Şekil 149. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	132
Şekil 150. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi	133
Şekil 151. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi katman görünümü.....	133
Şekil 152. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri.....	134
Şekil 153. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği	134
Şekil 154. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	135
Şekil 155. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	136
Şekil 156. İstanbul ili için pencere duvar oranı seçimi.....	137
Şekil 157. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi.....	138
Şekil 158. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	138
Şekil 159. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	139
Şekil 160. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği.....	140
Şekil 161. İstanbul ili için HVAC sistem seçimi.....	141
Şekil 162. İstanbul ili için sıcak su sistemi seçimi	141
Şekil 163. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği.....	142

Şekil 164. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği.....	143
Şekil 165. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği	143
Şekil 166. İstanbul ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi.....	144
Şekil 167. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında yapılan lokasyon seçimi.....	146
Şekil 168. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri.....	147
Şekil 169. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	147
Şekil 170. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği.....	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ASHRAE	: American Society of Heating And Air-Conditioning Engineers
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive
EPS	: Expanded Polistiren
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FDM	: Faz değiştiren malzemeler
HVAC	: Heating, Ventilation, Air Conditioning
K	: Kelvin
kWh	: Kilowatt saat
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
MGM	: Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼đ¼
nZEB	: Nearly Zero Energy Buildings
TMMOB	: T¼rk M¼hendis ve Mimar Odaları Birliği
TS	: T¼rk Standardı
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel M¼d¼rl¼đ¼
ZEB	: Zero Energy Buildings
XPS	: Extr¼de Polistiren
W	: Watt

1. GİRİŞ

Fosil yakıtlar, günümüzde enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük bir rol oynamaktadır. Fosil yakıtların ömrü ise artan enerji ihtiyacı ile orantılı olarak kısalmaktadır. Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak, büyük bir önem arz etmektedir. Bundan ötürü alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeler enerji alanında yapılan çalışmalar neticesinde artmıştır. Binalarda tüketilen enerjinin azaltılması Dünya’da tüketilen fosil yakıtların %35-40’ının binalarda kullanıldığı düşünüldüğünde enerji tasarrufu ve enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir. Tüm bu sebeplerden ötürü, binalarda yenilenebilir enerji kullanımını artırmak, bu kaynaklara yönelmek ve sıfır enerjili bina uygulamaları üzerine çalışmak zorunlu hale gelmektedir.

Genel olarak sıfır enerjili bina tasarım esasları; inşaat aşamasında ekolojik malzemelerin seçilmesi, ısıtma soğutma ve kullanım suyu yüklerinin azaltılarak enerji yüklerinin düşürülmesi, ısıtma ve soğutma sisteminde yüksek verimli seçimler yapılması, fotovoltaiik panel sistemi ile enerji ihtiyacının kısmi ya da tamamen karşılanması, sıcak su ihtiyacı için güneş enerj paneli kullanımı ya da alternatif bir HVAC sisteme bağlantılı hale getirilmesi, elektrikli ev aletleri ve aydınlatmada yüksek verimli sistemlerinin kullanılması olarak sıralanabilir. Tüketilen enerjinin azaltılması için belirtilen tedbirler ile sıfır enerjili bina tasarımının ve kullanımının detaylı bir çalışma gerektirdiği gözükmektedir. Bu uygulamalar aracılığı ile sıfır enerjili bina enerji verimliliği maksimum seviyelere çıkarılmaktadır.

1.1. Enerji Verimliliği

İnsan yaşamı gelişen teknolojiyle birlikte daha konforlu hale gelirken bilhassa konfor alanlarının oluşturulmasında enerjinin kullanılması ve bunun doğal sonucu olarak da enerji tüketiminin arttığı görülmektedir. Türkiye’de de dünyada olduğu gibi enerji tüketimi artan nüfusla birlikte artmaktadır.

Enerjinin etkin kullanımı enerji tasarrufu ve enerji verimliliği ile mümkün olmaktadır. İş gücünde herhangi bir azalma olmadan enerjiyi verimli kullanmak, aynı işi daha az enerji kullanarak yapmak enerji tasarrufu olarak tanımlanmaktadır. Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinde, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarında bir azalma olmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması ise enerji verimliliği olarak tanımlanmaktadır (YEGM, 2014).

Yine farklı bir tanımlamaya göre; harcanan her birim enerjinin daha fazla hizmet ve ürüne dönüşmesi enerji verimliliğidir (TMMOB, 2008).

Türkiye, enerji verimliliği konusunda bazı yasal mevzuat ve düzenlemelerle enerji ihtiyacının karşılanabilmesi noktasında sürdürülebilir bir süreç izlemeye çalışmaktadır. Ülkemizde enerji verimliliği ve tasarruf tedbirlerine yönelik başlıca yönetmelik ve düzenlemeler aşağıdaki gibidir (TMMOB, 2012; YEGM, 2014; TMMOB, 2014; ETKB, 2014):

- Sanayide Enerji Verimliliği Yönetmeliği

- Sanayi Dışı Yeni veya Mevcut Binalarda Sıcak Su Üretimi ve Ortam Isıtması için Kullanılan Isı Jeneratörlerinin Performansı ve Sanayi Dışı Yeni Binalarda Dahili Sıcak Su Dağıtımını ve Isı Yalıtımına Dair Yönetmelik

- Elektrikli Ev Aletleri Enerji Verimliliği Etiketleri

- Binek Otomobillerin Yakıt Ekonomisi ve CO₂ Emisyonu Konusunda Tüketicilerin Bilgilendirilmesine İlişkin Yönetmelik

- 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu

Kanun ve düzenlemelerle birlikte enerji kullanımında verimliliği artırmak ve etkin enerji yönetimi amaçlanmaktadır.

Enerjide dışa bağımlılık ve bu bağımlılığın da yanında küresel ısınma sorunu; enerji politikalarını sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve enerji güvenliği üzerine kurgulayan Avrupa Birliği Ülkeleri’ni de enerji kaynaklarının etkin kullanımı yönünde yeni arayışlara ve bir takım politikalar üretmeye yöneltmiştir. Avrupa Birliği’nin mevcut enerji tasarrufu mevzuatı, Avrupa Çevre Bürosu tarafından aşağıdaki gibi özetlenmiştir (European Environmental Bureau, 2014):

- Enerji etiketleme yönergesi

- Binaların Enerji Performansı (EPBD)Yönergesi

- Çevreci Tasarım Yönergesi

- Enerji Hizmetleri Yönergesi

- Enerji Verimliliği Eylem Planı

- Birleşik Isı ve Güç Yönergesi

- Arabalarda CO₂ düzenlemesi

- Avrupa Birliği Enerji Stratejisi

- Avrupa Birliği 2020

- Enerji Verimliliği Planı

- Düşük Karbonlu Bir Ekonomiye Yol Haritası

Belirtilen maddeler, Avrupa Birliği'nin enerji tasarrufu alanındaki düzenlemelerinin enerjinin etkin kullanılması ve karbon emisyonlarının azaltılması olmak üzere çevresel önlemlerin dikkate alınarak şekillendiğini göstermektedir (Koçaslan, 2014).

1.2. Sıfır Enerjili Binalar

Fosil kaynaklı enerji kullanımı yıllık 0 kWh/m² olan, kullandığı enerjinin büyük çoğunluğunu yenilenebilir enerji kaynaklarından elde eden enerji etkin binalar, Net Sıfır Enerjili Bina (net ZEB) olarak tanımlanmaktadır. Fosil kaynaklı enerji kullanımı 0 kWh/m² 'den büyük enerji etkin binalar ise Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (nZEB) olarak tanımlanmaktadır. Binanın dışarıdan alarak tükettiği enerji birincil enerji olarak tanımlanır ve ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, elektrikli ekipman ve sıcak su kullanımı için kullanılan enerji dikkate alınmaktadır (Sağlam, 2015).

1.3. Dünya'da Sıfır Enerjili Binaların Uygulama Çalışmaları

Dünya'da tüketilen enerjinin hatırı sayılır oranının binalarda kullanılıyor olması ve buna bağlı olarak oluşan karbon salınımının gelecek dünyayı tehdit ettiği gerçeği ülkeleri enerji verimliliği konusunda harekete geçirmiştir. Bu hareketin bir kısmı kamu eli ile yapılan çalışmalar olup yönetmeliklere ve mevzuatlara yansırken bir kısmı sivil kuruluşlar tarafından yapılan çalışmalar olabilmektedir. Bu girişimlerin en başında Amerika Yeşil Bina Konseyi tarafından 1998 yılında faaliyete geçirilen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) sertifikalandırma sistemi yer almaktadır. Bu sistem binaları enerji etkin bir tasarım haline getirmektedir. Sistemin verimli olması ile birlikte birçok ülke kendi sertifikalandırma programını oluşturmuştur.

Avrupa Birliği (AB) de enerji etkin binaların arttırılması amacı ile bazı resmi tasarı ve uygulamalarda bulunmuştur. Bu kapsamda, 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) yayımlanmıştır. Yayımlanan bu direktif ile tüm Avrupa Birliği ülkelerinin binalarda minimum enerji performans seviyelerini belirlemeleri ve bu performans düzeylerine göre sertifikalandırmaları zorunlu kılınmıştır (EPBD, 2002; Ganiç vd., 2013).

1.4. Türkiye'de Sıfır Enerjili Binaların Uygulama Çalışmaları

Endüstri, ulaşım ve binalar enerji kullanımının temel alanlarıdır. Türkiye'de binalarda tüketilen enerji, toplam enerji kullanımının %36'sına ve tüketilen elektrik, toplam elektrik kullanımının %43'üne karşılık gelmektedir. Bu da bina sektörünün

toplam enerji kullanımı içinde en büyük tüketim grubunu oluşturduğunu göstermektedir. Ülkemizde çok sayıda bulunan eski binalar ve bu binaların inşa edildikleri dönemde enerji tüketimi ile bina tasarımı arasındaki ilişkinin ön planda olmaması, Türkiye'deki binalarda enerji kayıplarının fazla olması sonucunu doğurmaktadır. Ekonomik büyümeye bağlı olarak yaşam standartlarının yükselmesi (cihazların ve havalandırmanın daha fazla kullanılması dahil olmak üzere) ve bina sayılarındaki ciddi artışla birlikte enerji talebi de artmıştır (Keskin ve Ünlü, 2010).

Ülkemizde, konut sektöründe enerji verimliliği ile ilgili olarak çalışmalar sürdürülmekle birlikte kanun ve yönetmelikler çıkarılmaktadır. 1981 yılındaki TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla 1998 yılında yeniden düzenlenerek yürürlüğe girmiştir. "Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" 2000 yılında yürürlüğe girmiş ve 2008 yılında revize edilmiştir. "Enerji Verimliliği Kanunu" 2007 yılında ve "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik" 2008 yılında yürürlüğe girmiştir.

5 Aralık 2008 tarihinde "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yayınlanmıştır. Amacı dış iklim şartlarını, iç mekân gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemek olan bu yönetmelik, yeni ve 1000 m²'den büyük mevcut binaların "Enerji Kimlik Belgesi" almasını yasal olarak zorunlu kılmaktadır. Binaların Enerji Kimlik Belgesi alabilmesi için enerji performanslarının belirlenmesi gerekir. Bir binanın enerji performansının belirlenmesi,

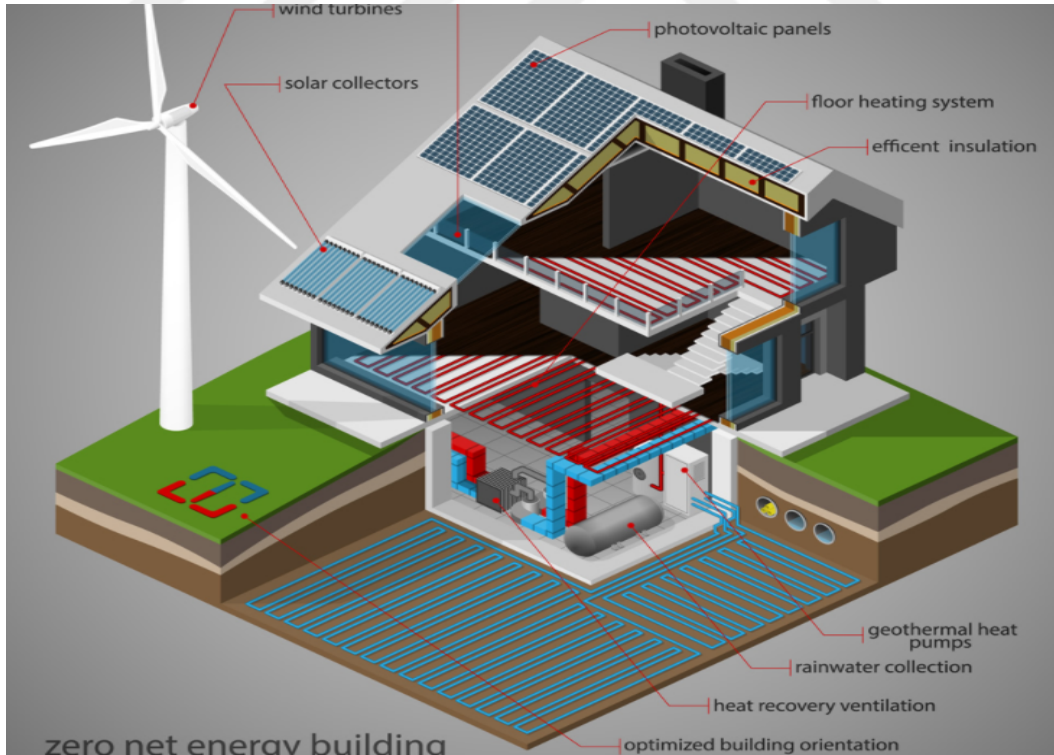
- 1) Binanın m² başına düşen yıllık enerji tüketiminin belirlenmesi,
- 2) Bu değere göre CO₂ salımının hesaplanması,
- 3) Bu değerlerin referans bir binaninki ile karşılaştırılması,
- 4) Karşılaştırma sonucuna göre binanın A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir.

2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Binalarda kullanılan enerjinin çok büyük bir kısmı iç mekan ısıtmaları için kullanılmaktadır. Ortalama bir evin toplam faturasının %45'i ısıtma soğutma tüketimini temsil etmektedir (Topal, 2009). Binalarda kullanılan enerjinin azaltılması için bazı pasif ve aktif çözümler mevcuttur. Bu çözümlerden başlıca olanlar şu şekilde sıralanabilir (Sağlam, 2015):

- Bina kabuğunda önlemler alınması
- HVAC seçiminde verimli sistemler tercihi
- Enerji geri kazanımı
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması

Binalarda kullanılan enerjinin azaltılması için oluşturulabilecek pasif ve aktif çözümler Şekil 1'de modellenerek şematize edilmiştir. Gerek bina kabuğunda kullanılacak enerji tasarruflu malzemeler, gerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, tasarlanan binaları enerji etkin binalar haline getirmektedir.



Şekil 1. Binalarda enerji verimliliği uygulamaları (URL-1, 2022).

2.1. Isı Yalıtımı, Binaya Ait Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları

Isı yalıtımı, bina kabuğunda uygulanmak suretiyle binanın iç ve dış etkilerin azaltılması böylece ömrünün uzatılması amacıyla; yapı bileşenleri üzerinden iç ve dış mahaller arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlem olarak tanımlanmaktadır (Tıkız vd., 2018). Asıl amacı kapalı mahallerin iç sıcaklığını korumak olan ısı yalıtımı, enerji tasarrufu sağlamak ve hava kirliliğini azaltmak için yapılan işlemlerin tümünü kapsar. Isı yalıtımı ile yapıların ömrünün uzatılması ve kullanıcıların daha sağlıklı ve konforlu bir şekilde yaşaması amaçlanır. Farklı bir amaç da değişen iklim koşullarına karşı yapı bileşenlerine nem hasarı, don hasarı, demirlerin korozyona uğramaması için tedbir alınmasıdır. Farklı bir deyişle ısı yalıtımının amacı; bakım masraflarını sınırlandırarak kışın ısıtma, yazın soğutma enerjisinden tasarruf sağlamaktır. Bu nedenle ısı yalıtımında ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık vb. bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmalıdır (Çanakçı ve Akıncı, 2007). Sıfır enerjili binaların ısıtılması ve soğutulması için gereken enerji miktarlarının hesaplanabilmesi için binanın ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapılır. Bu hesap neticesinde, istenilen güçte bir sistem ile sıfır enerjili binanın ısıtılması ve soğutulması tasarlanır.

2.2. Binalarda Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanılması

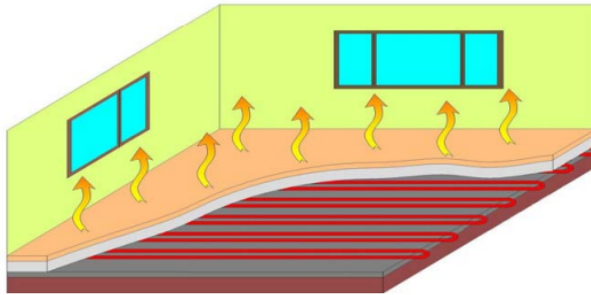
Faz değiştiren malzemeler (FDM), binalarda ısıtma ve soğutma uygulamalarında verimliliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Faz değiştiren malzemeler, termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolamakta olup bu maddelerin bina uygulamalarında kullanımına 1970 yılında tuz hidratlarının bir binada kullanılması ile başlanmıştır (Konuklu ve Paksoy, 2011). Şekil 2’de FDM uygulaması şekillendirilerek ısı transfer mekanizması modellenmiştir. Soğuk iklim bölgelerinde kullanımı için yapılan çalışmalarda yıl bazında değerlendirildiğinde ortalama %20 verim elde edildiği görülmükle birlikte en soğuk aylarda çok etkili olmadığı gözlemlenmiştir. Bina kabuğundaki konumu için ılıman iklim bölgelerinde FDM'nin bina kabuğunun dış yüzeyinde değil, iç yüzeyinde kullanılmasının iç mekan ısı dalgalanmalarının azaltılması açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Kuznik vd., 2008). Soğuk iklim bölgelerinde ise FDM'nin bina kabuğunun dış yüzeyinde kullanımının etkili olduğu gözlemlenmiştir (Tokuç, 2013).



şekil 2. Binalarda gece ve gündüz zamanlarda FDM (İlgar, 2022).

2.3. Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemi

Yerden ısıtma ve soğutma sistemi, döşeme altında bulunan ve su akışının gerçekleştiği plastik boru tesisatının genel tanımıdır. Tesisatı oluşturan plastik boruların ısıl genleşme katsayıları beton ve döşeme malzemesine göre yüksektir. Kolayca döşenebilmelerinin yanı sıra maliyet etkin ve ekonomik olmaları sebebiyle bu borular yerden ısıtma sisteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. şekil 3'te yerden ısıtma tesisatının ortamla olan ısı etkileşimi modellenmiştir. şekil 4'te yerden ısıtma sistemlerinin saha uygulamalarından gerçek kesitler gösterilmiş olup doğru tasarım ve ısıtılmak istenen ortam tabanında tesisatın homojen bir dağılımla döşenmesine ait bir örnek gösterilmiştir.



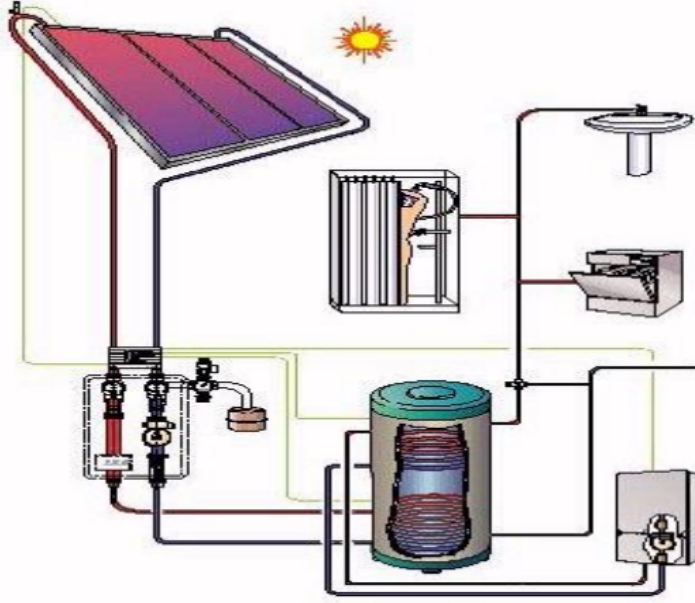
şekil 3. Yerden ısıtma sistemi (Doğan ve çalışır, 2011).



Şekil 4. Yerden ısıtma sistemi saha uygulamaları

2.4. Sıcak Su İhtiyacı İçin Kullanılan Güneş Enerji Sistemleri

Sıcak su ihtiyacı için kullanılan güneş enerji sistemi, güneş kolektörleri, sıcak su depolamak için bir tank, su çevrimi için sirkülasyon pompası ve diğer yardımcı elemanlardan oluşmaktadır (Karaçavuş, 2017). Güneş kolektörü, güneşten kazanılan ısının suya aktarılması amacıyla kullanılır. Yapılacak olan hesaplamada öncelik sıcak su ihtiyacıdır. Bir kolektörün yüzey alanının hesabına göre elde edilebilecek kapasite bulunur, toplam ihtiyacı karşılayacak adet sayısı kadar güneş kolektörü kullanılarak ihtiyaç karşılanır. Şekil 5'te güneş enerjili sıcak su sistemi modellenerek tesisat bağlantıları şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 6'da ise güneş enerjili sıcak su sistemleri için tasarlanan güneş enerji panellerinin çatı uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 5. Sıcak su ihtiyacı için güneş kolektörü (Öksüz, 2014).

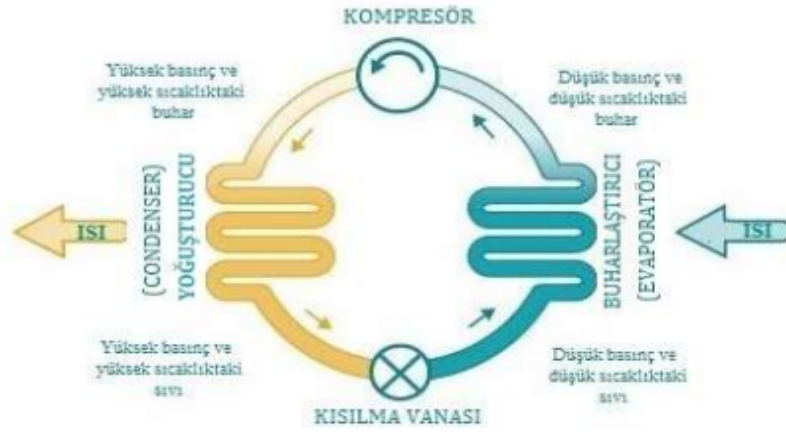


Şekil 6. Sıcak su ihtiyacı için güneş kolektörü saha uygulamaları

2.5. Isı Pompası Seçimi ve Hesabı

Isı pompası, esasında soğutma çevrimi mantığı ile çalışan, ısı enerjisini dışarıdan aldığı elektrik ile düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama taşıyan sistemlerdir. Şekil 7’de soğutma çevrimi olarak da bilinen ısı pompası çevriminin şematik gösterimi çizilerek Şekil 8’de havadan suya ısı pompası uygulaması gösterilmiştir. Enerjinin yoktan var, vardan yok edilemeyeceği, yalnızca biçim değiştirdiği ya da bir yerden başka bir yere taşınabileceği bilinmektedir. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan başka bir ortama taşıyabilme kabiliyetinden almaktadır. 1927 yılında İskoçya’da bir evin ısıtılması amaçlanarak ilk ısı pompası uygulaması yapılmış ve bu uygulamada hava, ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Önce Avrupa daha

sonra Amerika'da kullanılmaya başlanan bu sistemler, 1960 yılına kadar hızla yaygınlaşmıştır. 1963 yılında soğuk iklim bölgesi olan Güney Amerika'da kullanılmaya başlanan ısı pompaları, birtakım problemler ortaya çıkarmıştır. Soğuk iklim bölgelerindeki bu durum, bu sistemlerin güvenilirliğini azaltmıştır. 1973 yılında, yapılan iyileştirmeler ve arge çalışmaları ile ısı pompası endüstrisinde büyük bir iyileşme olmuş ve ısı pompasına ilgi tekrar yükselmiştir. Amerika, Kanada ve Almanya gibi gelişmiş ülkelerde, soğuk iklim bölgeleri olmalarına rağmen ısı pompaları, gerek evsel gerek de endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde 1990 yılında kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen bu sistemlerin pek yaygın olduğu söylenemez fakat günümüzde ısı pompası uygulamaları ülkemizde de giderek artmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2009). Isı kaynağının nitelikleri, bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansını yakından ilgilendirmektedir. Bundan ötürü ısı pompası seçimi ısı kaynağının cinsine bağlıdır. Uygulama yapılacak yerin konumu, sıcaklık dengeleri, toprak koşulları, yeraltı veya yerüstü sularının bulunabilirliği, mimari yapı, yer darlığı ve ekonomik kısıtlamalar gibi pek çok etken sistem tipinin seçiminde önem arz etmektedir. Bu etkenler göz önünde bulundurularak sistem için ısı kaynağı seçimi yapılır. Bu etkenler arasında öncelikli yer ve konum önemli olduğundan en uygun sistem tipi seçiminde yerleşim alanının değerlendirilmesi ilk adım olmaktadır (İlten vd., 2019).



Şekil 7. Isı pompası çevrimi (İlten vd., 2019).

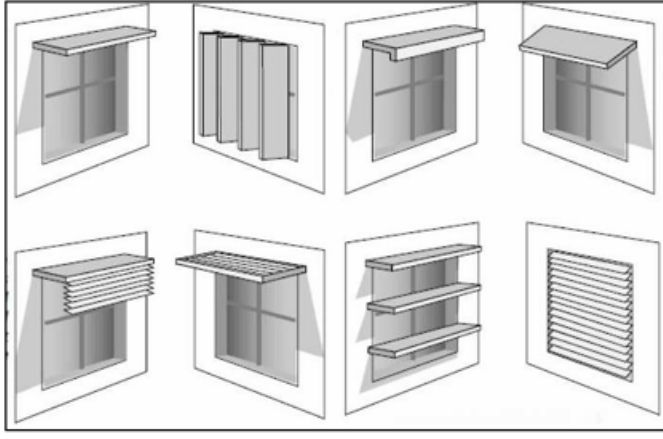


Şekil 8. Isı pompası sistemi saha uygulamaları

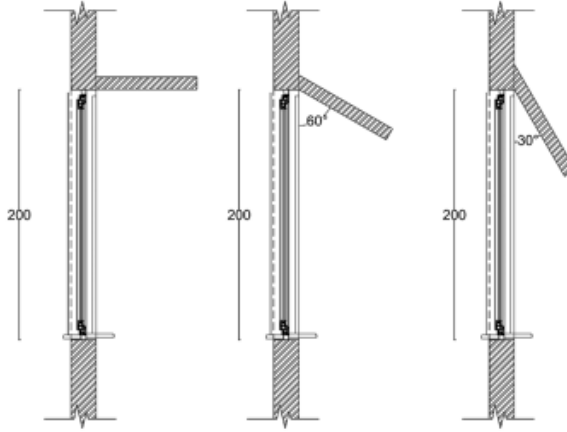
2.6. Gölgeleme Elemanlarının Kullanımı

Gölgeleme elemanları, iç mekanlardaki güneş ışınımını sınırlayan yapı elemanlarıdır. Güneşlenme süresi yüksek olan binaların güneş ışınımı da yüksek olacağından mahal sıcaklığının artması söz konusu olacaktır. Enerji etkin bina tasarımlarında özellikle soğutma yükü daha fazla olan binalarda gölgeleme elemanları ile soğutma yükünü azaltıcı yönde iyileştirmeler tercih edilmektedir.

Gölgeleme elemanı seçiminde binanın bulunduğu iklim koşulları, güneş geliş açısı, geometrisi ve pencere profil ölçüleri bir arada değerlendirilmektedir. Şekil 9'da pencereler için kullanılan çeşitli gölgeleme elemanları ve Şekil 10'da farklı açılarla oluşturulan gölgelendirme elemanları şematik gösterimleri verilmiştir. Gölgeleme elemanları, pencerelerden gerçekleşen ısı kazancını engellediği için sıcak iklimlerde bina soğutma yükünü azaltmaktadır. Soğuk iklim bölgelerinde ise kış döneminde ve mevsim geçişlerinde güneş ışınımını engellediği için bina ısıtma yükünü artırmakta olup genellikle tercih edilmemektedir.



Şekil 9. Pencere için kullanılan çeşitli gölgeleme elemanları (Sağlam, 2015).



Şekil 10. Farklı açılarla oluşturulan gölgeleme elemanları (Ekici, 2022).

2.7. Pencere Duvar Oranı

Binalara ait ısıtma ve soğutma yüklerinin büyük çoğunluğu bina kabuğundan oluşur. Bina kabuğunu oluşturan duvar, pencere, tavan, taban ve kapı gibi bileşenler ısı transferlerinin gerçekleştiği alanlardır. Pencere ve duvarlar ısı transfer oranının yüksek olması sebebiyle diğerlerine kıyasla önem arz etmektedir. Pencere ve duvarlarda alınacak önlemler yıllık enerji tüketimindeki tasarrufta ağırlıklı rolü oynamaktadır. Dış duvarın yüzey alanı nedeniyle soğutma ve ısıtma yükü üzerinde fazlaca etkisi olmaya birlikte, pencerelerin iletim katsayısı ve tekdüze olmayan yapısı nedeniyle ısı kaybı ve ısı kazanç yükünün artmasında oldukça etkisi bulunmaktadır.

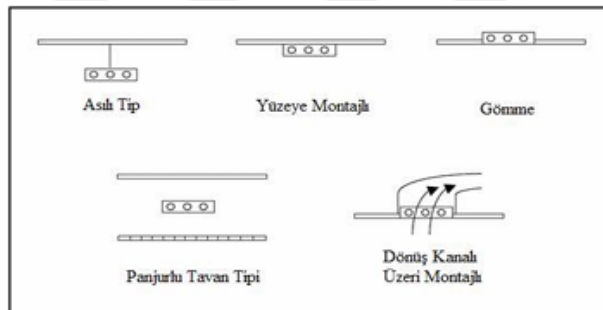
Soğuk iklim kuşağındaki yapılarda binadaki ısı kaybı oranının ve sıcak iklimlerde ısı kazanç oranının yüksek olmasını engellemek için yapılan tasarımlardaki en büyük etkenlerden biri pencere duvar oranının optimum olmasıdır.

Ayrıca İzmir, Ankara ve İstanbul şehirleri için pencere oranını belirlerken TS 825 Standardında yer alan açıklamalardan da yararlanılmıştır.

2.8. Aydınlatma ve Elektrikli Ekipman Kullanımı

Enerji etkin bina tasarımlarında aydınlatma ve elektrikli ekipman yüklerinin önemi oldukça fazladır. Çünkü tüketilen enerji yalnızca aydınlatma işinin yapılması ve elektrikli ekipmanların çalışması için tüketilen enerjiden ibaret olmayıp bu yüklerle birlikte aydınlatma ve ekipmanlardan yayılan ısı, soğutma yükünün artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle aydınlatma armatürlerinde boş binada referans olarak kullanılan standart armatürlerle hesaplanan aydınlatma yükü, yapılan tasarımlarda enerji etkin LED aydınlatmalar kullanılarak simüle edilmiş ve yükteki azalmanın enerji etkin bina tasarımında oldukça önem arz ettiği görülmüştür.

EnergyPlus programı, aydınlatma ekipmanlarının ürettiği ısının minimize edilebilmesi için yapılabilecek farklı aydınlatma yerleşimleri bulundurmaktadır. Şekil 11’de farklı aydınlatma armatürleri yerleşim seçenekleri gösterilmiştir.



Şekil 11. Farklı aydınlatma yerleşimi seçenekleri (Sağlam, 2015).

2.9. Fotovoltaik Sistemler

Dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biri olan güneşin ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkilemektedir. (Çakmakçı vd., 2018). Güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmakla birlikte güneş enerjisinin başlıca uygulamaları iki temel kategori içinde sınıflandırılabilir. Bunlar, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren ısıtma soğutma sistemleri ve güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik sistemlerdir (Sayın ve Koç, 2011).

Çalışma ilkeleri fotovoltaiik olaya dayanan güneş hücreleri (fotovoltaiik diyotlar); üzerine güneş ışığı düştüğünde, ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Tek bir hücreden elde edilen enerji oldukça az olacağından hücreler seri veya paralel bağlanarak modülleri, modüller de birleşerek panelleri oluşturur. Paneller de birbirine bağlanarak fotovoltaiik panel dizisini meydana getirir ve büyük miktarlarda elektrik üretimini mümkün kılar (Koç vd., 2018). Bu dizilim Şekil 12’de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 12. Fotovoltaiik panel sistemi (Dal ve Yılmaz, 2020).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde sıfır enerjili binalar ve yaklaşık sıfır enerjili binalarla ilgili birçok çalışma mevcuttur. Binalarda enerji verimliliğın artırılması ve fosil yakıt kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak ihtiyaç olan enerjinin tamamının ya da bir kısmının karşılanması noktasında yapılan çalışmalarda genellikle DesignBuilder, EnergyPlus, Revit programları üzerinden simülasyonlar yapılarak sonuçlar araştırılmıştır.

Yapılan bir araştırmada (Sattari, 2021), yaklaşık sıfır enerjili binaların (nZEB) Türkiye’de uygulanabilirliği üzerine bir inceleme yapılmış ve bina kabuğunun iyileştirilmesi ve sistemdeki verimliliğın artırılmasının yanı sıra, bu tür binalara yenilenebilir enerji payının dikkate alınmasının nZEB hedefine ulaşmak için işbirliği yapacağı ortaya koyulmuştur.

Yaklaşık sıfır enerjili aile sağlık merkezi binası tasarımı adlı çalışmada (Tekeli, 2020), Türkiye’de yenilenebilir enerji uygulama potansiyelinin yüksek olduğu, bu potansiyelin daha fazla kullanılabilmesinin, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin daha çok tercih edilmesi ile mümkün kılınabileceği sonucuna varılmıştır.

Diğeri bir çalışmada, Erzurum Havalimanı Terminal Binasının DesignBuilder modelleme ve EnergyPlus enerji simülasyonu yapılarak fiziksel olarak inşa edilmemiş bir binada alınacak önlemler ve tasarlanacak çözümlerle enerji tasarruf miktarının artırılabilceği sonucuna varılmıştır (Yıldız, 2017).

Diğeri bir çalışmada (Sağlam, 2015), Berlin ve İzmir şehirlerinin EnergyPlus programı üzerinden yapılan analizlerinde, Berlin şehrindeki enerji etkin binanın yaklaşık sıfır enerjili bina olarak kabul edilirken İzmir’deki enerji etkin binanın net sıfır enerjili bina olarak kabul edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Avustralya’da bulunan örnek binalar için DesignBuilder programı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin uygun tasarlanmasıyla kullanıcı termal konforundan ödün vermeden %41.87’ye varan enerji tasarrufu sağlanabileceği bulunmuştur (Rahman vd., 2010).

Bir diğeri çalışmada faz değışim materyallerinin enerji performansına etkisi duvar katmanındaki yeri, yönü, ürün türüne göre çeşitli simülasyonlar DesignBuilder programıyla değerlendirilmiş ve FDM’lerin özellikle soğutma ihtiyacının arttığı dönemlerde verimli olduğu belirlenmiştir (Özyurt, 2019).

Bir diğer çalışmada ısı yalıtımı ile bina enerji talebini azaltmanın mümkün olduğu ve soğutma sistemi için ısı yalıtımı etkisinin ısıtma sistemine nazaran daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kkbingl, 2021).

Yılmaz (2021), yaptığı çalışmada, çalışmadan elde edilen verilere bakarak ev inşası için ilk olarak mimari çalışmaların imkan verdiği ölçüde doğanın enerjisinden yararlanan tasarımlar ile oluşturulmasının oldukça önemli olduğu, malzeme seçimi, kullanılacak yardımcı ekipmanların analizleri ve iyi bir planlama ile Türkiye’de sıfır enerji evleri üretmenin mümkün olduğu, sıfır enerji evlerinin yapılabilmesinin ilk şartının iyi bir mimari tasarım ile doğadan mümkün olan kazancı elde ederek, yapı maliyetlerini en aza indirmekten geçtiği sonucuna ulaşmıştır (Yılmaz, 2021).

Faz değiştiren malzemelerle ilgili yapılan bir çalışmada Yamaç ve Koca (2021), farklı iklim koşulları için farklı faz değiştiren malzemelerin kullanılabilmeği sonucuna varmıştır (Yamaç ve Koca, 2021).

Bir diğer çalışmada ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen orta ve uzun vadede maliyetin amorti edilebilemeği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı bina tasarımlarında sürdürülebilir bir enerji etkinliğinin mümkün olabilemeği sonucuna varılmıştır (Abokersh vd., 2021).

in’in Hailar kentinde net sıfır enerjili ahşap yapı bina performansı araştırmasında da gerekli pasif çözümler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla sıfır enerjili ahşap bina tasarımının mnkn olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Shenyang vd., 2022).

Bir diğer çalışmada Tahran’daki bir ofis binası tasarımı için yapılan simülasyonlarda mevcut yapının geleneksel malzemeler nedeniyle yüksek enerji kayıplarının olduğu, bu nedenle bina kabuğunda alınacak önlemler ve optimum malzemelerle kayıpların yaklaşık %82 azaltılabilemeği sonucuna ulaşılmıştır (Pirmohamadi vd., 2021).

zbalta (2021), sıfır enerjili binalarla ilgili yapmış olduğu çalışmada soğuk iklim bölgesinde uygulanan pasif, düşük enerjili ve artı enerji bina uygulamaları ve yerleşimlerini incelemiş; güneş potansiyeli açısından bulunduğumuz bölgenin iklimsel koşulları değerlendirilerek, enerji tksetimi ve emisyon salımının en aza indirildiğine ve kullanıcısına konfor sunan evre duyarlı yapıların yaygınlaşmasının ülkemiz ekonomisi ve çevresel sorunların azaltılması açısından kaçınılmaz bir gereklilik olduğuna dikkat çekmektedir.

Utku ve Tekin (2013), yapmış oldukları yeşil bina uygulamalarında sıfır enerjili binaların tasarım parametrelerinin belirlenmesi adlı çalışmada ideal ev tasarımı ile orijinal tasarımını kıyaslamış ve sonuç olarak %31 oranında ısı enerjisi tasarrufu elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Bir diğer çalışmada Yıldırım (2020), DesignBuilder programında yapılan simülasyonlar sonucu Malatya'da bulunan bir kamu binasının yapılan tasarımlarla yaklaşık %26 tasarruf sağlanarak sıfır enerjili bina haline getirildiği sonucuna ulaşmıştır.

Ferdos (2015), çalışmasında İstanbul ve Erzurum şehirlerini seçerek DesignBuilder simülasyon programında yaptığı çalışmalarda bina dış kabuğu, aydınlatma sistemi ve HVAC sistemlerdeki iyileştirmelerin geri ödeme süresinin iki yıldan az olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kapsalaki (2012), Stockholm, Lizbon ve Iraklion olmak üzere farklı iklim bölgelerinde bulunan örnek tasarımlar için yapmış olduğu çalışmada enerji etkin binaların, verimsiz binalara göre döngüsel maliyetler açısından üç katından fazla tasarruflu olabileceği sonucuna varmıştır.

Aldajani (2019), çalışmasında İsviçre'de bulunan bir yapı için yenilenebilir enerji önlemleri uygulamış ve sıfır enerjili bina hedefine ulaşmamasına rağmen enerji talebinin %35 azaldığı sonucuna varmıştır.

Utkutuğ (2011), yapmış olduğu çalışmada sürdürülebilirlik ve binaların yaşam döngüsü analizinin ayrılmaz bir bütün olduklarına ve birlikte düşünüldüklerinde, çok yıkıcı etkileri olan ve yalnızca ilk yatırım maliyetine dayalı kısa vadeli bakış açısından uzaklaşılması gerektiği sonucunu belirtmektedir.

Bir başka çalışmada Alakour (2022), Karabük Üniversitesi Öğrenci İşleri Merkezi binasını Autodesk Revit 2022 programında modelleyerek binanın yapılan iyileştirme tasarımları ile sıfır enerjili bina standartlarına ulaşmasının mümkün olduğu sonucuna varmıştır.

Naghibi (2016), sıcak iklim bölgelerinde tasarlanan sıfır enerjili binalarla ilgili yapmış olduğu çalışmada, sıfır enerji binaların gelir düzeyleri farketmeksizin tüm insanlar için tasarlanması ve gelecekte tüm binalarda sıfır enerji hedefine ulaşılmaya çalışılması gerektiği sonucunu vurgulamaktadır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında farklı lokasyon ve iklim bölgelerinde bulunan İzmir, Ankara ve İstanbul illeri için çizilen üç katlı ofis binası projesi DesignBuilder simülasyon programı yardımıyla modellenerek bina ısı kaybı ve ısı kazançları hesaplanmıştır. Bina kabuğunda, aydınlatma ekipmanlarında ve ısıtma soğutma sisteminde kullanılan malzeme verileri değiştirilerek farklı çözümler için tasarımlar yapılmış ve farklı tasarımlar için simülasyon sonucu veriler kıyaslanmıştır. Yenilenebilir enerji kullanımı için de fotovoltaik güneş panel sistem tasarımı yapılarak PVGIS simülasyon programı yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda optimum değerlerde en doğru çözümler oluşturulmaya çalışılarak ekonomik analizler yapılmıştır.

4.1. DesignBuilder Enerji Simülasyon Programı ve PVGIS Fotovoltaik Sistem Tasarım Programı

DesignBuilder mimarlar, mühendisler, enerji danışmanları gibi farklı meslek gruplarının kullandığı, yapı tasarımlarının enerji, karbon, aydınlatma ve konfor açılarından performansını ölçen ve kontrol eden EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracıdır.

DesignBuilder binanın enerji performansını hesaplamak için EnergyPlus simülasyon motorunu kullanmakta olup sonuç verileri istenilen şekilde elimine edilerek grafikler halinde veya tablo biçiminde diğer uygulamalarda kullanılmak üzere başka bir ortama taşınabilir.

EnergyPlus bina ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve sürekli geliştirilmekte olan bina enerji simülasyonu programıdır.

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), güneş radyasyon haritalarına göre fotovoltaik sistem ve tesislerin güneş enerjisi üretim değerlerini hesaplayan bir simülasyon programıdır. Programın temel girdileri konum, kurulu güç ve panel eğim açıları olup programın temel çıktıları yıllık PV enerji üretimidir.

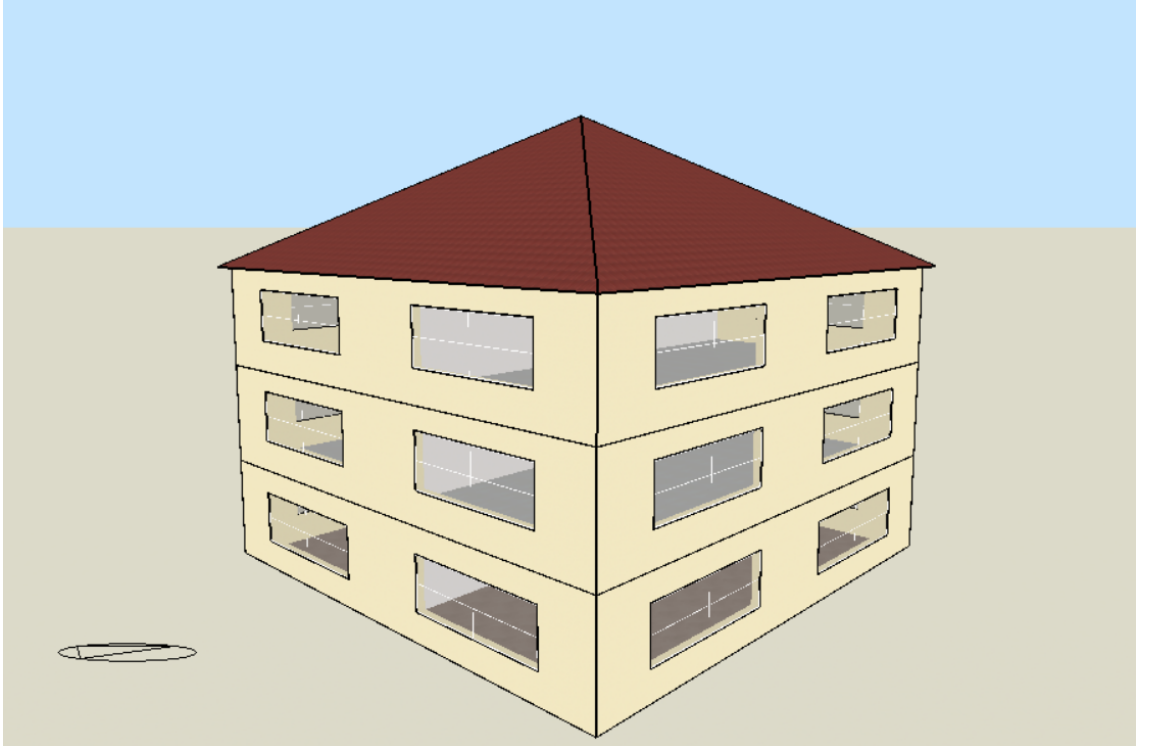
4.2. Farklı İklim Tiplerinde Tasarlanan Örnek Binaların Ortak Özellikleri

Binanın toplam alanı, kat sayısı, birim sayısı gibi mimari özellikleri ve insan yoğunluğunun aynı olduğu kabul edilmiştir.

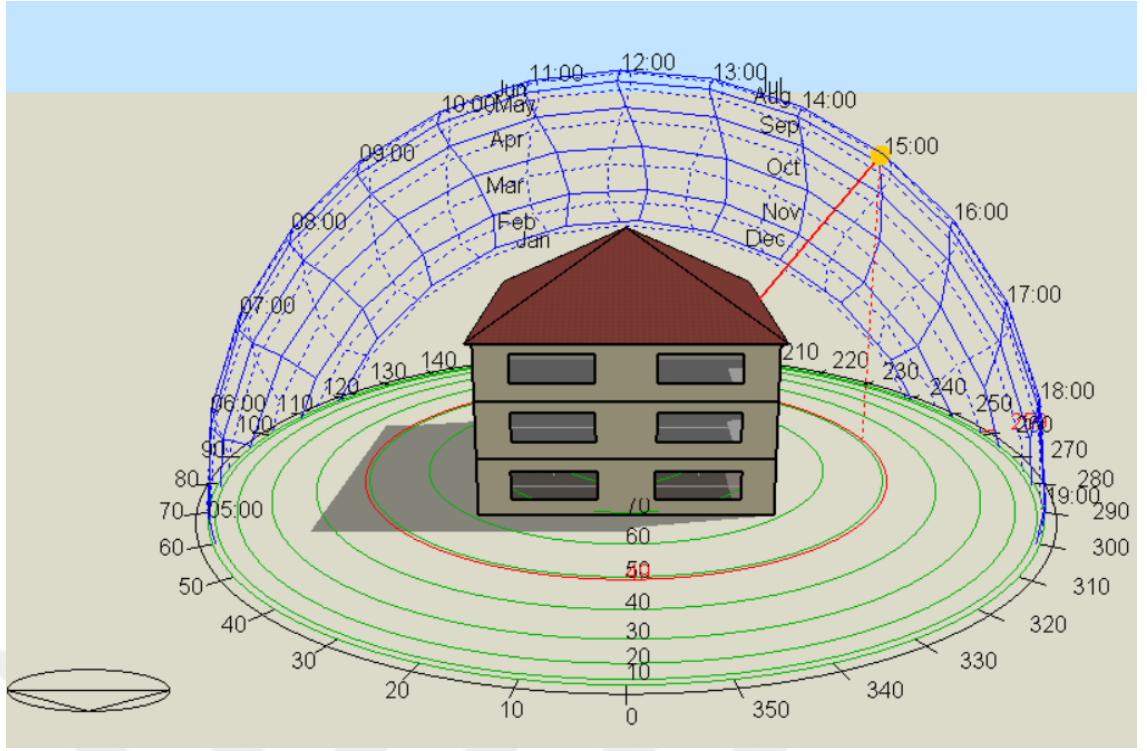
4.3. Ortak Yapısal Özellikler

Tasarlanan bina tipi tüm iklim bölgelerinde kolayca inşa edilebilecek üç katlı ofis binasıdır. Şekil 13'te DesignBuilder enerji simülasyon programında modellenen bina gösterilmiştir. Şekil 14 ve Şekil 15'te simüle edilen binanın güney duvarına güneşin geliş açısı görünmektedir. 15 metre eninde, 15 metre boyunda ve 3 metre yüksekliğinde olan binanın her bir katı 225 m² olup toplam kullanım alanı 675 m²'dir. Her bir katta iki ofis bulunmakta ve her bir ofis 112.5 m² alana sahiptir. Döşemeden döşemeye 3 m kat yüksekliği her bir kat için geçerlidir.

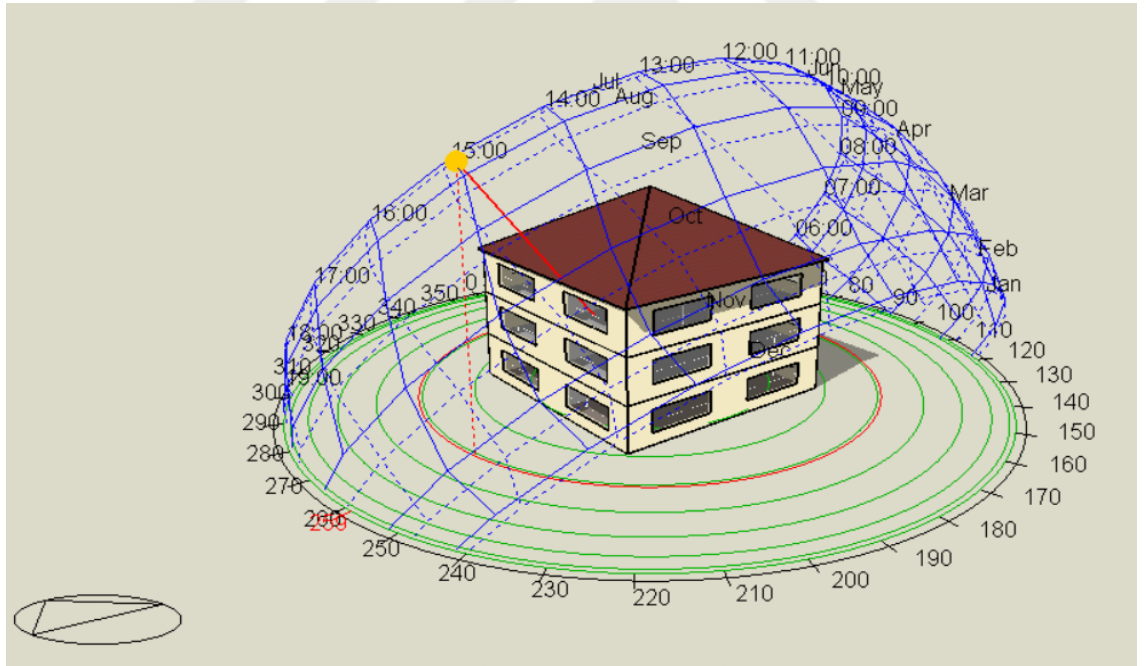
Binaya ait farklı yöndeki cephelerin simetrik olduğu düşünülmüştür. Bina dış duvarları 20 cm tuğla, 2 cm iç sıva ve 2 cm dış sıva olarak 3 katmanlı düşünülmüştür. Şekil 16'da simülasyon programı DesignBuilder ara yüzünde bina duvar katmanları, Şekil 18'de zemin katmanları, Şekil 20'de çatı katmanları tasarımına ait malzeme ve kalınlıklar gösterilmiştir. Binanın zemin tasarımında 10 cm sert taş zemin üzerinde, sırasıyla 25 cm agrega, 15 cm dökme beton ve 2 cm kalınlığında ahşap döşeme kullanıldığı düşünülmüştür. Şekil 17'de duvar katman görünümü, Şekil 19'da zemin katman görünümü, Şekil 21'de çatı katman görünümü gösterilmektedir. Şekil 22'de pencere duvar oranı gösterilmektedir. Sıfır enerjili binaların uygulanabilirliği çalışmalarında mantolama ve faz değiştiren malzemeler (FDM) kullanılarak katman sayısı artırılmıştır.



Şekil 13. Farklı iklim tipleri için simüle edilen binanın üç boyutlu görünümü



Şekil 14. Simüle edilen boş binanın güney duvarına güneşin geliş açısı-1



Şekil 15. Simüle edilen boş binanın güney duvarına güneşin geliş açısı-2

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te sırasıyla İzmir, Ankara ve İstanbul illerine ait yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin MGM tarafından paylaşımı, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da sırasıyla duvar, zemin ve çatı yüzeylerinde ısı transfer katsayıları sunulmuştur.

Tablo 1. İzmir iline ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri (MGM 2021).

Aylar (Ölçüm Periyodu 1938-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	5.7	8.5	3.1	3.0
Şubat	5.8	9.1	3.2	3.6
Mart	7.4	11.3	4.4	4.6
Nisan	11.6	16.2	7.9	5.6
Mayıs	16.5	21.2	12.5	8.8
Haziran	21.1	25.9	16.6	10.6
Temmuz	23.8	28.8	19.3	11.5
Ağustos	23.9	28.8	19.6	10.7
Eylül	20.04	25.2	16.3	8.3
Ekim	16.0	20.1	12.7	5.7
Kasım	11.9	15.3	9.0	4.0
Aralık	8.1	10.9	5.5	2.8
Yıllık	14.3	18.4	10.8	6.7

Tablo 2. Ankara iline ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri (MGM 2021)

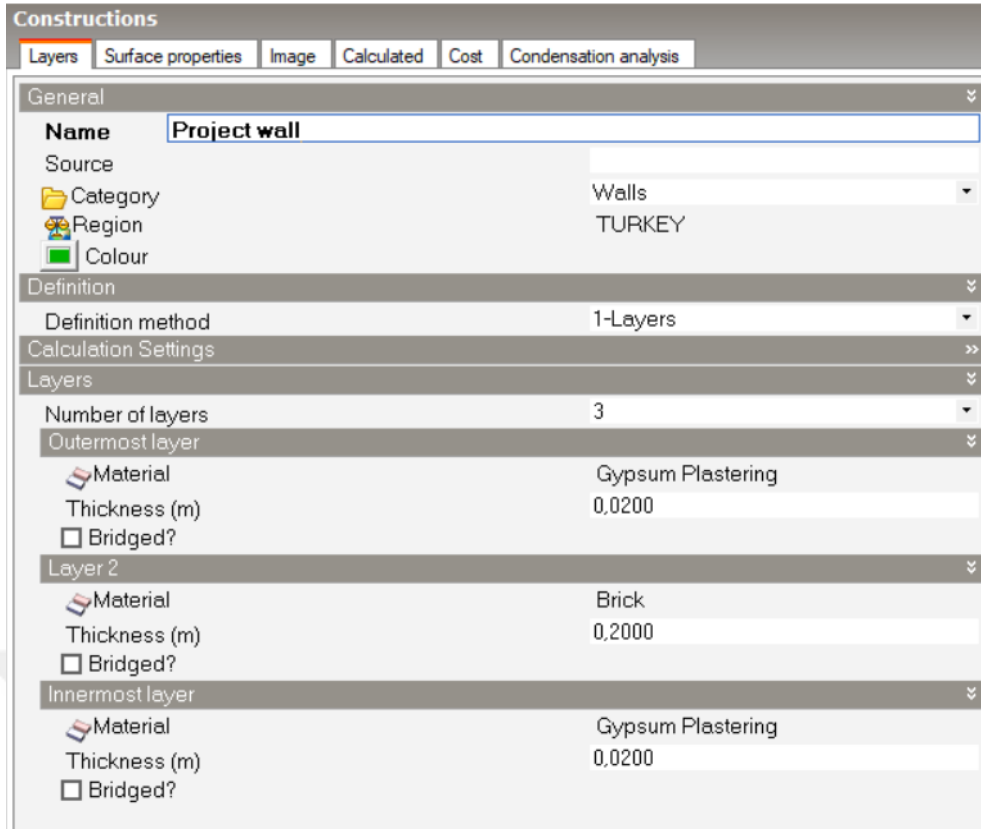
Aylar (Ölçüm Periyodu 1938-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	0.2	4.2	-3.2	2.6
Şubat	1.7	6.5	-2.3	3.8
Mart	5.7	11.5	0.7	5.1
Nisan	11.2	17.4	5.3	6.5
Mayıs	16.1	22.4	9.7	8.4
Haziran	20.0	26.7	12.9	10.0
Temmuz	23.4	30.3	15.9	11.2

Tablo 2. (Devamı)

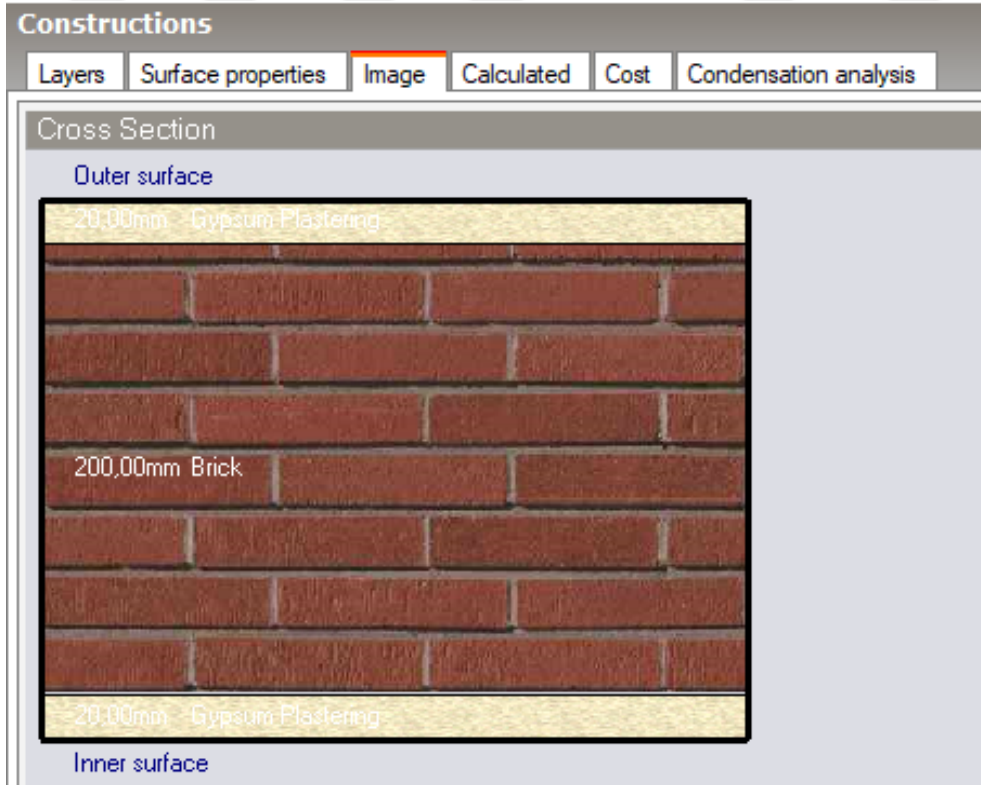
Aylar (Ölçüm Periyodu 1938-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ağustos	23.4	30.5	16.0	10.6
Eylül	18.9	26.1	11.8	9.1
Ekim	13.2	20.0	7.1	6.7
Kasım	7.3	13.1	2.5	4.6
Aralık	2.5	6.5	-0.8	2.5
Yıllık	12.0	17.9	6.3	6.8

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

Aylar (Ölçüm Periyodu 1938-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	5.7	8.5	3.1	3.0
Şubat	5.8	9.1	3.2	3.6
Mart	7.4	11.3	4.4	4.6
Nisan	11.6	16.2	7.9	6.5
Mayıs	16.5	21.2	12.5	8.8
Haziran	21.1	25.9	16.6	10.6
Temmuz	23.8	28.8	19.3	11.5
Ağustos	23.9	28.8	19.6	10.7
Eylül	20.4	25.2	16.3	8.3
Ekim	16.0	20.1	12.7	5.7
Kasım	11.9	15.3	9.0	4.0
Aralık	8.1	10.9	5.5	2.8
Yıllık	14.3	18.4	10.8	6.7



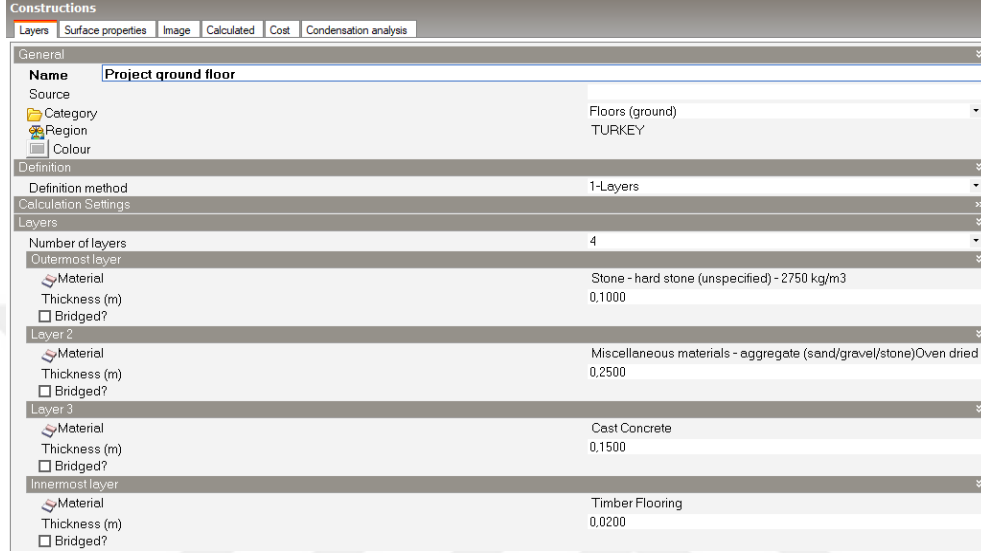
Şekil 16. Boş bina duvar katmanları



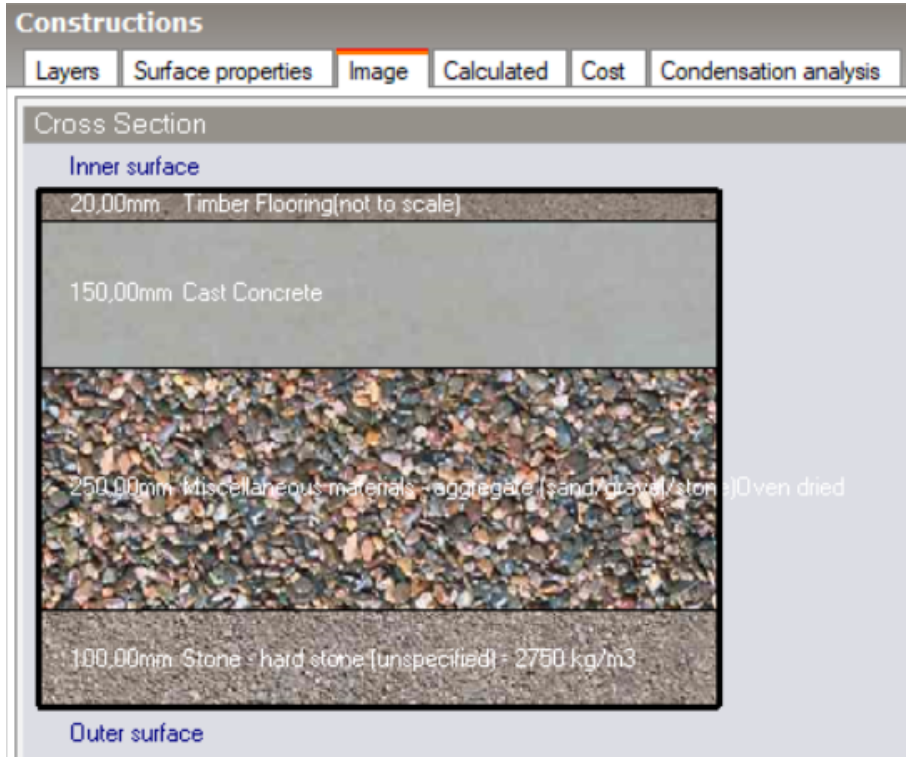
Şekil 17. Boş bina duvar katman görünümü

Tablo 4. Boş bina duvar katman kalınlık ve ısı transfer katsayısı tablosu

Malzeme	Kalınlık (m)	Toplam Isı Geçiş Katsayısı – U (W/m ² K)
Dış Sıva	0.02	
Tuğla	0.2	1.82
İç Sıva	0.02	



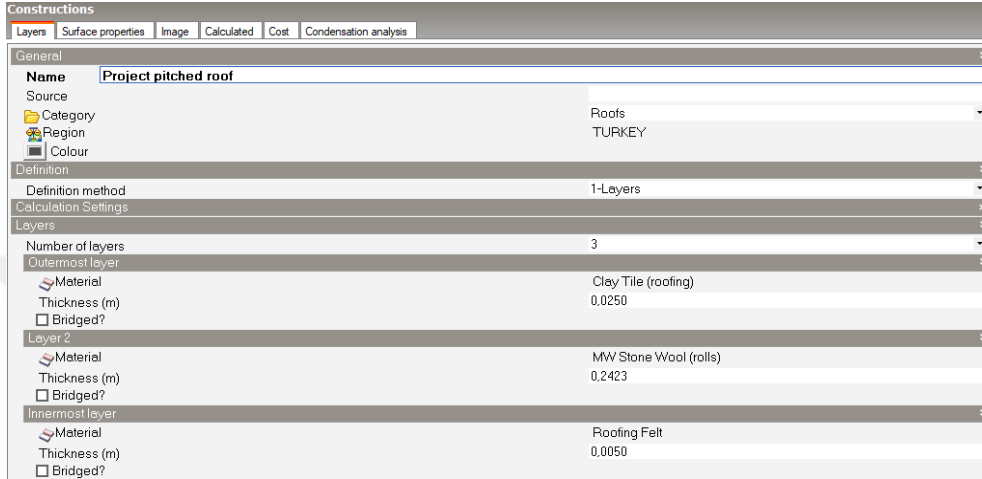
Şekil 18. Boş bina zemin katmanları



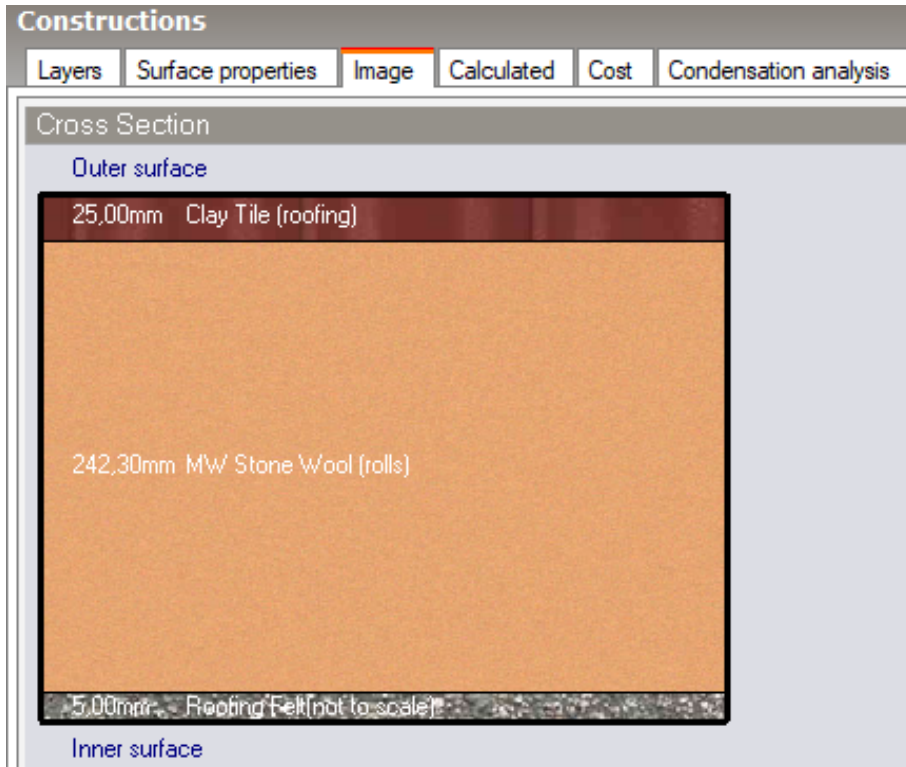
Şekil 19. Boş bina zemin katman görünümü

Tablo 5. Boş bina zemin katman kalınlık ve ısı transfer katsayısı tablosu

Malzeme	Kalınlık (m)	Toplam Isı Geçiş Katsayısı – U (W/m ² K)
Sert taş	0.1	1.40
Agrega	0.25	
Beton	0.15	
Ahşap Döşeme	0.02	



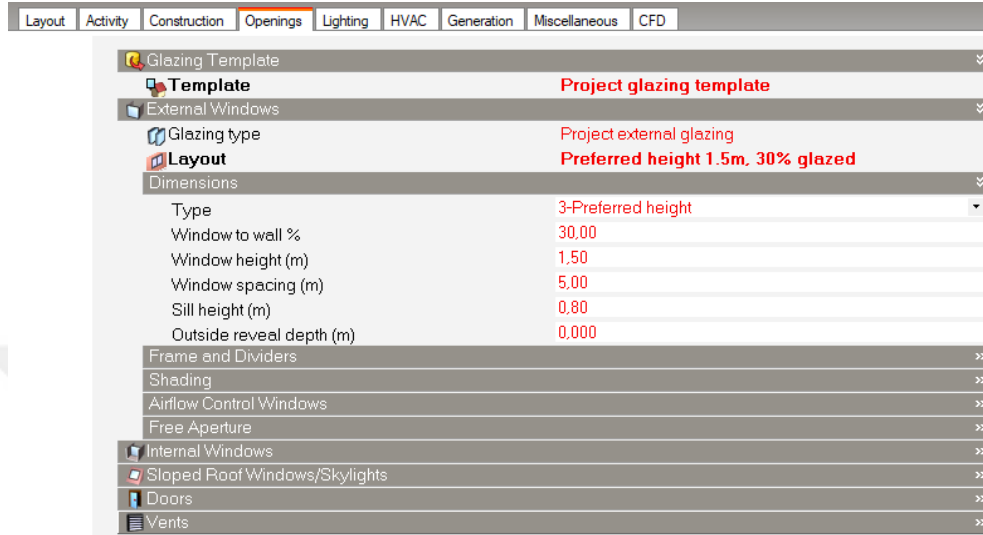
Şekil 20. Boş bina çatı katmanları



Şekil 21. Boş bina çatı katman görünümü

Tablo 6. Boş bina çatı katman kalınlık ve ısı transfer katsayısı tablosu

Malzeme	Kalınlık (m)	Toplam Isı Geçiş Katsayısı – U (W/m ² K)
Çatı Kaplama Keçesi	0.005	0.16
Taş Yünü	0.242	
Kil Çatı Kiremidi	0.025	



Şekil 22. Boş bina pencere duvar oranı

4.4. Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları

Sıfır enerjili binaların ısıtılması ve soğutulması için gereken enerji miktarlarının hesaplanabilmesi ve uygun tasarımlar yapılabilmesi için binanın ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapılır.

4.4.1. Isı Kaybı Hesabı

Isı kaybı hesaplaması yapılırken kullanılacak olan temel veriler, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda yer almaktadır.

Bir yapı bileşeninin ısı iletim katsayısı, yüzeyel iç ve dış ısı taşınım direnci ile ısı geçirgenlik direncine bağlıdır. Isı iletim katsayıları, TS 825'te yapı bileşenleri için belirtilmiş olup, ısı geçiş katsayılarını hesaplamakta kullanılmaktadır. Aşağıda yer alan Eşitlik 1 yardımıyla toplam ısı geçiş katsayıları bulunur (Bayar ve Atılğan, 2015).

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e$$

(Eşitlik 1)

Burada;

$\frac{1}{U}$: Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci ($m^2.K/W$),

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci ($m^2.K/W$),

R_e : Dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci ($m^2.K/W$)dir.

Yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları bulunarak ısı kaybı hesabı yine TS 825'te belirtilen aşağıdaki Eşitlik 2 yardımıyla yapılır.

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada;

q : Isı akış yoğunluğu (W/m^2),

θ_i : İç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$),

θ_e : Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$),

U : Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (W/ m^2K)dir.

4.4.2. Isı Kazancı Hesabı

Isı kazancı hesabı yapılırken farklı iç kazançların mevcut olması ve anlık kullanımlara göre bu kazançları etkileyen verilerin değişmesi nedeniyle ortalama değerler alınarak sistem tasarım hesapları yapılmaktadır.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda iç kazançlar şu şekilde belirtilmektedir:

- İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları
- Sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları
- Yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları
- Aydınlatma işleminden kaynaklanan ısı kazançları
- Binalarda kullanılan elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları.

Ortalama değerler ile çalışılması halinde, aydınlatma dışındaki ortalama değerler yıl boyunca hemen hemen sabittir. Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı (büro binaları vb.) binalarda iç kazançlar olarak birim kullanım alanı başına en fazla $5 W/m^2$ alınmakla birlikte; pişirme işleminin ağırlıklı olduğu yemek fabrikaları gibi binalarda, olağan dışı elektrikli cihaz çalıştırılan binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar, tekstil atölyeleri, vb.) veya etrafa ısı veren sanayi cihazlarının

kullanıldığı binalarda, iç kazançlar için birim döşeme alanı başına en fazla 10 W/m² değeri alınır (TS 825).

4.5. Binalarda Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanımı ve Hesapları

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).

FDM'lerin bina dış duvarı yapı bileşenlerinde kullanılmasındaki termal davranışlarının tanımlanmasında kullanılan dış duvarın enerji dengesi denklemleri Eşitlik 3'te verilmiştir (Holman, 2012).

$$\partial T / \partial t = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2)$$

(Eşitlik 3)

Denklemden verilen T sıcaklık (°C), t zaman, x malzeme kalınlığı (mm), α termal yayılım (m²/s), malzemenin ısı iletkenliğinin yoğunluğuna oranı ve ısı iletkenlik (k/ρc)'dir.

FDM'nin erime sürecini ve katılaşma sürecini gösteren eşitlik de Eşitlik 4'te verilmiştir (Zivkovic, 2001).

$$\partial T / \partial t = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2) - [(L_h / c_p) (\partial f / \partial t)] \quad (\text{Eşitlik 4})$$

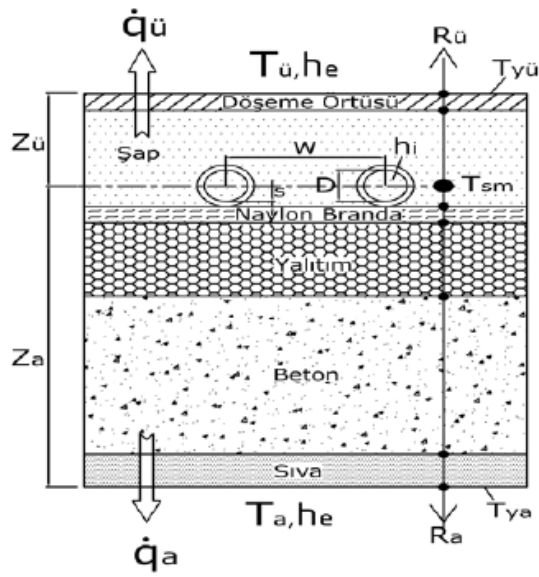
Denklemden verilen c_p sabit basınç altındaki özgül ısıyı (kJ/kgK), L_h gizli latent ısıyı (kJ) ve f faz değişim esnasında erişmiş olan FDM oranını ifade etmektedir. Fraksiyon sıfır 0 ile 1 değerleri arasında değişkenlik göstermektedir.

4.6. Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemi Hesapları

Yerden ısıtma sistemlerinin kullanım alanları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Konutlarda ısıtma amaçlı kullanımın yanında; buzlanma tehlikesi olan yollar, rampalar, çatılar ve spor sahaları gibi çeşitli kullanım yerleri mevcuttur.

Yerden ısıtma sisteminde boru içinden akan suyun taşımış olduğu enerjinin, ısıtılmak istenen yüzeye ve oradan da ısıtılacak odalara aktarılabilen miktarının

hesapları önem taşımaktadır. Gidiş dönüş sıcaklığı arasındaki farklar, döşeme alt ve üst yüzeylerinde gerçekleşen ısı transfer miktarları oldukça önem arz etmektedir. Seçilen bir döşeme için, ısıtılacak olan odaya ve bu döşemenin toprağa oturması veya diğer bir odanın üzerinde olması durumuna göre hesaplar aşağıda verilmiştir. Bu hesaplamalarda, döşeme ve boru yüzey sıcaklıklarının zamanla değişmediği kabul edilmiştir. Ayrıca ısı transferinin iki boyutlu olduğu kabulü ve ısı iletim katsayısının zamanla değişmediği kabulü ile şekil faktörü kullanılmıştır. Hesaplamalarda $L \gg D, z$ ve $w > 1,5D$ olduğu kabul edilmiştir (Doğan; Çalışır 2011). Şekil 23'te çok katlı yapılarda katlar arasındaki döşemelerde hesap yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 23. Çok katlı yapılarda ara döşemelerde hesap yöntemi (Doğan; Çalışır 2011).

Şekil 23'e göre üst yüzeye transfer olan ısı akılarını yazacak Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 yarımıyla yazacak olursak;

$$\dot{q}_u = \frac{Z_u \cdot S_u}{R_u \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{yu}) \rightarrow w / m^2 \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$S_u = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2\pi Z_u}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Şekil 23'e göre alt yüzeye transfer olan ısı akılarını Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 yardımıyla yazacak olursak;

$$\dot{q}_a = \frac{Z_a \cdot S_a}{R_a \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{ya}) \rightarrow w / m^2 \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$S_a = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2\pi Z_a}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (\text{Eşitlik 8})$$

\dot{q}_a : Borudan alt döşemeye yayılan ısı

\dot{q}_u : Borudan üst döşemeye yayılan ısı

T_u : Üstteki hacmin iç ortam sıcaklığı

T_a : Alttaki hacmin iç ortam sıcaklığı

T_{sm} : Boru eksenindeki ortalama sıcaklık

T_{yu} : Üst döşemedeki yüzey sıcaklığı

T_{ya} : Alt döşemedeki yüzey sıcaklığı

h_i : Boru içindeki taşınım katsayısı

S_u, S_a : Isı iletimi şekil faktörü

h_e : Eşdeğer taşınım katsayısı

R_u : Üst ısı direnç

R_a : Alt ısı direnç

S : Boru et kalınlığı

w : Borular arası uzaklık

D : Boru dış çapı

Z_u : Üst döşemeye uzaklık

Z_a : Alt döşemeye uzaklık

L : Boru boyu

4.7. Sıcak Su İhtiyacı İçin Kullanılan Güneş Enerji Sistemi Hesapları

Akışkanların ısıtılması güneş enerjisinin sıklıkla kullanıldığı alanlardandır. Oldukça sık kullanılan bu akışkanların başında su ve hava gelmektedir. Ülkemizde en yaygın kullanım alanı ise sıcak su üretimidir. Güneş enerjisi ile sıcak su elde etme sistemleri, hazırlanacak suyun kullanılma yeri ve amacına göre değişiklikler göstermektedir (Uyarel ve Öz, 1987).

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin projelendirilmesinde ağırlıklı olarak f-chart yöntemi kullanılmaktadır (Hesieh, 1986; Uyarel ve Öz, 1985; Tırıs vd. 1997).

F-chart metodunda, kullanılan güneş kolektörlerinin özellikleri, binanın ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu için enerji ihtiyacı hesaba katılarak aylık faydalanma oranları ve yıllık karşılama oranları hesaplanır. Bu metot güneş destekli ısı sistemleri için geliştirilmiş olup bu sistemlerin performansının incelenmesi için kullanışlı bir yöntemdir (Klein ve Duffie, 1982). Bu yöntem, Eşitlik 9 yardımıyla aylık ısıtma yükünün güneş karşılama oranını (f_a), Eşitlik 10 yardımıyla ilki kolektör kayıplarının ısıtma yüküne oranıyla ilgili (X), ikincisi ise Eşitlik 11 yardımıyla kolektör tarafından yutulan güneş ışınımının ısıtma yüküne oranıyla ilgili (Y) olan iki boyutsuz parametreye bağlı olarak hesaplar (Kara, Y. 2016).

$$f_a = 1.029Y - 0.065X - 0.24Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$X = (F_R U_L) \times \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \times (T_{ref} - \bar{T}_a) \times \Delta t \times \frac{A_c}{L_a} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \times \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \times \frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} \times \bar{H}_T \times N \times \frac{A_c}{L_a} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

f_a : Güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan aylık ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı (aylık faydalanma oranı veya aylık solar karşılama oranı)

F_R : Kolektör ısı kazanç faktörü

F'_R : Kolektör eşanjör verim faktörü

U_L : Kolektör toplam ısı geçiş katsayısı

\bar{T}_a : Aylık ortalama çevre sıcaklığı (TS 3817 standardına göre ortalama çevre sıcaklığı)

Δt : Bir aydaki saniye sayısı(sn)

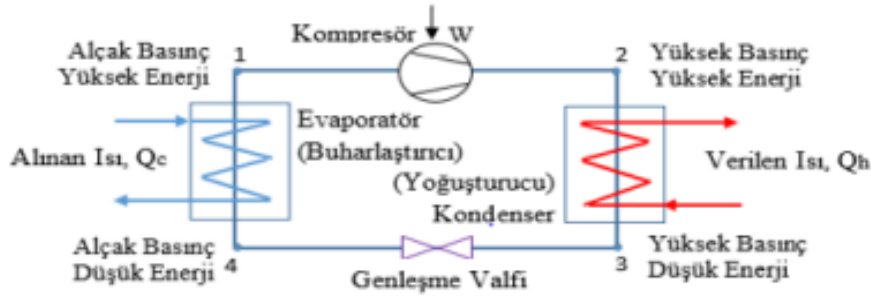
A_c : Kollektör yüzey alanı(m²)

L_a : Aylık toplam ısı yükü(J)

$(\tau\alpha)_n$: Normal yönde gelen ışınım için aylık yutma-geçirme oranı

4.8. Isı Pompası Seçimi ve Hesapları

Isı pompaları, ısıyı hava, su, toprak gibi doğal kaynakları kullanarak düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan; yüksek sıcaklıktaki bir kaynağa aktarır (Kıncay, O 2019).



Şekil 24. Temel elemanları ile bir ısı pompası devresi şeması (Ergün H, 2019).

Şekil 24'de görüldüğü gibi bir ısı pompası ana elemanları kompresör, evaporatör, genleşme vanası ve kondenserden oluşur. Kompresör, aldığı bir birim elektrik enerjisiyle, kaynağın üç, dört birim ısı enerjisini yüksek sıcaklıktaki ortama iletebilir. O nedenle performansı yüksektir. Isı pompasının etkinlik sayısı (COP_{IP}), birim zamanda aktarılan ısıнын, kompresörün birim zamanda tükettiği net enerjiye oranıdır (Burada; IP; ısı pompasını, H; ısıtmayı (heating), C; soğutmayı (cooling) göstermektedir);

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_{c,net \text{ giren}}} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Isı pompasının ısıtma etkinlik katsayısı(COP_H);

$$COP_H = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_C} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{1}{1 - \dot{Q}_L / \dot{Q}_H} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

ve soğutma etkinlik sayısı (COP_C);

$$COP_C = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_C} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{1}{(\dot{Q}_L / \dot{Q}_H) - 1} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Eşitlik 12, Eşitlik 13 ve Eşitlik 14 yardımıyla değerler ifade edilir.

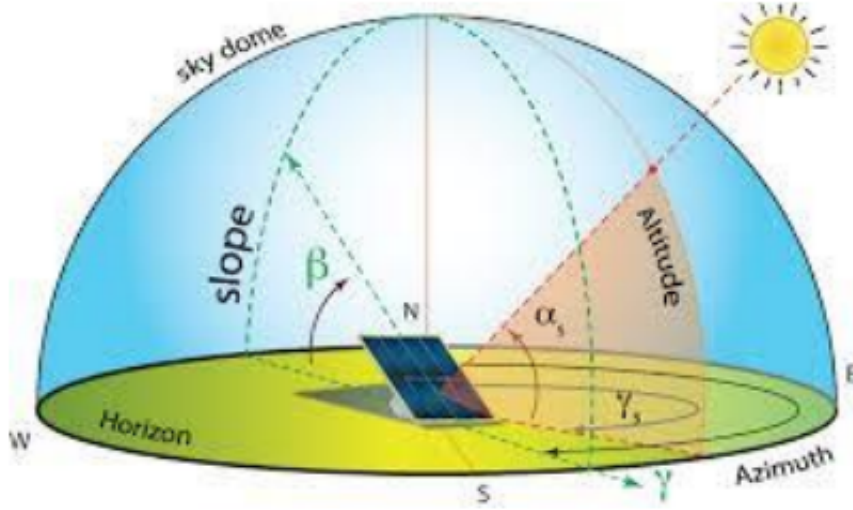
Isı pompası seçimi yapılırken ulaşılabilirlik ve verim bakımından ısı kaynağı seçilir. Binanın ısı kazanç ve kayıpları tasarım ısıtma ve tasarım soğutma yükleri bulunur. Isıtma için net ısı yükü (kW) alınır. Havadan suya kaynaklı ısı pompaları, dünya genelinde en yaygın kullanılan ısı pompalarıdır.

4.9. Fotovoltaik Sistem (PV) Seçimi ve Hesapları

Bir PV sistemin enerji üretimi, paneller başta olmak üzere birçok dış faktöre bağlı olarak değişir. Anma gücü olarak tanımlanan W_p (watt peak), panelin 25°C 'de standart test şartlarına (IEC 60904-1.) göre yapılan testteki performansını gösterir. Panelin coğrafi ve fiziki konumu, gölge ve rüzgar durumu, güneş ışınımının miktarı, ışığın geliş açısı, panelin ve komple sistemin kayıpları sonucu elde edilen nihai verimlilik önemli etkenlerdir. Daha verimli üretim için güneş ışığını uygun açıda izleme (tracking) sistemleri, genellikle çatı cephe uygulamaları dışında kullanılabilen, karmaşık ve pahalı yöntemlerdir. Ülkemizin konumu itibarıyla modüller güneye yönlendirilmiş olmalı ve gölgelerden etkilenmemelidir. Optimum eğim ve azimut açısı da enerji etkinliği için önemlidir (Ergün, H. 2019).

Güneş azimut açısı, güneş ışınlarının yataydaki izdüşümünün, pusula yönü ile arasındaki açıdır. Şekil 25'te gösterimi bulunan azimut açısının tam olarak hesaplanması için kullanılan denklem Eşitlik 15'te ifade edildiği gibidir (Perdahlıyan ve Öztuna, 2021).

$$\sin \gamma = -\cos \delta \sin \omega / \sin \varphi \quad (\text{Eşitlik 15})$$



Şekil 25. Güneş azimut açısı (Perdahlıyan ve Öztuna, 2021).

Çatı ve cephe uygulamalarında sınırlı alanda en fazla verimi elde edebilmek için panel seçimi en temel kararların başında gelmektedir. Çatı tipine göre kW başına kurulması gereken m² paneller karşılaştırmalı olarak aşağıda gösterilmiştir (Perdahlıyan ve Öztuna, 2021);

Eğimli çatılarda kurulum için gerekli yüzey;

Kristal modül için yaklaşık 9 m²/kWp

İnce film modül için yaklaşık 18 m²/kWp

Kristal modül için yaklaşık 18 m²/kWp

İnce film modül için yaklaşık 40 m²/kWp

4.10. Ekonomik Analiz Yöntemleri

Bir yatırımın karlılığının tespiti için yapılan analize ekonomik analiz denir. Başka bir ifade ile ekonomik analiz, kaynakların etkin ve verimli kullanılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi için yapılan çalışmadır. Ekonomik analiz ile bir yatırım projesinin ekonomik ömrü boyunca elde edilebilecek kazanç ve giderler parasal olarak belirlenebilmektedir.

Bir yatırım projesinin ekonomik analizini yapabilmek için yatırımla ilgili olarak; ilk yatırım tutarı, yatırımın ömrü, hurda değeri, projeden elde edilebilecek kazanç, enerji birim fiyatları, iskonto ve faiz oranı gibi ekonomik verilerin bilinmesi gereklidir.

Kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasının sağlanması için yatırımlar çeşitli ekonomik analiz yöntemleriyle değerlendirilir (Çelik, 2022).

Enerji projelerinde en çok kullanılan ekonomik analiz yöntemleri aşağıda verilmektedir (Gülbahar, 2018).

4.10.1. Net Bugünkü Değer (NBD) Yöntemi

Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi; paranın zaman değerini dikkate alan ve gelecekteki tasarruf miktarını belirli bir iskonto oranı ile bugünkü karşılığına çeviren bir yöntemdir (Kahraman, M. Ü. ve Çelik, A. 2022). Elde edilen net sonuç negatif ise yatırım projesinin yapılması uygun görülmez, negatif dışı bir sonuç elde edilirse yatırım projesinin yapılması uygun görülür. NBD'nin sıfır olması ise yatırım sonucunda ne kâr ne de zarar oluştuğunu yani kazançların toplam maliyetlere eşit olduğunu ifade etmektedir. Bu yöntemin avantajı projenin ekonomik ömrünü dikkate almasıdır (Çelik, A. 2022).

Net bugünkü değer aşağıda verilen Eşitlik 16 yardımıyla hesaplanır (Okka, O. 2020).

$$NBD = GBD - MBD$$

$$NBD = A (F/A; \%i, n) - C$$

(Eşitlik 16)

Bu eşitlikte; NBD net bugünkü değer (\$), GBD gelirlerin bugünkü değeri (\$), MBD maliyetlerin bugünkü değeri (\$) olarak tanımlanır. P paranın şimdiki değeri, F paranın gelecekteki değeri, A n dönem devam eden düzgün artan serilerde dönem sonu değeri, i faiz oranı, n faiz dönem sayısı, C ilk yatırım maliyeti olarak tanımlanır.

Projenin kabul edilebilmesi için bulunan değer sıfırdan büyük (pozitif) olması gerekir.

4.10.2. Global Maliyet Analizi

Binanın ilk yatırım maliyetlerinin, işletim giderlerinin ve hesaplama süresi sonunda kalan bedelinin bugünkü değerinin ekonomik ömrü boyunca toplam maliyeti global maliyet olarak tanımlanmaktadır. Global maliyet hesaplamasında, sadece enerjiden kaynaklanan maliyetlerin göz önüne alındığını vurgulamak gerekir. Bunun için, EBPD (Recats, 2010) de tanımlanan global maliyet kavramı, çevresel faktörlerinde dikkate alındığı değerlendirme ile örtüşmemektedir (Çelik, Ali 2022). Global maliyet analizi Eşitlik 17 yardımıyla hesaplanır.

$$C_g(\tau) = C_i + \sum \left[\sum_{j=1}^{\tau} (C_{a,j}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (\text{Eşitlik 17})$$

$C_g(\tau)$: Global maliyet

τ : Hesaplama süresi

C_i : İlk yatırım maliyeti

$C_{a,j}(j)$: Yıllık giderler (hesaplama süresi boyunca bakım, işletim ve enerji maliyetleri)

$V_{f,\tau}(j)$: Binanın hesaplama süresi sonunda kalan bedeli

$R_d(i)$: i yılı için indirim oranı aşağıdaki Eşitlik 18 yardımıyla hesaplanır.

$$R_d = [1/(1 + R_R)^i] \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Burada i , başlangıç yılından itibaren geçen yıl sayısı, R_R gerçek faiz oranıdır ve Eşitlik 19 yardımıyla hesaplanır.

$$R_R = (R - R_i / 1 + R_i) \quad (\text{Eşitlik 19})$$

Burada $R_i(i)$ enflasyon oranı, R piyasa faiz oranıdır.

4.10.3. Geri Ödeme Süresi (GÖS)

Projenin tasarruf toplamının, ilk yatırım bedeline ulaştığı süre geri ödeme süresi olarak tanımlanmaktadır. Geri ödeme süresi ile yatırımın rasyonel olup olmadığına karar verilir. Geri ödeme süresi azaldıkça yatırımın daha az riskli olduğu, katma değerinin yüksek olduğu ve likiditenin artabileceği sonucu da çıkarılabilir (Kahraman, 2018).

Geri ödeme süresi; yıllar bazında nakit akışının düzenli ya da düzensiz olmasına göre hesaplanır. Eğer nakit akışı düzenli ise; geri ödeme süresi aşağıda Eşitlik 20 yardımıyla, nakit akışı düzenli değilse Eşitlik 21 yardımıyla hesaplanır (Afonso ve Cunha 2009).

$$G\ddot{O}S = \dot{I}Y/NA$$

(Eşitlik 20)

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

İY : İlk yatırım

NA : Dönem başına nakit akışı

Eğer nakit akışı düzenli değil ise;

$$G\ddot{O}S = \sum G\ddot{O}S + (YNG\ddot{O}S/TYNA)$$

(Eşitlik 21)

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yılın başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

4.10.4. İç Karlılık Oranı (İKO)

Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan iç karlılık oranı literatürde, iç getiri oranı, yatırımın marjinal verimliliği ve iç verim oranı olarak da adlandırılır. İç karlılık oranı yatırımların ekonomik analizinde oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Genel olarak yatırım maliyetlerinin bugünkü değerini, gelirlerin bugünkü değerine eşitleyen oranın değeri iç karlılık oranı olarak tanımlanmaktadır (Çelik, A. 2022). İç karlılık oranı aşağıdaki Eşitlik 22 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$İKO = \sum [C_n / (1 + r)^n]$$

(Eşitlik 22)

C_n : Yatırım maliyeti, TL

r : faiz oranı, %

n : Yatırımın ekonomik ömrü, yıl olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında enerji simülasyonları yapılan bina tasarımı için günümüz şartlarında da ağırlıklı olarak tercih edilen geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi kullanılacaktır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Farklı İklim Tiplerinde Tasarlanan Örnek Binaların İyileştirmeler Yapılmadan Önceki Enerji Analizleri ile Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri

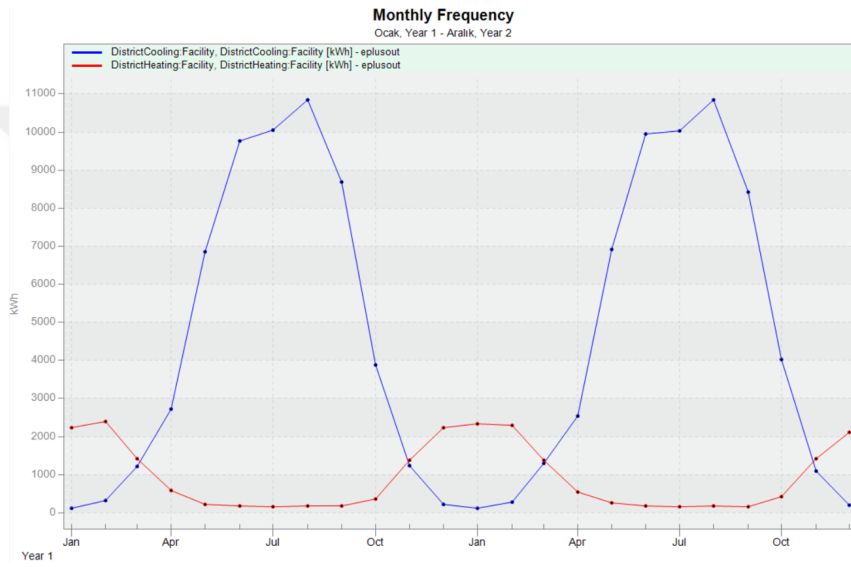
Net sıfır enerjili ya da yaklaşık sıfır enerjili binaların tasarımında dikkate alınması gereken ilk ve en önemli husus bulunduğu iklim koşullarıdır. Analizi yapılan İzmir, Ankara, İstanbul illeri için aynı ortak yapısal özelliklere sahip şekilde tasarlanan bir binanın farklı iklim koşullarında ısıtma ve soğutma yükleri arasındaki farklar tablo, şekil ve grafiklerle sunulmuştur. Binadaki enerji tüketiminde tasarruf sağlayabilecek bina kabuğundaki değişimler, yapısal özelliklerde yapılacak iyileştirmeler pasif çözümler olarak ve binanın ısıtma ve soğutmada bina yapısı ve iklim koşullarına göre uygun çözümler oluşturacak ısıtma, soğutma sistemlerinin kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak fosil yakıt kullanımının en aza indirgenmeye çalışılması gibi iyileştirmeler de aktif çözümler olarak tasarlanacaktır.

Çalışma boyunca pasif ve aktif çözümler ekonomik olarak da incelendiğinden yapılan iyileştirmelerde optimum noktada çözüm üretecek tasarımlar için deneme yanılma simülasyonları ile çözüme gidilmiştir.

5.1.1. İzmir İli İçin İyileştirme Öncesi Enerji Analizi

Farklı iklim tipleri için aynı yapısal özelliklerle tasarlanan bina İzmir ilinde henüz iyileştirmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gerçekleşmeden önce simüle edildiğinde soğutma yükünün ısıtma yükünden fazla olduğu görülmüştür. EnergyPlus programı kullanılarak simülasyonla elde edilen verilerde toplam yıllık ısıtma yükünün 11548.66 kWh, toplam yıllık soğutma yükünün ise 55889.93 kWh olduğu görülmektedir. Bina toplam alanı 675 m² olduğundan bu değerler toplam alana bölünerek m² başına düşen yıllık ortalama ısıtma yükünün 17.10 kWh/m²yıl olduğu ve m² başına düşen yıllık ortalama soğutma yükünün 82.79 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir. Aylık, günlük ve saatlik analizler yapılarak grafikler ve tablolarla elde edilen değerler iyileştirmeler sonucunda elde edilecek değerlerle karşılaştırılmak üzere kayıt altına alınmıştır. Bina aydınlatma ve ekipman yükünün 40855.57 kWh olduğu, bina sıcak kullanım suyu ısıtma yükünün de 2174.24 kWh olduğu iyileştirmeler yapılmamış bina simülasyon sonuçlarında belirlenmiştir. Sıcak su yükü DesignBuilder simülasyon programında ısıtma yükünün içerisinde verilmektedir. Bu nedenle binanın

toplam enerji tüketimi tablosunda bu değerler ayrı gösterilmiş fakat simülasyon program çıktıları tablolarında ısıtma yükü içerisinde dağıtıldığı için birleşik olarak verilmiştir. Tasarımı simüle edilen binanın İzmir iline ait aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 26'da, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 27'de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 28'de gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 7'de kWh cinsinden gösterilmiştir. Aydınlatma, sıhhi sıcak su, ısıtma ve soğutma yüklerinin değerleri ve binaya ait toplam enerji yükü değerleri Tablo 8'de gösterilmiştir.



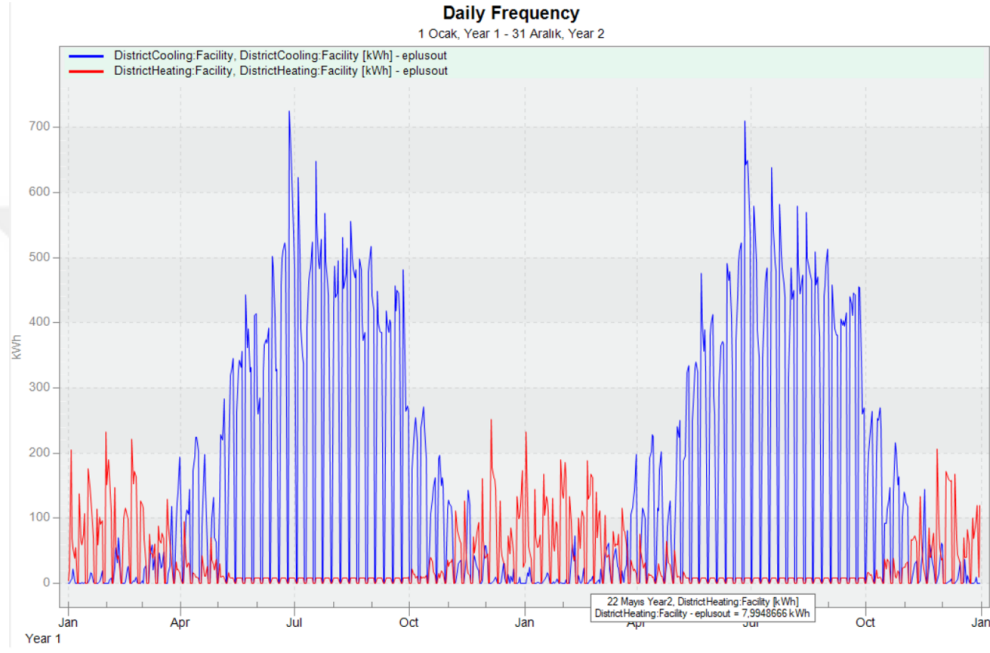
Şekil 26. İzmir ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 7. İzmir ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

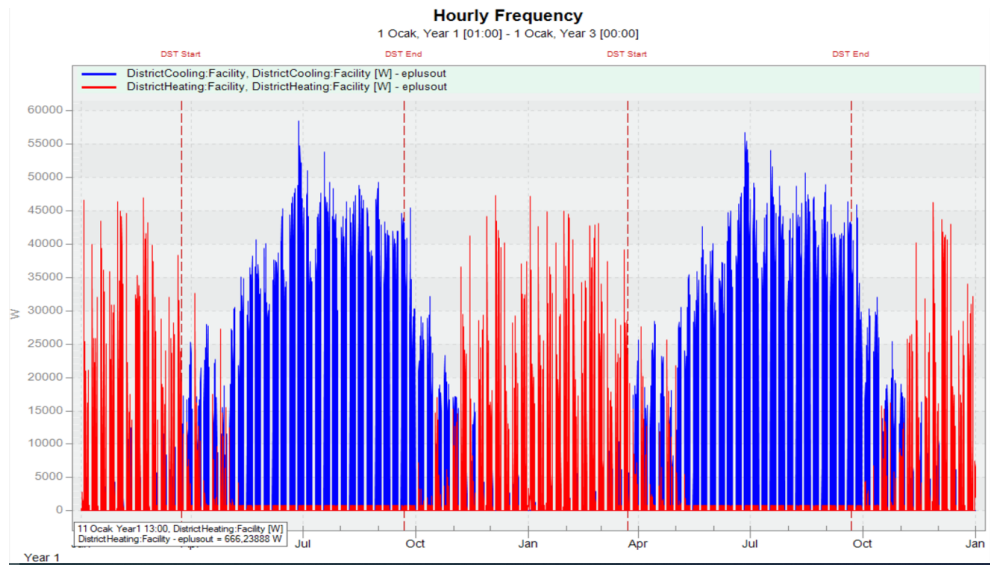
	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	121.64	2231.69
Şubat	297.59	2392.22
Mart	1208.99	1422.49
Nisan	2725.88	592.77
Mayıs	6847.91	217.33
Haziran	9757.79	175.88
Temmuz	10046.00	167.89
Ağustos	10841.09	183.88
Eylül	8695.10	178.28

Tablo 7. (Devamı)

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ekim	3875.28	371.16
Kasım	1243.62	1375.05
Aralık	229.04	2240.02
Toplam	55889.93	11548.66



Şekil 27. İzmir ili için simüle edilen boş binanın günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



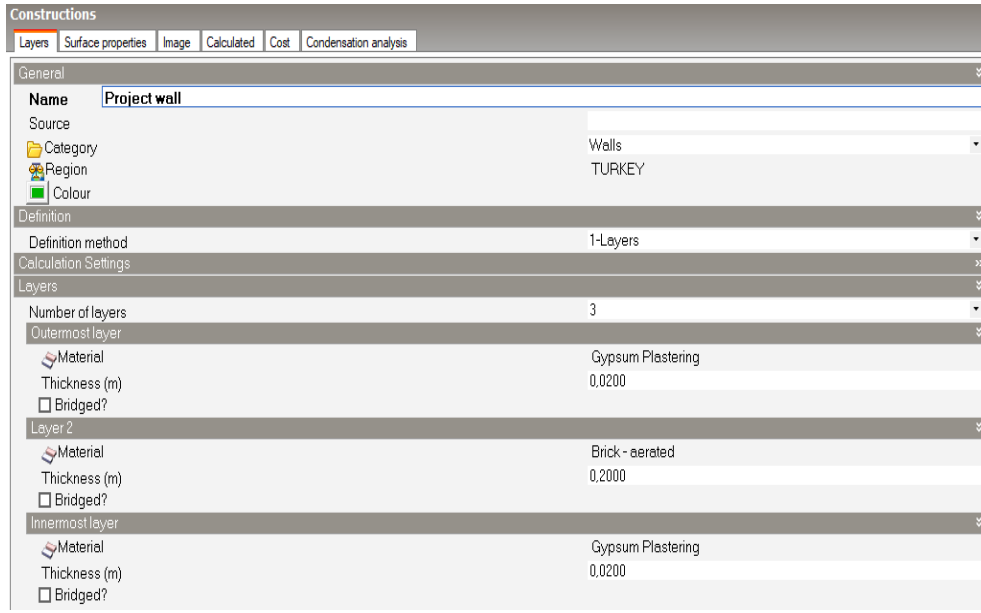
Şekil 28. İzmir ili için simüle edilen boş binanın saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 8. İzmir ili için simüle edilen binanın toplam enerji tüketimi

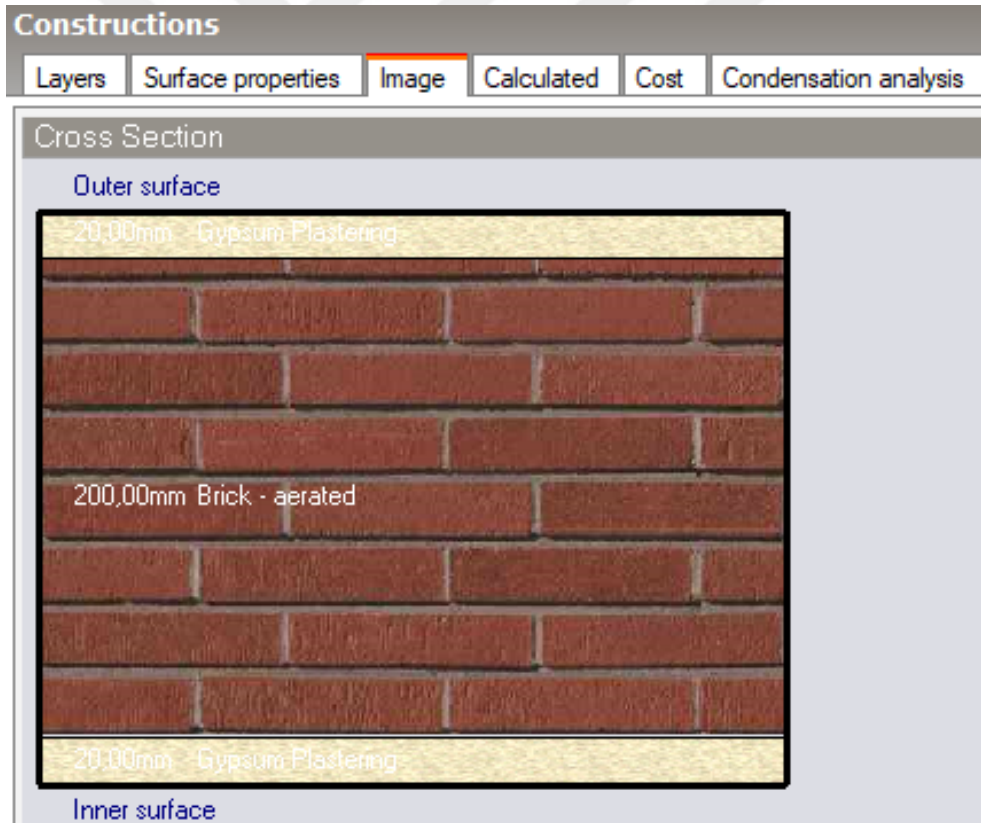
Yıllık Enerji Tüketimi		
Sistemler	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m ² yıl)
Soğutma Yüğü	55889.93	82.79
Isıtma Yüğü	9374.42	13.88
Aydınlatma ve Ekipman Yüğü	40855.57	60.52
Sıhhi Sıcak Su Yüğü	2174.24	3.22
Toplam	108294.16	160.43

5.1.2. İzmir İli İçin Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri

Yapı tasarımlarında öncelikle iklim tipi buna bağılı olarak iklim şartları, konum, bina kabuğunda kullanılan bileşenler ve güneşlenme süresi ısıtma soğutma yüklerine etki eden genel faktörlerdir. Bu doğrultuda sıcak iklim ve soğuk iklim bölgelerinde bulunan binaların enerji etkin binalar olabilmesi için oluşturulacak çözümlerin de farklı olması gerektiğı sonucu ortaya çıkmaktadır. Konstrüksiyon yapısında dış duvar ve pencerelerin yapısı ısı kayıplarının ve ısı kazanımlarının büyük bir bölümünün bu yüzeylerden kaynaklı olması nedeniyle büyük önem arz etmektedir. Seçilecek malzemelerin ısıl iletkenlik özelliğı ve termal kapasiteleri ısı kayıp ve kazanımlarına doğrudan etki edecektir. Bu bağlamda mevcutta 20 cm tuğla, 2 cm iç sıva ve 2 cm dış sıva tasarımında oluşturulan bina, bina kabuğunda tuğla yerine ısı kaybı daha düşük olan gazbeton kullanılması durumunda karşılaşılabilecek ısıtma ve soğutma yükünü belirlemek üzere gazbeton seçimi yapılarak simüle edilmiştir. Bina kabuğunda gazbeton seçimi ile yapılan simülasyon sonucunda İzmir iline ait yapı tasarımında gaz beton seçimi Şekil 29'da, katman görünümü Şekil 30'da, ısıl geçirgenlik değerleri Şekil 31'de, aylık ısıtma soğutma yükü grafiğı Şekil 32'de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiğı Şekil 33'te, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiğı Şekil 34'te gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri Tablo 9'da kWh cinsinden gösterilmiştir. Duvar malzemesi ısı kaybı karşılaştırması Tablo 10'da gösterilmiştir.



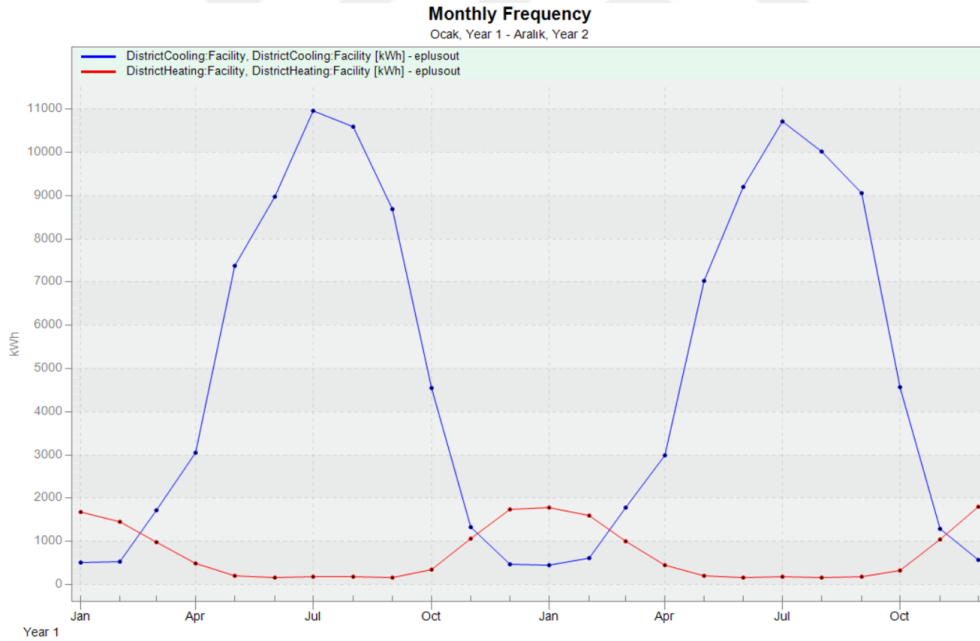
Şekil 29. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi



Şekil 30. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,130
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					1,304
R-Value (m ² -K/W)					0,937
U-Value (W/m²-K)					1,068
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,2400
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)					87,2000
Upper resistance limit (m ² -K/W)					0,937
Lower resistance limit (m ² -K/W)					0,937
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					1,304
R-Value (m ² -K/W)					0,937
U-Value (W/m²-K)					1,068

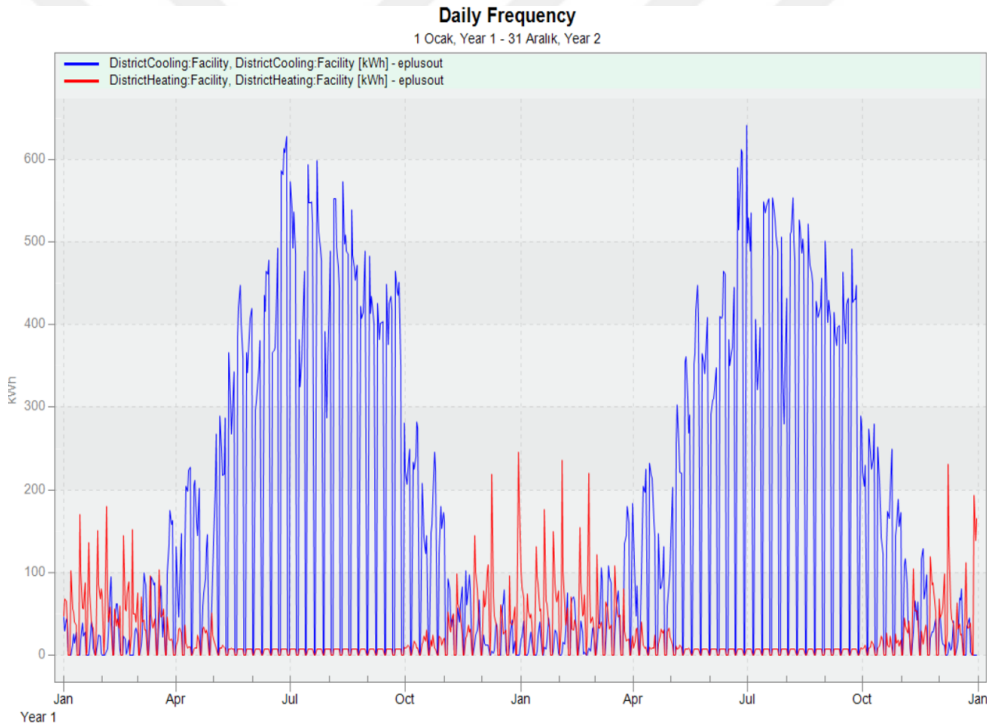
Şekil 31. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi ısıl geçirgenlik değerleri



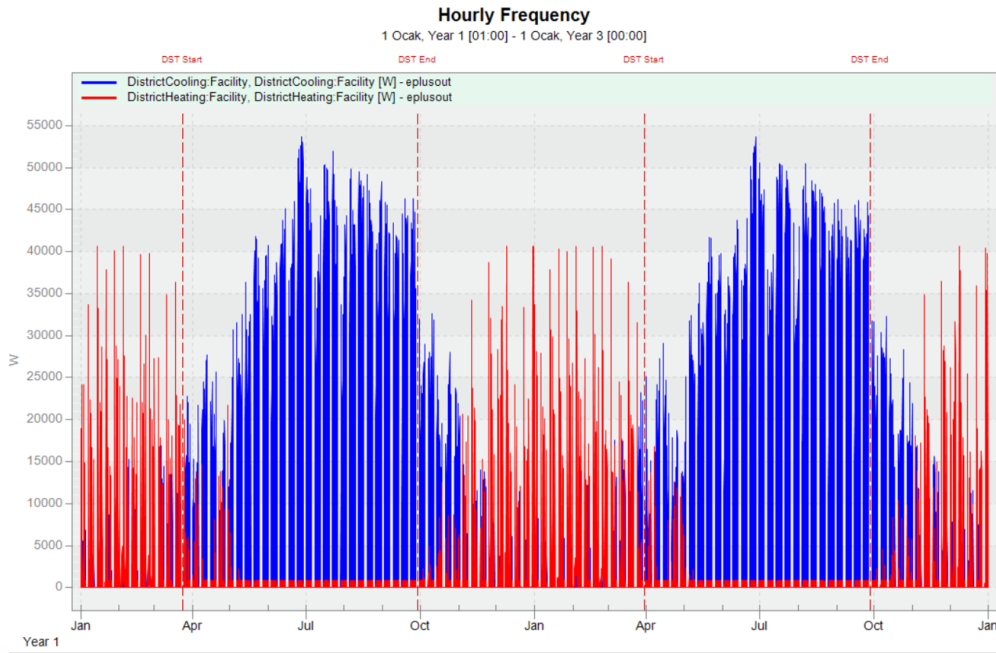
Şekil 32. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 9. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	508.71	1686.91
Şubat	533.24	1464.12
Mart	1726.11	983.77
Nisan	3057.95	490.28
Mayıs	7387.99	208.90
Haziran	8985.72	159.89
Temmuz	10968.42	183.88
Ağustos	10596.23	175.88
Eylül	8690.68	169.34
Ekim	4552.17	345.13
Kasım	1333.30	1072.25
Aralık	474.40	1735.21
Toplam	58814.92	8675.56



Şekil 33. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



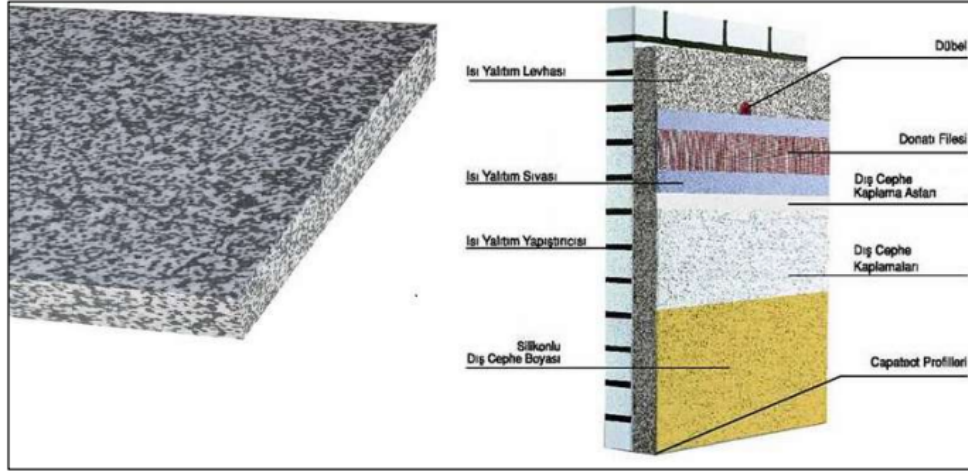
Şekil 34. İzmir ili için yapı tasarımında gazbeton seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 10. Duvar malzemesi boyut ve ısı kaybı karşılaştırması

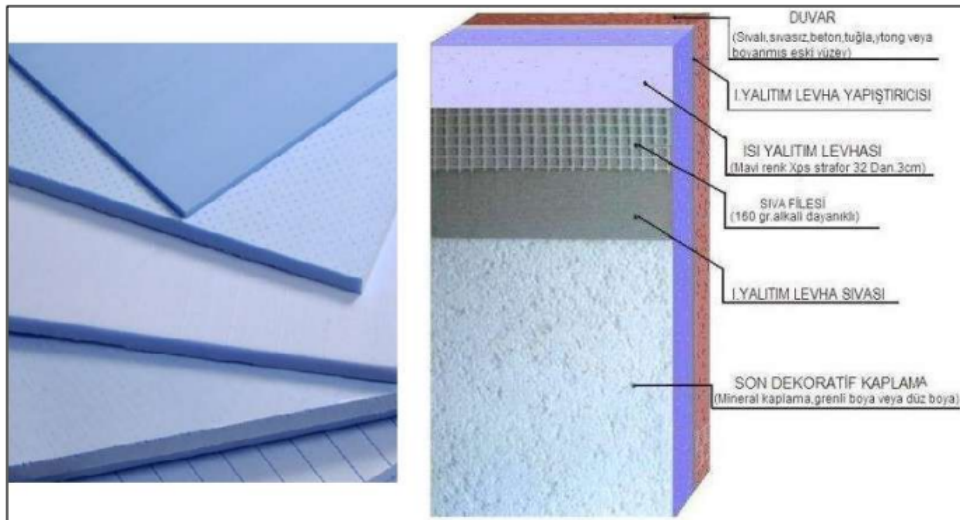
	Boyut (cm)	Duvar Isı Kaybı (kWh/m ³)	Kolon Isı Kaybı (kWh/m ³)	Toplam Isı Kaybı (kWh/m ³)
Tuğla	13.5	108.41	59.58	167.99
	19	102.51	59.58	162.09
	25	96.77	59.58	156.35
Gazbeton	13.5	89.46	59.58	149.04
	19	79.96	59.58	139.54
	25	71.67	59.58	131.25
Bims	13.5	97.58	59.58	157.16
	19	89.32	59.58	148.9
	25	81.77	59.58	141.35

Bu simülasyon sonucunda İzmir ili için tuğla tasarımlı binada ısıtma yükünün 17.10 kWh/m²yıl değerinden 12.85 kWh/m²yıl değerine düşerek ısı kazanımı sağlanırken 82.79 kWh/m²yıl olan soğutma yükünün artarak 87.13 kWh/m²yıl değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Gerek ekonomik olarak gerek ısıtma ve soğutma yükünün entegre dengesi düşünüldüğünde ısıtma yükündeki kazanım soğutma yükündeki kaybı yaklaşık olarak aynı oranda artırdığından gaz beton seçiminin pasif çözüm olarak tercih edilmemesi sonucuna varılmıştır.

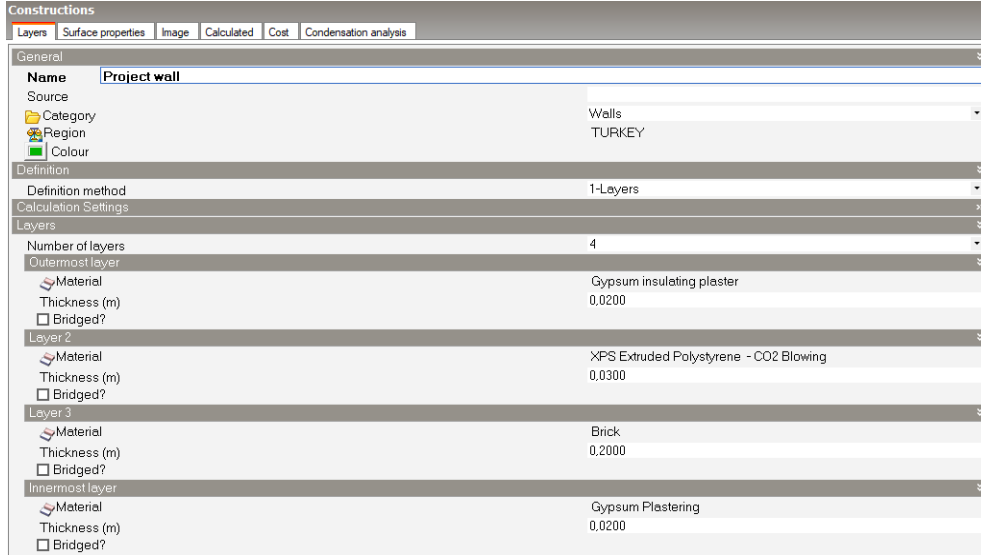
Pasif çözümler aşamasında bina kabuğunda ısıtma ve soğutma yüklerini değiştiren temel çözümlerden biri de yalıtım malzemesi kullanmak ve doğru yalıtım malzemesini seçmektir. Isı iletim katsayısı ve ısıl direnç bu seçimde önem arz etmektedir. XPS (Haddeden Çekilmiş Polistiren Sert Köpük) ve EPS (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük) yalıtım sektöründe oldukça sık kullanılan malzemelerdir. Şekil 35’te XPS ve Şekil 36’da EPS yalıtım malzemelerinin kesitleri gösterilmiştir. Genellikle saha uygulamalarında kullanılan XPS yalıtım malzemesi ile simülasyon yapılmıştır.



Şekil 35. XPS yalıtım malzemesi ve uygulaması (Sağlam, 2015).



Şekil 36. EPS yalıtım malzemesi ve uygulaması (Sağlam, 2015).



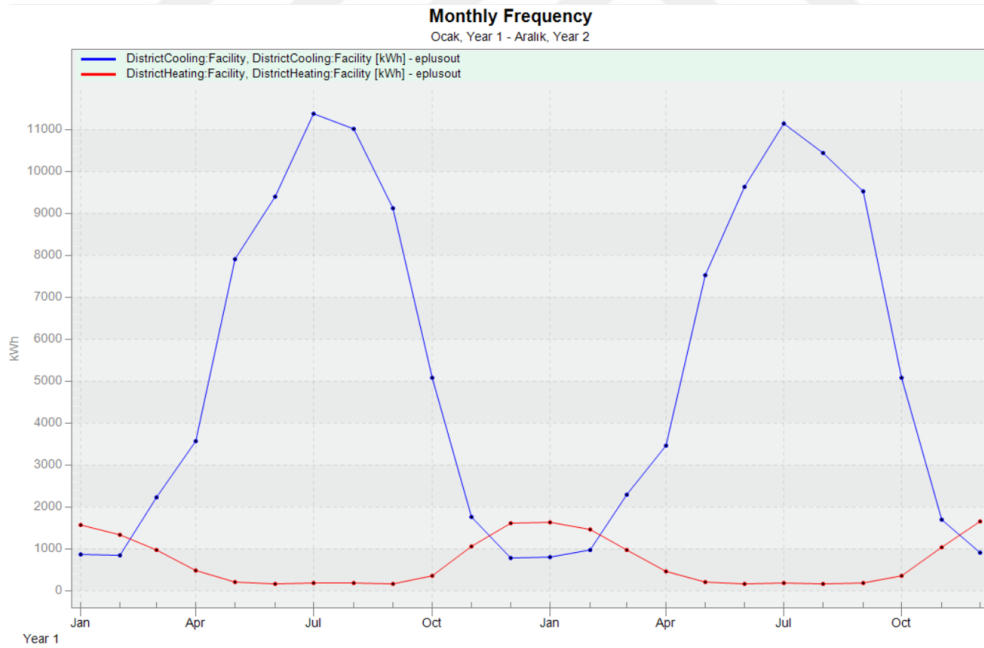
Şekil 37. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi



Şekil 38. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			2,152		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,540		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,130		
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			19,870		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,130		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,040		
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,933		
R-Value (m ² -K/W)			1,241		
U-Value (W/m²-K)			0,806		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)			0,0900		
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)			52,5010		
Upper resistance limit (m ² -K/W)			1,241		
Lower resistance limit (m ² -K/W)			1,241		
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,933		
R-Value (m ² -K/W)			1,241		
U-Value (W/m²-K)			0,806		

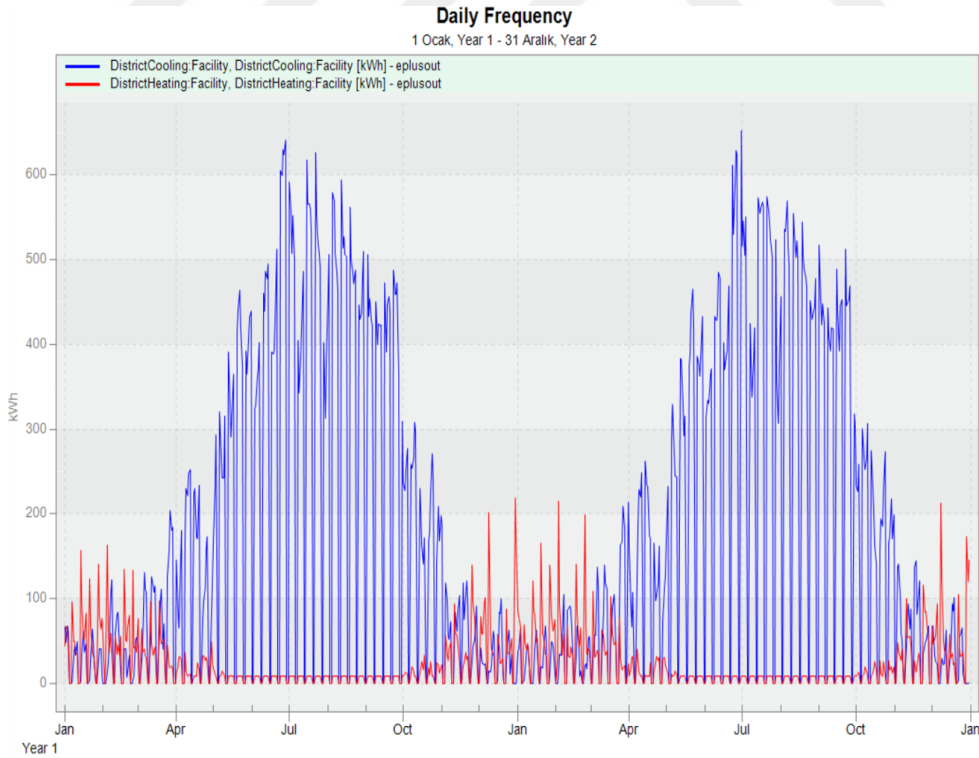
Şekil 39. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri



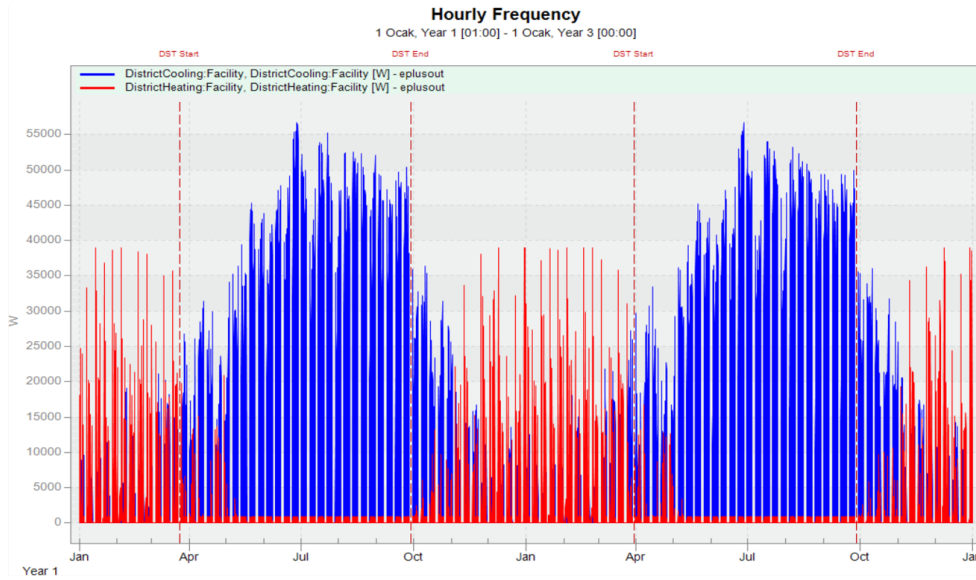
Şekil 40. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 11. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	881.12	1575.08
Şubat	851.80	1340.45
Mart	2232.59	972.39
Nisan	3562.82	497.20
Mayıs	7920.67	219.96
Haziran	9399.70	166.60
Temmuz	11382.35	191.59
Ağustos	11018.90	183.26
Eylül	9120.14	176.99
Ekim	5088.53	367.69
Kasım	1771.63	1057.09
Aralık	777.57	1605.47
Toplam	64007.82	8353.77



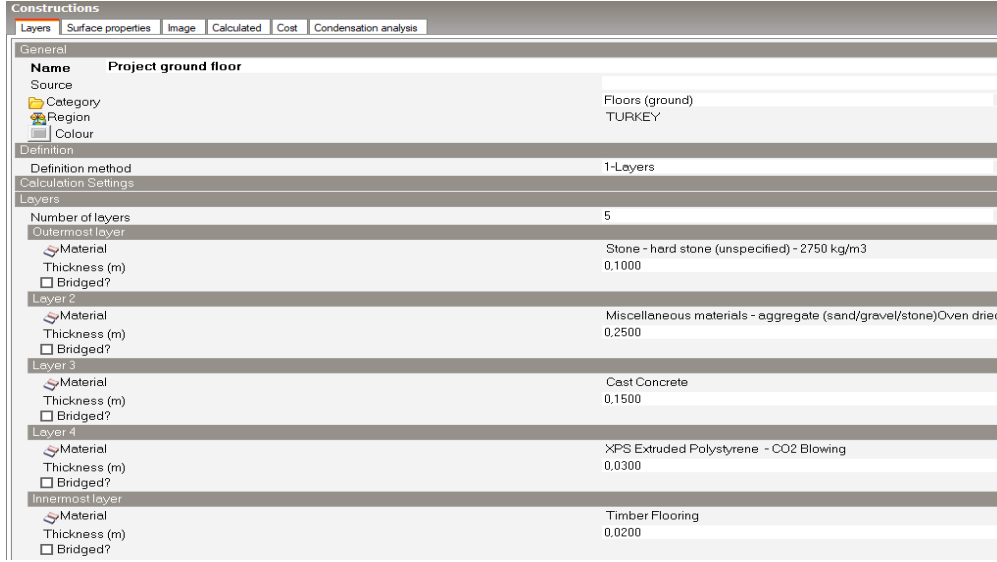
Şekil 41. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



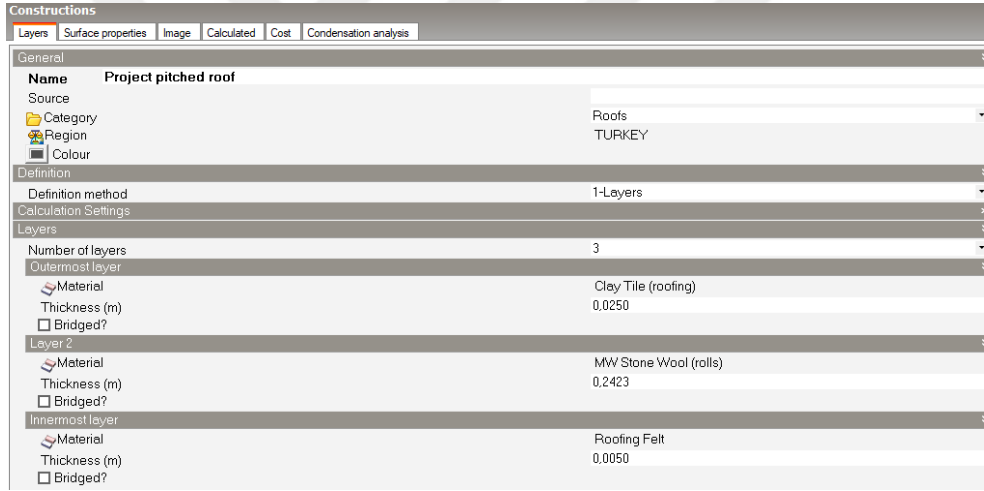
Şekil 42. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

İzmir ili için yalıtım tasarımı yapılırken 3 cm XPS yalıtım malzemesi duvar dış yüzeyine eklenerek simüle edilmiş ve simülasyon sonucu ısıtma yükünün 12.37 kWh/m²yıl değerine düştüğü, soğutma yükünün ise 94.82 kWh/m²yıl değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Şekil 37’de yalıtım malzemesi seçimi, Şekil 38’de yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü, Şekil 39’da yalıtım malzemesi seçiminde ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. XPS yalıtım malzemesi seçimi ile yapılan simülasyonda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 40’ta, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 41’de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 42’de ve aylık ısıtma soğutma yükü değerleri Tablo 11’de gösterilmiştir.

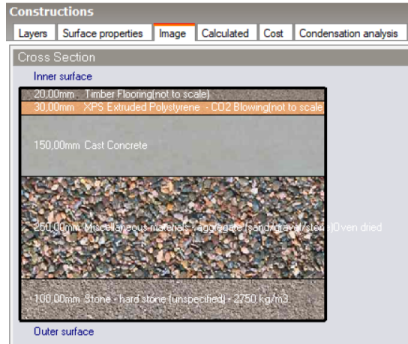
Bina kabuğunda ısıtma ve soğutma yüklerinden kazanım elde edebilmek adına oluşturulabilecek yalıtım esaslarından biri de duvar yalıtımının dışında zemin ve çatı yalıtımlarının da doğru tasarım ve malzeme seçimleriyle yapılmasıdır. Bu bağlamda İzmir ilindeki bina için zemin döşeme altında ve çatı arasında da 3 cm kalınlığında XPS yalıtım malzeme seçimi yapılarak simüle edilmiştir. Zemin döşeme altında ve çatıda bina kabuğuna eklenen yalıtım malzemesinin seçimi sırasıyla Şekil 43’te ve Şekil 44’te, katman görünümleri Şekil 45’te, zeminde ve çatıda ısı yalıtım malzemesi kullanıldığında duvar yüzeyinden ısı geçirgenlik değerleri sırasıyla Şekil 46’da ve Şekil 47’de gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 48’de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 49’da, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 50’de ve aylık ısıtma soğutma yükü tablo değerleri Tablo 12’de gösterilmiştir.



Şekil 43. İzmir ili için zeminde XPS yalıtım malzemesi seçimi



Şekil 44. İzmir ili için çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi



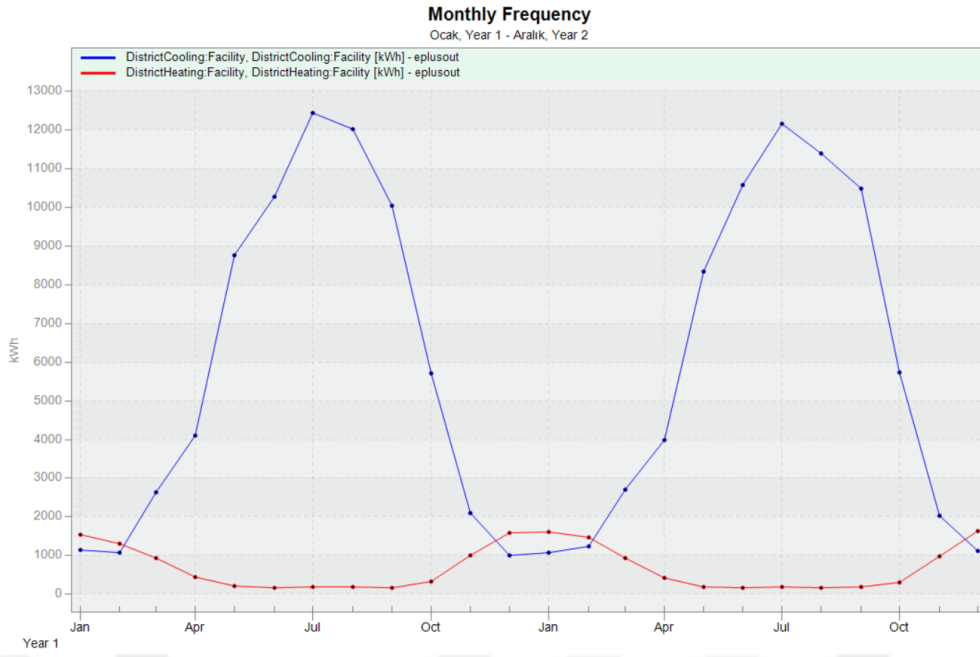
Şekil 45. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			0,342		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,540		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,170		
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			19,870		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,130		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,040		
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,722		
R-Value (m ² -K/W)			1,595		
U-Value (W/m²-K)			0,627		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)			0,5500		
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)			117,0700		
Upper resistance limit (m ² -K/W)			1,595		
Lower resistance limit (m ² -K/W)			1,595		
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,722		
R-Value (m ² -K/W)			1,595		
U-Value (W/m²-K)			0,627		

Şekil 46. İzmir ili için zeminde XPS yalıtım malzemesi seçimi ısı geçirenlik değerleri

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			4,460		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,540		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,100		
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			19,870		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,130		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,040		
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,164		
R-Value (m ² -K/W)			6,249		
U-Value (W/m²-K)			0,160		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)			0,2723		
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)			6,4116		
Upper resistance limit (m ² -K/W)			6,249		
Lower resistance limit (m ² -K/W)			6,249		
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,164		
R-Value (m ² -K/W)			6,249		
U-Value (W/m²-K)			0,160		

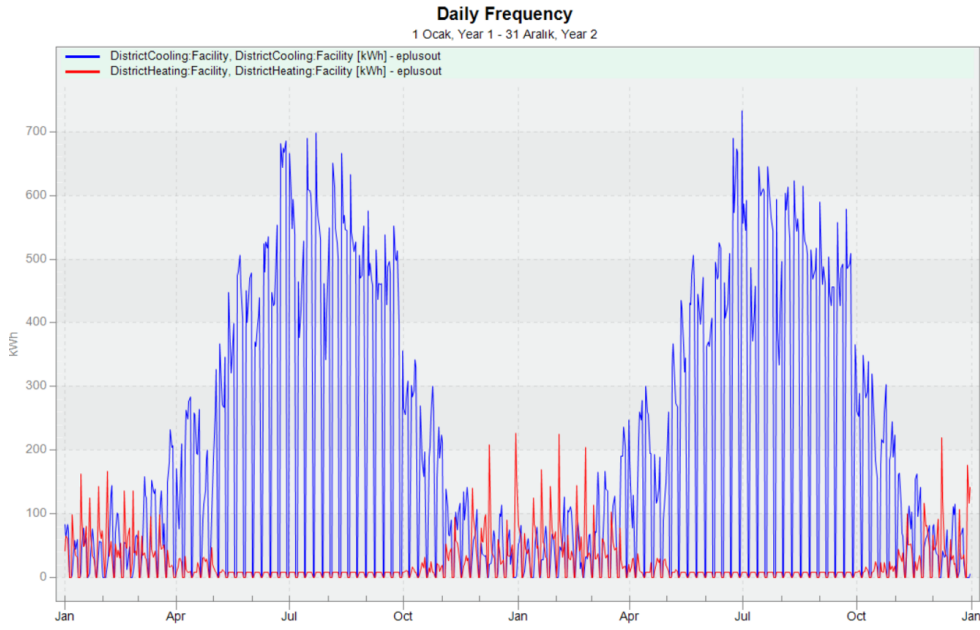
Şekil 47. İzmir ili için çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısı geçirenlik değerleri



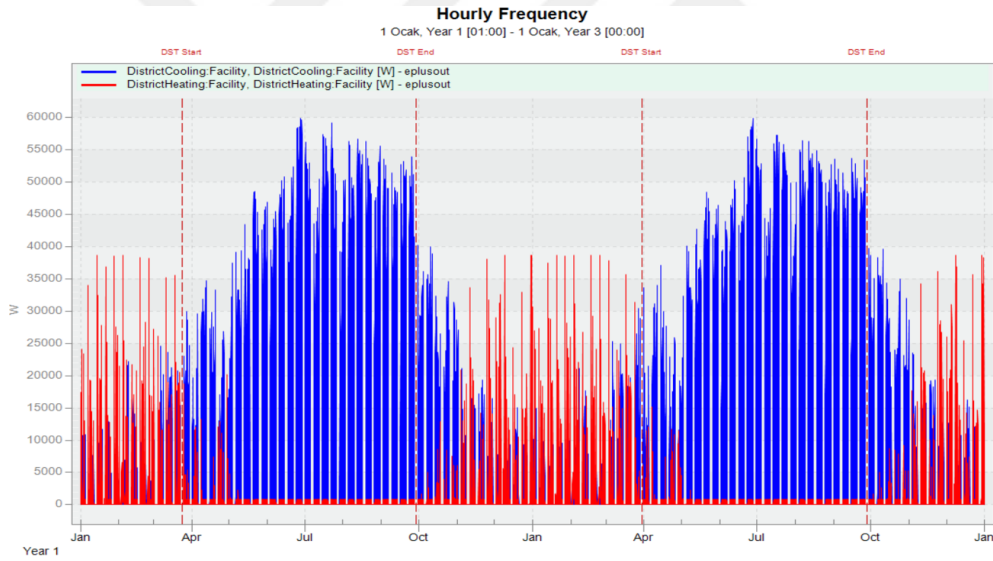
Şekil 48. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 12. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	1152.28	1544.67
Şubat	1085.96	1318.26
Mart	2650.29	934.22
Nisan	4099.80	455.82
Mayıs	8772.86	207.43
Haziran	10287.04	166.60
Temmuz	12447.69	191.59
Ağustos	12031.90	183.26
Eylül	10053.28	175.45
Ekim	5724.47	328.86
Kasım	2110.15	1015.50
Aralık	997.33	1590.51
Toplam	71413.55	8112.17



Şekil 49. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği

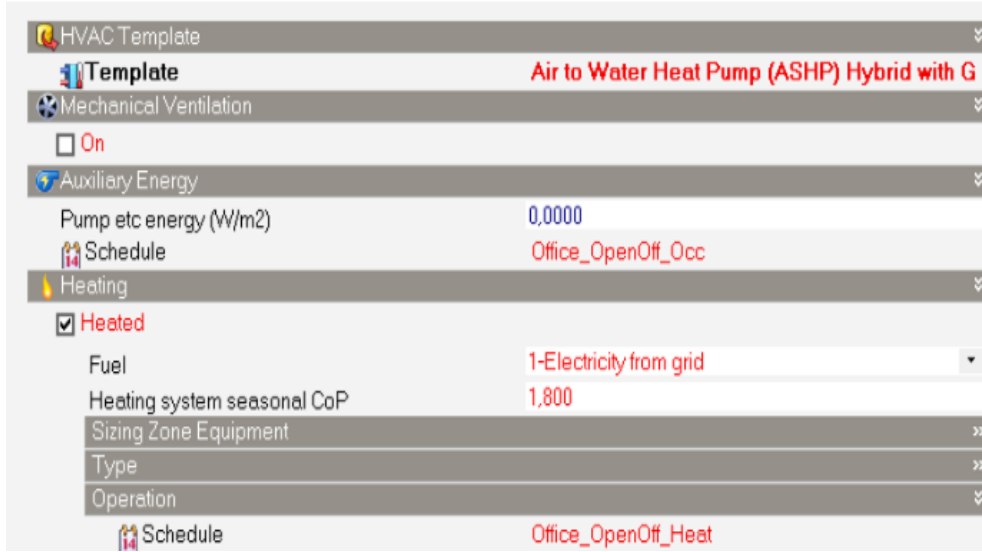


Şekil 50. İzmir ili için zeminde ve çatıda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

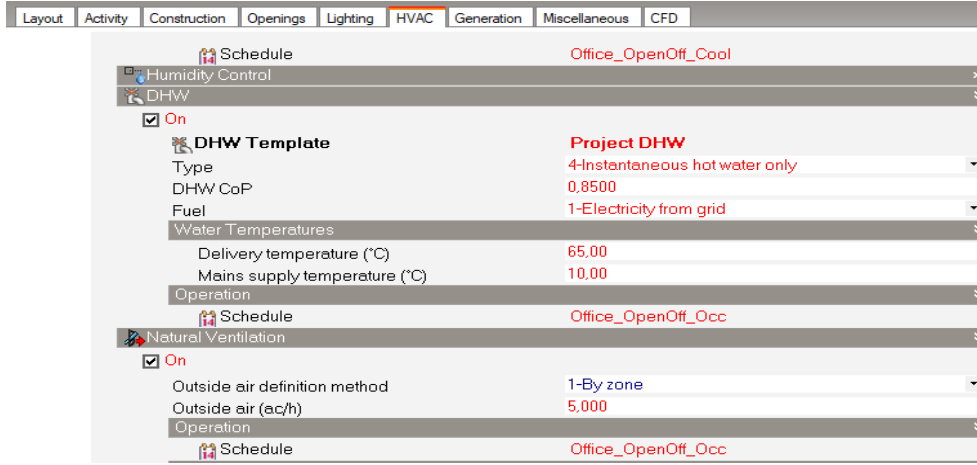
Yapılan simülasyonlarla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün 12.01 kWh/m²yıl olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün 105.79 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir.

Enerji etkin bir tasarım için pasif çözümler uygulandıktan bir sonraki adım ise, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırılması gibi işlemleri iklim koşullarına ve bina yapısına uygun çözümler içeren yüksek verimli mekanik bir sistem ile karşılamaktır.

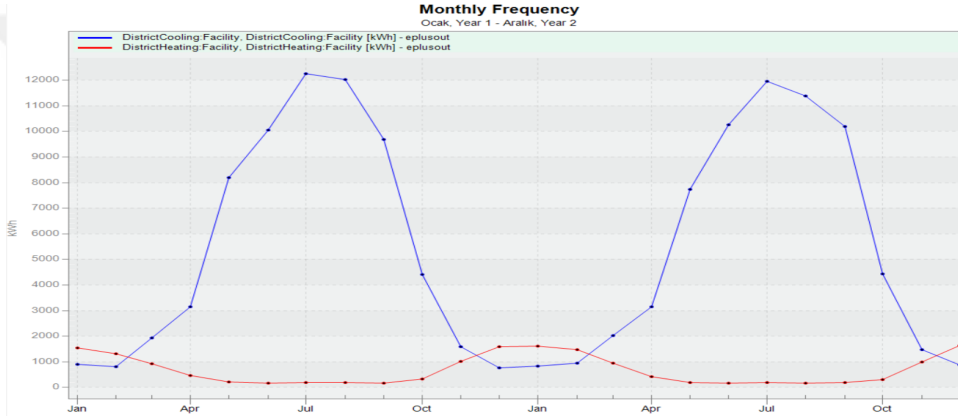
Enerji verimliliği açısından fosil yakıtların kullanımının azaltılması mümkünse ortadan kaldırılması konusu bilinmekle birlikte bu bağlamda fosil yakıt kullanmadan ısıtma soğutma çözümlerinin başında ısı pompası uygulamaları gelmektedir. Tasarımı yapılan bina için pasif çözümler oluşturularak yapılan simülasyonların ardından bina HVAC seçiminde havadan suya kaynaklı ısı pompası seçimi yapılarak simüle edilmiştir. İhtiyaç olan sıhhi sıcak su yükü de ısı pompasından sağlanacak şekilde seçim yapılarak tasarım simüle edilmiştir. Şekil 51’de ısı pompası seçimi ve Şekil 52’de sıcak su ihtiyacının ısı pompasından sağlanması seçimi gösterilmiştir. Isıtma sisteminde havadan suya kaynaklı ısı pompası seçimi yapılan simülasyonda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 53’te, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 54’te, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 55’te ve aylık ısıtma soğutma yükü tablo değerleri Tablo 13’te gösterilmiştir. Yapılan simülasyonlarla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün 12.04 kWh/m²yıl olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün 97.47 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir.



Şekil 51. İzmir ili için HVAC sistem seçimi



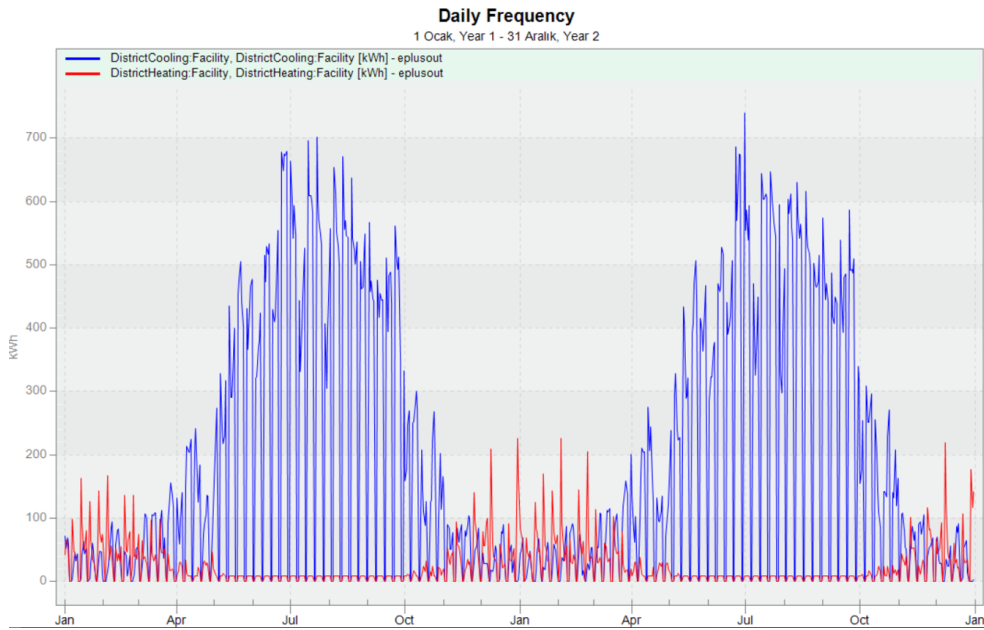
Şekil 52. İzmir ili için sıcak su sistemi seçimi



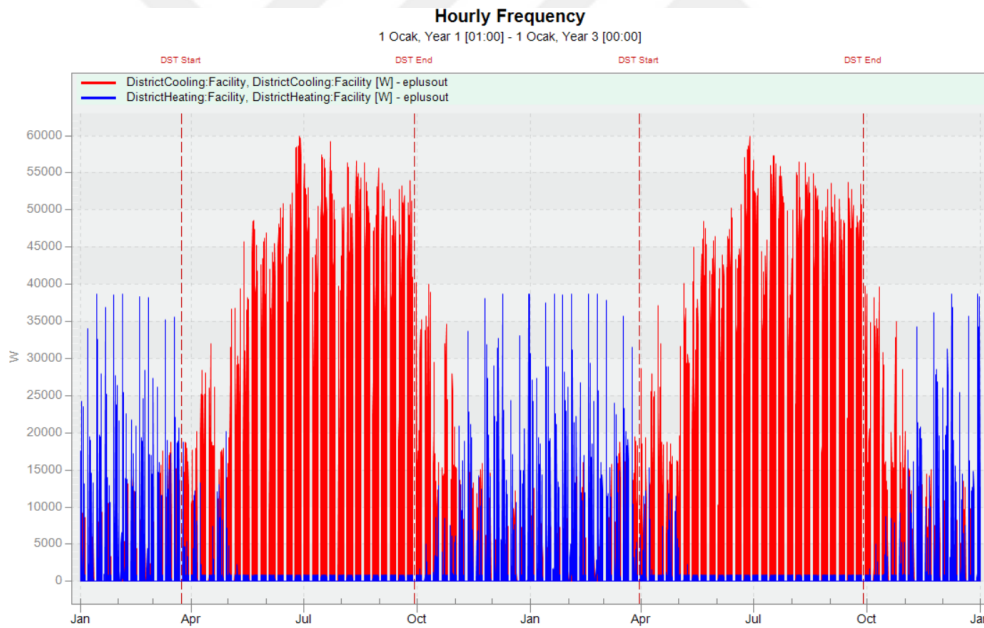
Şekil 53. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 13. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	910.54	1549.81
Şubat	815.90	1323.05
Mart	1926.78	936.52
Nisan	3154.92	456.64
Mayıs	8193.47	207.50
Haziran	10062.01	166.60
Temmuz	12257.90	191.59
Ağustos	12024.06	183.26
Eylül	9696.56	175.45
Ekim	4400.96	328.98
Kasım	1588.50	1017.94
Aralık	766.71	1594.50
Toplam	65798.31	8131.84



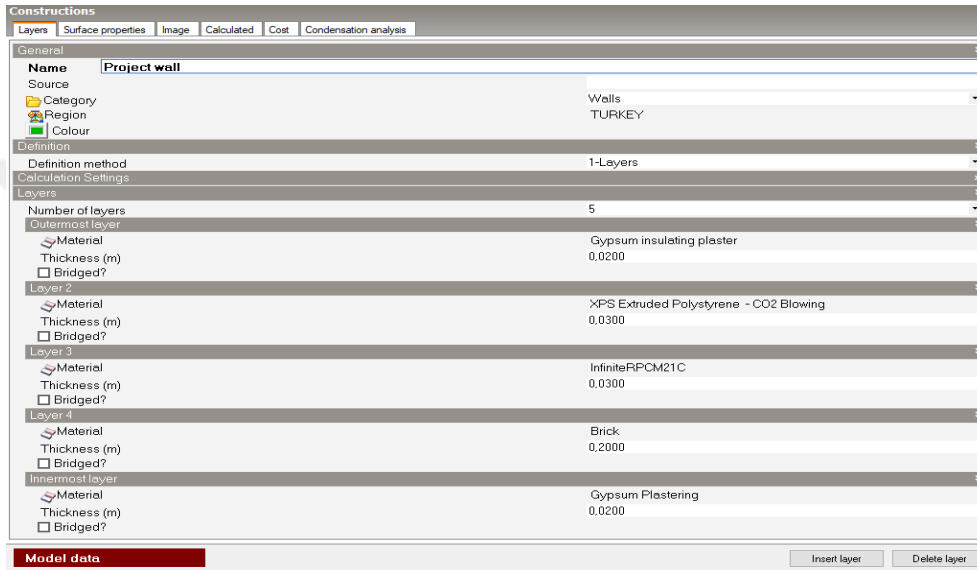
Şekil 54. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



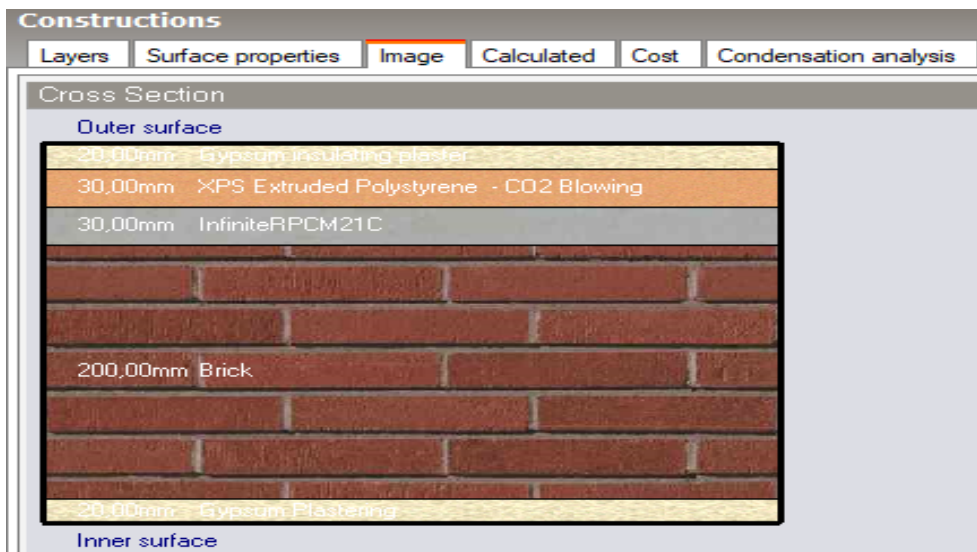
Şekil 55. İzmir ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Farklı pasif ve aktif çözümler oluşturularak yapılan simülasyonların ardından yıllık enerji tüketimini daha da azaltabilmek için enerji etkin bina tasarımlarında oldukça sık ifade edilen faz değiştiren malzemelerin XPS yalıtım malzemesi ile birlikte seçimi yapılarak simüle edilmiştir. Şekil 56'da dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme seçimi, Şekil 57'de dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile faz

değiştiren malzeme seçimi katman görünümü, Şekil 58’de dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme seçimi ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Şekil 59’da çatıda FDM seçimi, Şekil 60’da çatıda FDM seçimi katman görünümü, Şekil 61’de çatıda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Şekil 62’de dış duvar ve çatıda FDM seçimi aylık, Şekil 63’te günlük ve Şekil 64’te saatlik ısıtma soğutma yükü grafikleri gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü değerleri Tablo 14’te gösterilmiştir.



Şekil 56. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi



Şekil 57. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			2,152		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,540		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,130		
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			19,870		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,130		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,040		
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,736		
R-Value (m ² -K/W)			1,528		
U-Value (W/m²-K)			0,654		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)			0,3000		
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)			149,0240		
Upper resistance limit (m ² -K/W)			1,528		
Lower resistance limit (m ² -K/W)			1,528		
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,736		
R-Value (m ² -K/W)			1,528		
U-Value (W/m²-K)			0,654		

Şekil 58. İzmir ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi ısı geçirenlik değerleri

Constructions						
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis	
General						
Name	Project pitched roof					
Source						
Category	Roofs					
Region	TURKEY					
Colour						
Definition						
Definition method	1-Layers					
Calculation Settings						
Layers						
Number of layers	4					
Outermost layer						
Material	Clay Tile (roofing)					
Thickness (m)	0.0250					
Bridged?	<input type="checkbox"/>					
Layer 2						
Material	InfiniteRPCM21C					
Thickness (m)	0.0300					
Bridged?	<input type="checkbox"/>					
Layer 3						
Material	MW Stone Wool (rolls)					
Thickness (m)	0.2423					
Bridged?	<input type="checkbox"/>					
Innermost layer						
Material	Roofing Felt					
Thickness (m)	0.0050					
Bridged?	<input type="checkbox"/>					
Model data						
					Insert layer	Delete layer

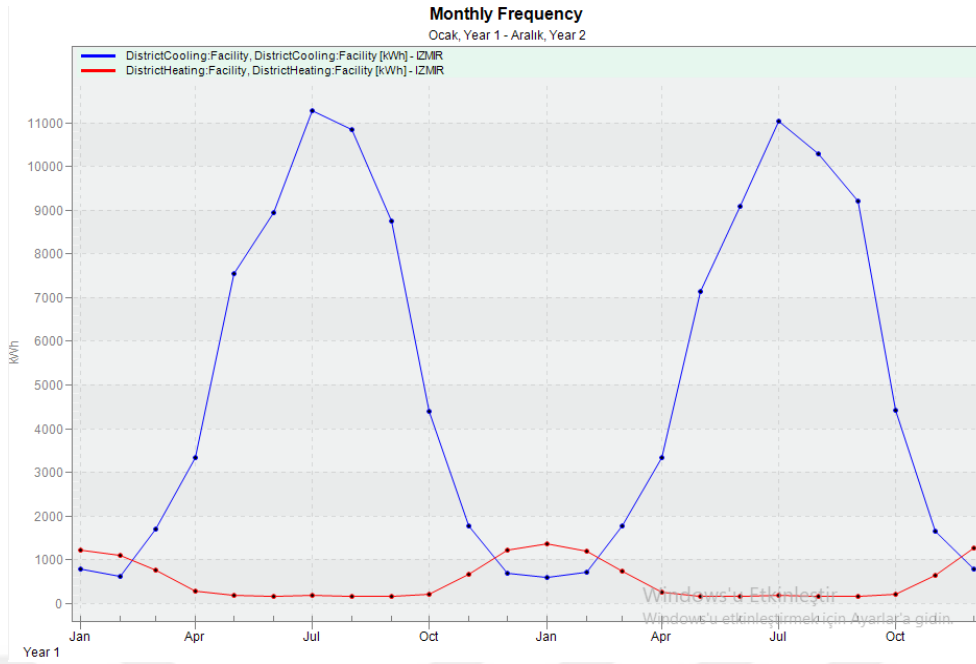
Şekil 59. İzmir ili için çatıda FDM seçimi



Şekil 60. İzmir ili için çatıda FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,100
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					0,163
R-Value (m ² -K/W)					6,286
U-Value (W/m²-K)					0,159
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,3023
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)					6,4260
Upper resistance limit (m ² -K/W)					6,286
Lower resistance limit (m ² -K/W)					6,286
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					0,163
R-Value (m ² -K/W)					6,286
U-Value (W/m²-K)					0,159

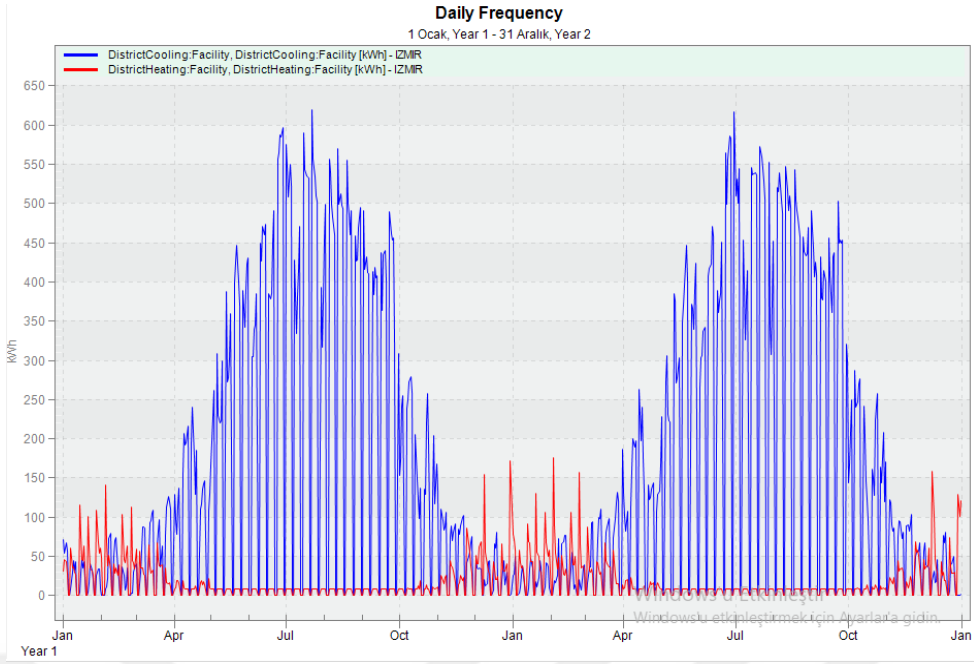
Şekil 61. İzmir ili için çatıda FDM seçimi ısııl geçirgenlik değerleri



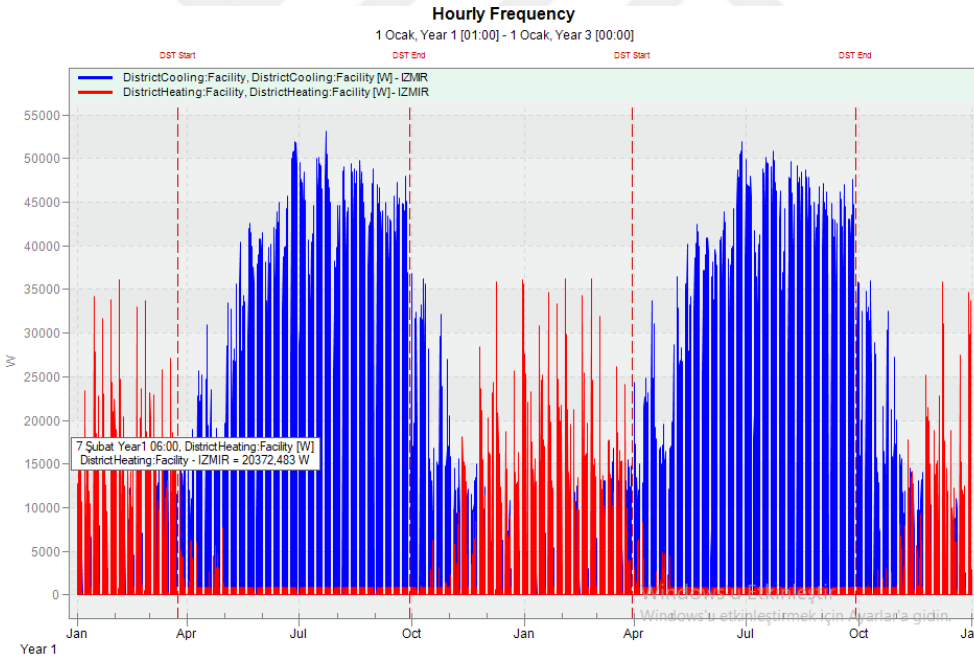
Şekil 62. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 14. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	781.32	1231.70
Şubat	629.75	1094.10
Mart	1695.56	760.58
Nisan	3341.45	283.47
Mayıs	7557.26	181.81
Haziran	8942.91	157.25
Temmuz	11289.31	180.83
Ağustos	10835.62	172.97
Eylül	8758.21	165.11
Ekim	4389.59	215.29
Kasım	1770.68	662.04
Aralık	698.96	1233.56
Toplam	60690.62	6388.71



Şekil 63. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği

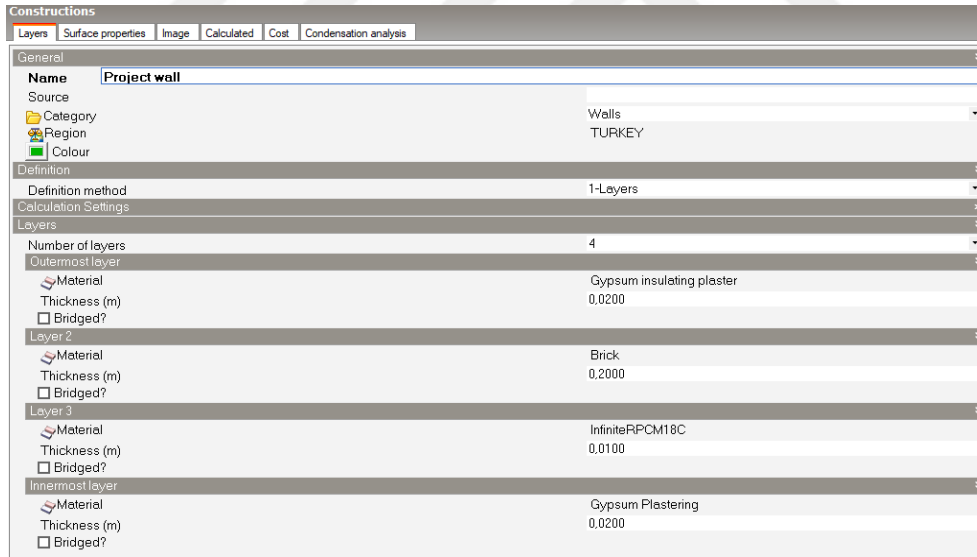


Şekil 64. İzmir ili için dış duvarda ve çatıda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

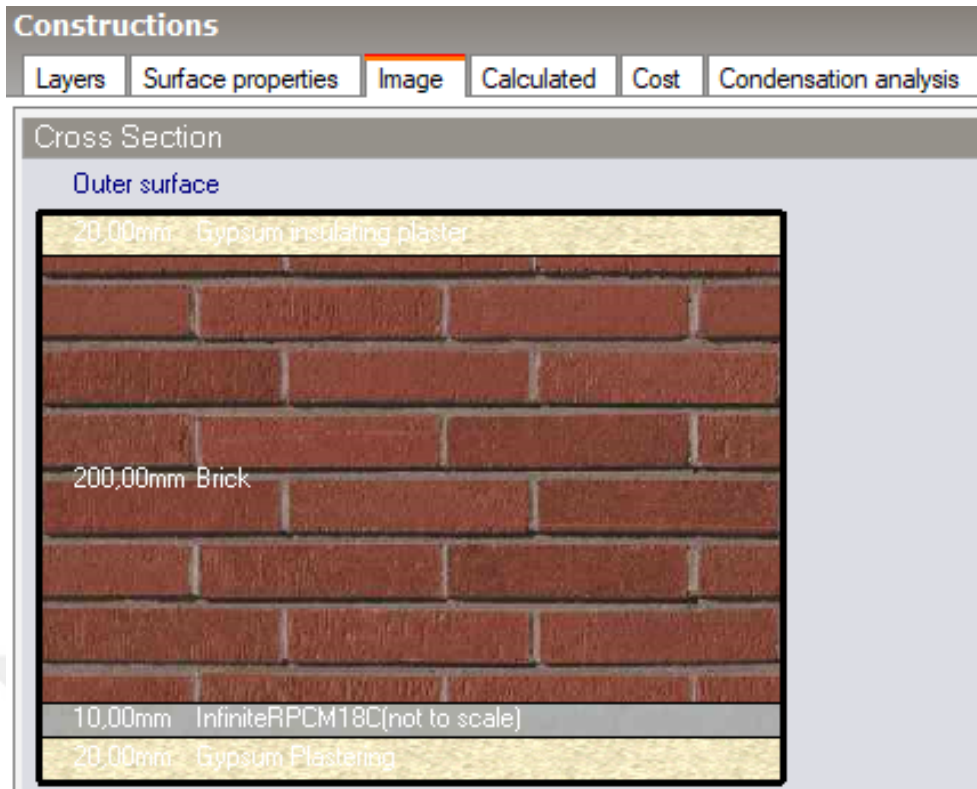
Yapılan simülasyonlarla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün 9.46 kWh/m²yıl olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün 89.91 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir. Enerji etkin bina tasarımı için yapılan simülasyon çalışmalarında üretilen çözümlerin ısıtma soğutma yüklerinden birinde pozitif yönde etki yaparken diğerinde

negatif etki yapabilmekte olduğu görülmektedir. Sıfır enerjili bina tasarımında maliyet etkinliğinin de önemi göz önüne bulundurularak dış duvarlarda ve çatıda kullanılan XPS yalıtım malzemelerinin ısıtma yükünü azaltıcı yönde etkisi olmakla birlikte soğutma yükünü büyük oranda artırıcı yönde etkisi olduğu görülmüştür. Bu nedenle İzmir ili için yalıtım malzemesi kullanmadan dış duvarlarda ve çatı yüzeyinde faz değiştiren malzeme kullanılması tasarımları simüle edilmiştir.

Öncelikle duvar yüzeyinde yalıtım malzemesi kullanmadan faz değiştiren malzeme kullanılmak üzere sırasıyla 2 cm kalınlığında dış sıva, 20 cm kalınlığında tuğla, 1 cm kalınlığında faz değiştiren malzeme ve 2 cm kalınlığında iç sıva kullanılarak simülasyon yapılmıştır. İç duvarda FDM seçimi Şekil 65'te, iç duvarda FDM seçimi katman görünümü Şekil 66'da ve iç duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri Şekil 67'de gösterilmektedir. Simülasyon sonucu aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 68'de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 69'da, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 70'de ve aylık ısıtma soğutma yükü değerleri Tablo 15'te gösterilmiştir.



Şekil 65. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi



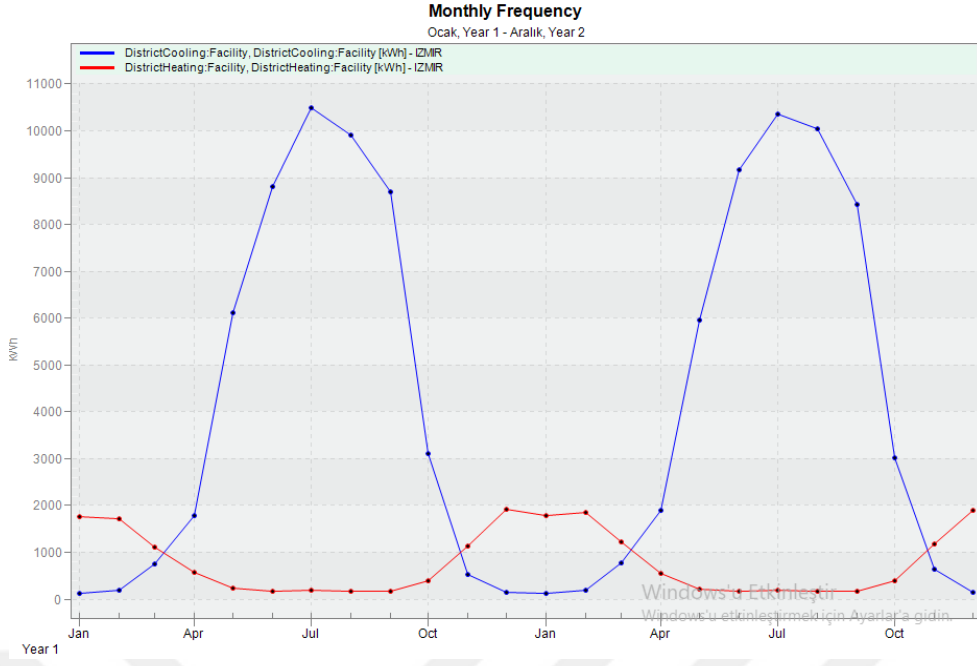
Şekil 66. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi katman görünümü

Constructions

Layers Surface properties Image Calculated Cost Condensation analysis

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	2,217
R-Value (m ² -K/W)	0,621
U-Value (W/m²-K)	1,610
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0,2500
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	162,0666
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0,621
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0,621
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	2,217
R-Value (m ² -K/W)	0,621
U-Value (W/m²-K)	1,610

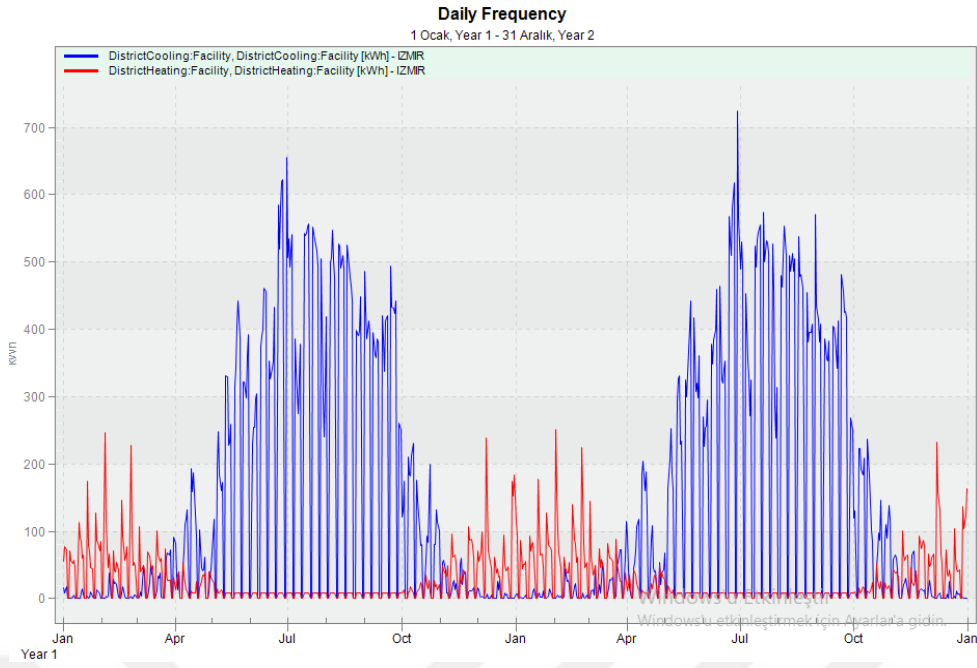
Şekil 67. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi ısı geçirgenlik değerleri



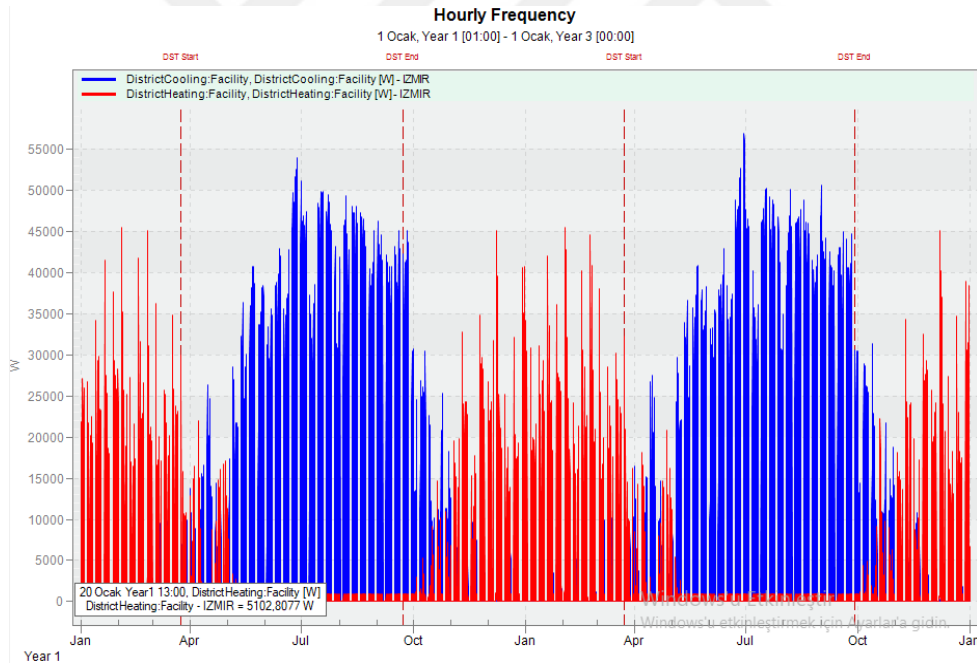
Şekil 68. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 15. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	134.18	1769.30
Şubat	189.39	1724.84
Mart	748.46	1120.19
Nisan	1781.97	573.65
Mayıs	6116.86	226.44
Haziran	8814.27	167.42
Temmuz	10508.28	183.37
Ağustos	9924.86	167.42
Eylül	8701.03	176.84
Ekim	3110.06	383.45
Kasım	535.97	1137.38
Aralık	141.34	1924.02
Toplam	50706.67	9554.32



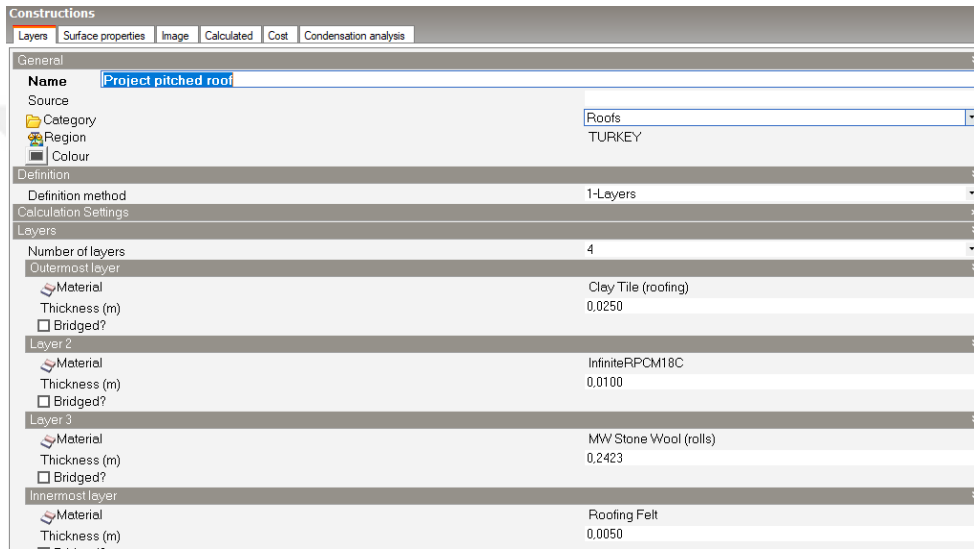
Şekil 69. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



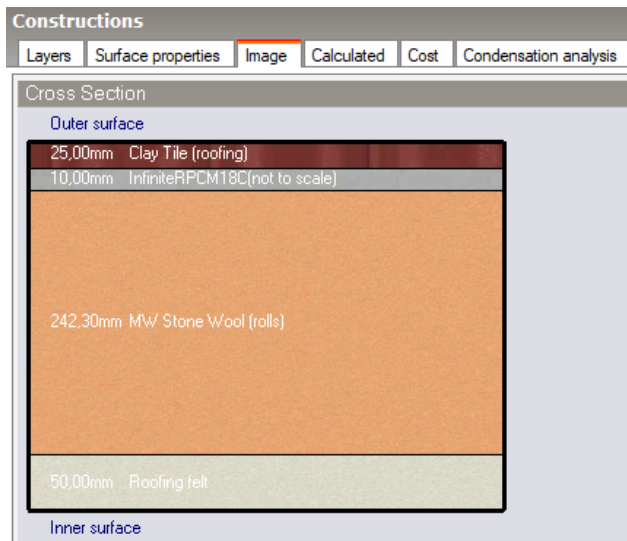
Şekil 70. İzmir ili için iç duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Simülasyonla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün 14.15 kWh/m²yıl olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün 75.12 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir.

İç duvar yüzeylerinde faz değiştiren malzeme kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasının ardından çatıda faz değiştiren malzeme kullanılmasının ısıtma soğutma yüküne etkisi belirlenmek üzere simülasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 71’de çatıda FDM seçimi, Şekil 72’de çatıda FDM seçimi katman görünümü, Şekil 73’te çatıda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Şekil 74’te iç duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık, Şekil 75’te günlük ve Şekil 76’da saatlik ısıtma soğutma yükü grafikleri gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü değerleri Tablo 16’da gösterilmiştir.



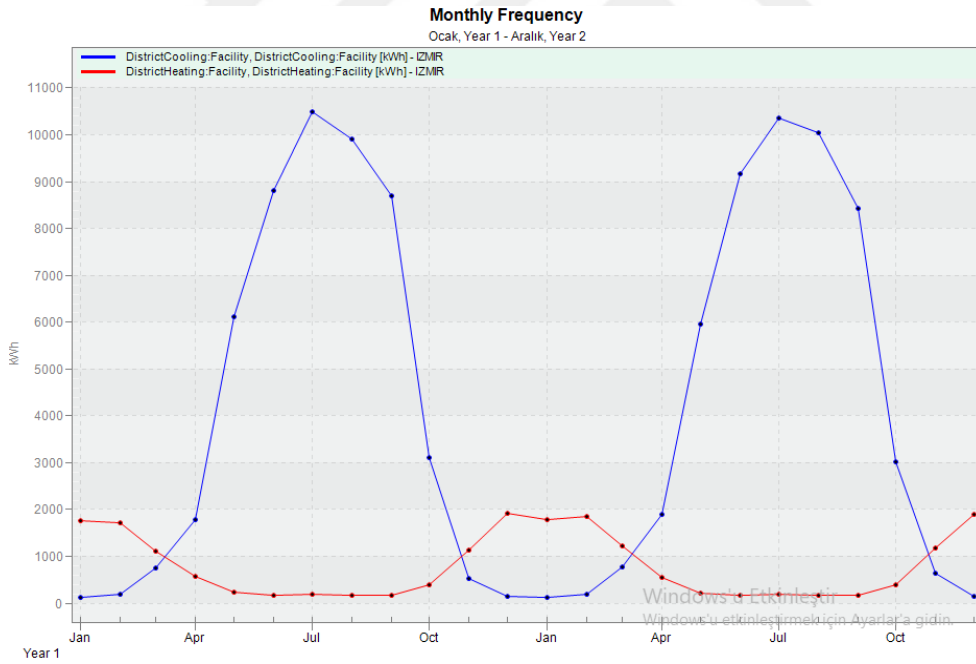
Şekil 71. İzmir ili için çatıda FDM seçimi



Şekil 72. İzmir ili için çatıda FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			4,460		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,540		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,100		
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			19,870		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,130		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,040		
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,163		
R-Value (m ² -K/W)			6,261		
U-Value (W/m²-K)			0,160		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)			0,2823		
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)			6,4116		
Upper resistance limit (m ² -K/W)			6,261		
Lower resistance limit (m ² -K/W)			6,261		
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,163		
R-Value (m ² -K/W)			6,261		
U-Value (W/m²-K)			0,160		

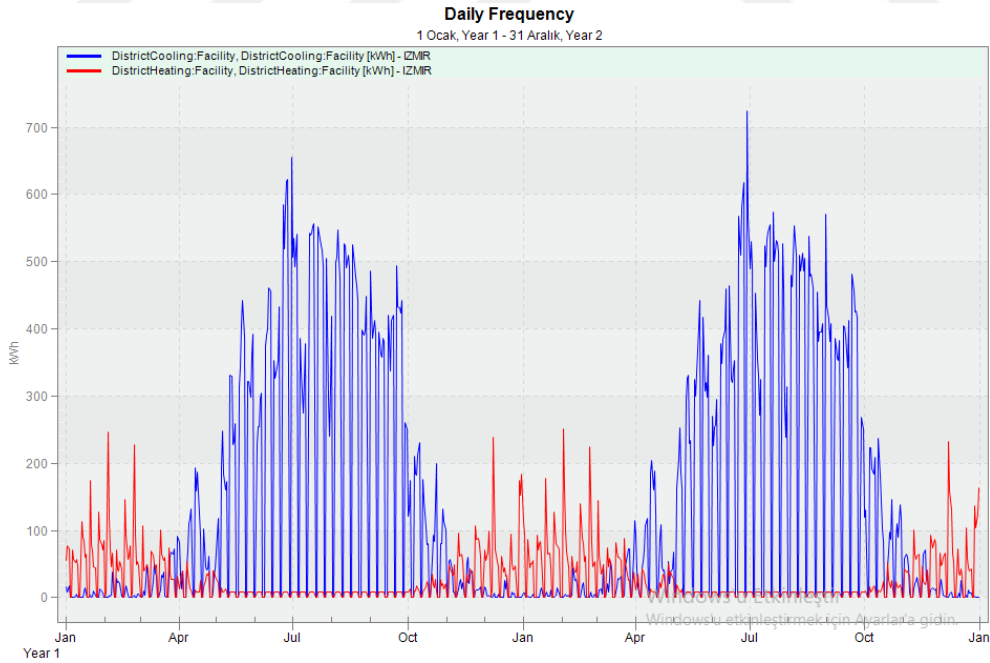
Şekil 73. İzmir ili için çatıda FDM seçimi ısı geçirgenlik değerleri



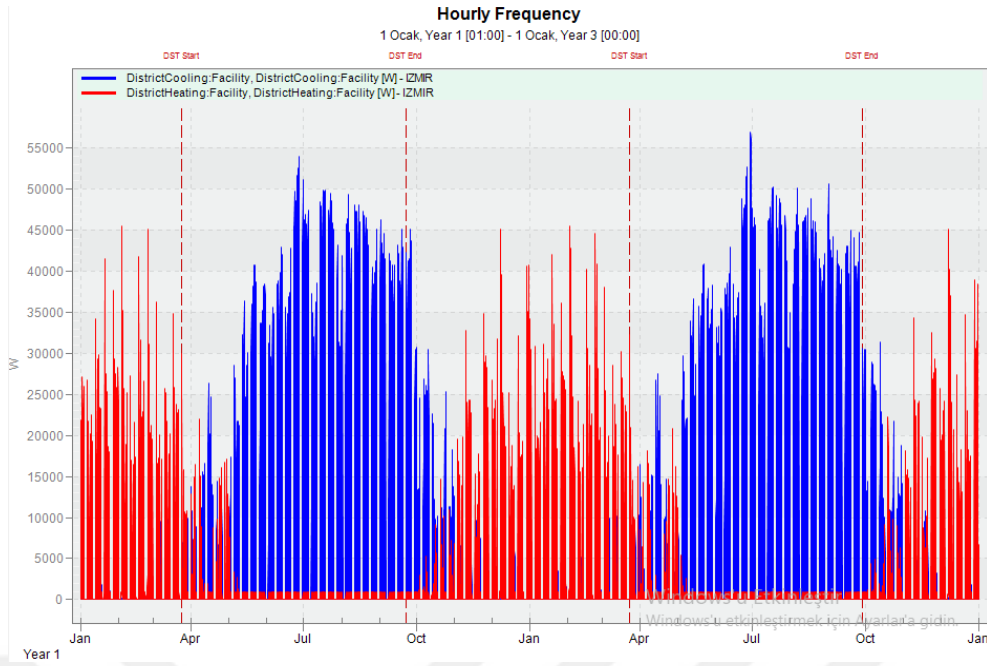
Şekil 74. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 16. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	134.18	1769.30
Şubat	189.39	1724.84
Mart	748.46	1120.19
Nisan	1781.97	573.65
Mayıs	6116.86	226.44
Haziran	8814.27	167.42
Temmuz	10508.28	183.37
Ağustos	9924.86	167.42
Eylül	8701.03	176.84
Ekim	3110.06	383.45
Kasım	535.97	1137.38
Aralık	141.34	1924.02
Toplam	50706.67	9554.32



Şekil 75. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



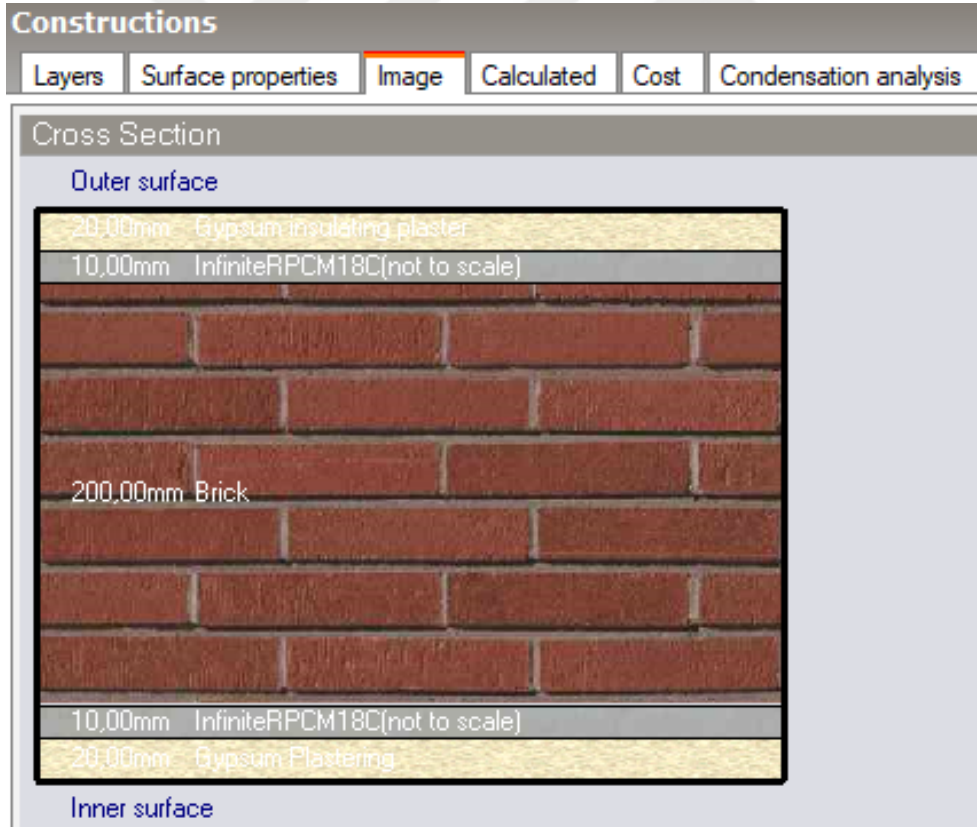
Şekil 76. İzmir ili için iç duvarda ve çatıda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Simülasyonla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün 14.15 kWh/m²yıl olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün 75.12 kWh/m²yıl olduğu çatıda kullanılacak faz değiştiren malzemenin XPS yalıtım malzemesi ile birlikte kullanımında olduğu gibi bu yüklere etkisinin çok az olduğu belirlenmiştir.

İzmir ili için ısıtma soğutma yüklerinde pozitif yönde etki eden faz değiştiren malzemelerin hem dış sıva ile tuğla arasında hem de iç sıva ile tuğla arasında iki farklı katman olarak kullanıldığında oluşacak etki, yapılan simülasyon çalışması ile belirlenmiştir. Şekil 77’de iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi, Şekil 78’de iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi katman görünümü, Şekil 79’da iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Simülasyon sonucu aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 80’de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 81’de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 82’de ve aylık ısıtma soğutma yükü tablo değerleri Tablo 17’de gösterilmiştir.

General	
Name	Project wall
Source	
Category	Walls
Region	TURKEY
Colour	
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	5
Outermost layer	
Material	Gypsum insulating plaster
Thickness (m)	0.0200
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 2	
Material	InfiniteRPCM18C
Thickness (m)	0.0100
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 3	
Material	Brick
Thickness (m)	0.2000
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 4	
Material	InfiniteRPCM18C
Thickness (m)	0.0100
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Innermost layer	
Material	Gypsum Plastering
Thickness (m)	0.0200
Bridged?	<input type="checkbox"/>

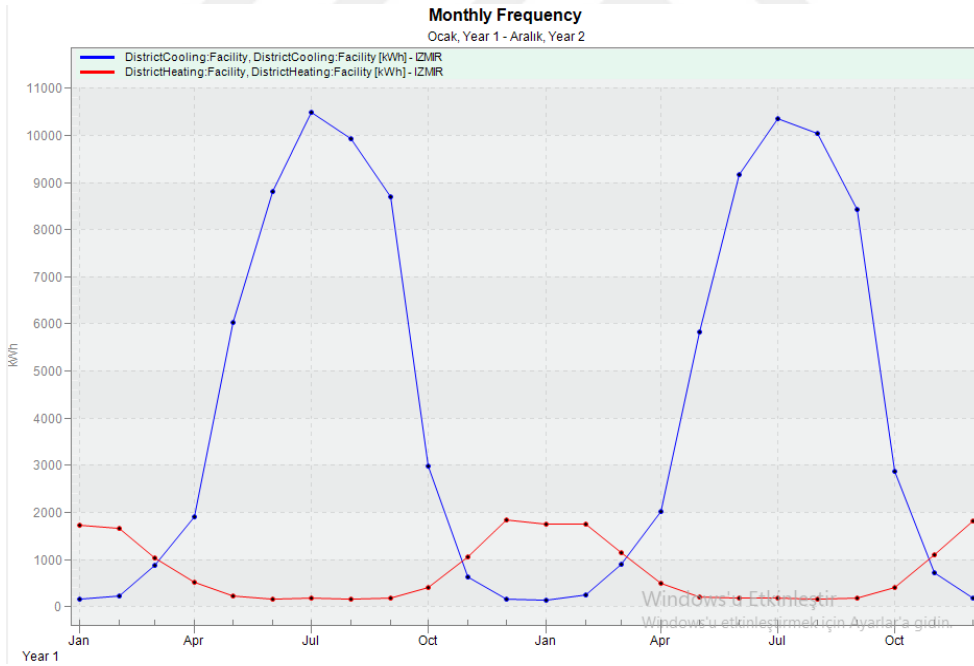
Şekil 77. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi



Şekil 78. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,130
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					2,158
R-Value (m ² -K/W)					0,633
U-Value (W/m²-K)					1,579
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,2600
Km - Internal heat capacity (K.J/m ² -K)					162,0666
Upper resistance limit (m ² -K/W)					0,633
Lower resistance limit (m ² -K/W)					0,633
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					2,158
R-Value (m ² -K/W)					0,633
U-Value (W/m²-K)					1,579

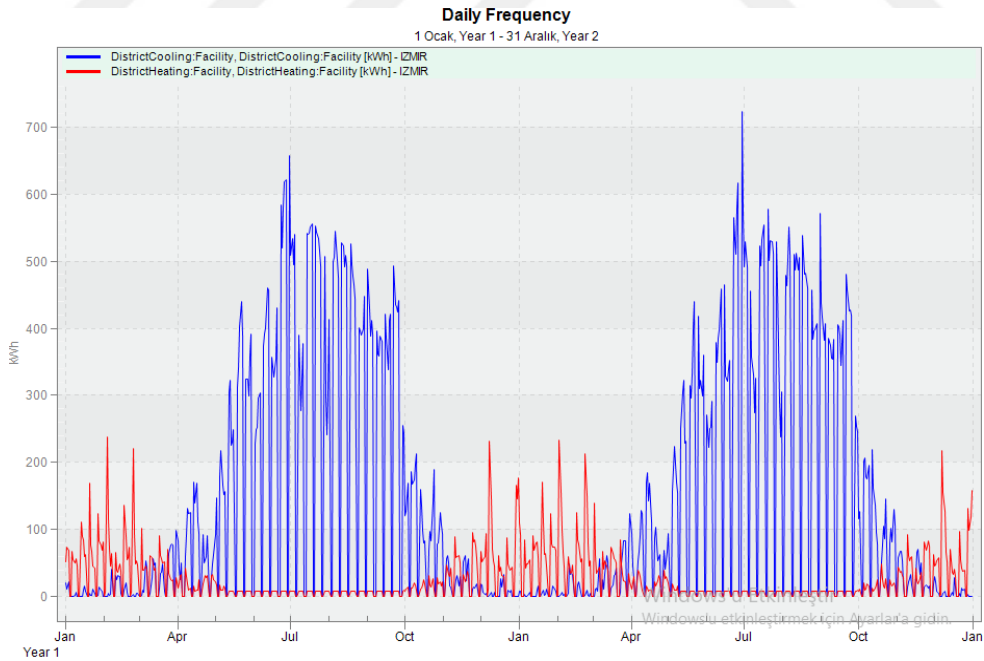
Şekil 79. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi ısııl geçirgenlik değerleri



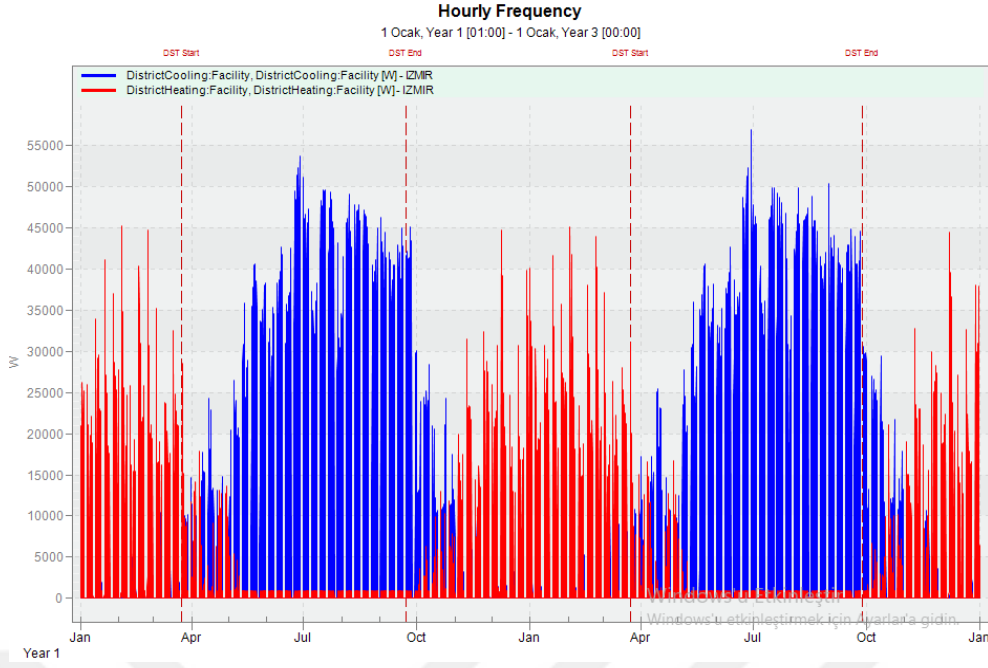
Şekil 80. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 17. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	157.90	1721.24
Şubat	229.89	1654.69
Mart	879.13	1036.76
Nisan	1913.88	514.96
Mayıs	6032.61	227.76
Haziran	8803.62	166.96
Temmuz	10501.37	182.86
Ağustos	9922.69	166.96
Eylül	8695.63	176.74
Ekim	2980.10	406.02
Kasım	636.30	1064.74
Aralık	170.97	1842.54
Toplam	50924.16	9162.28



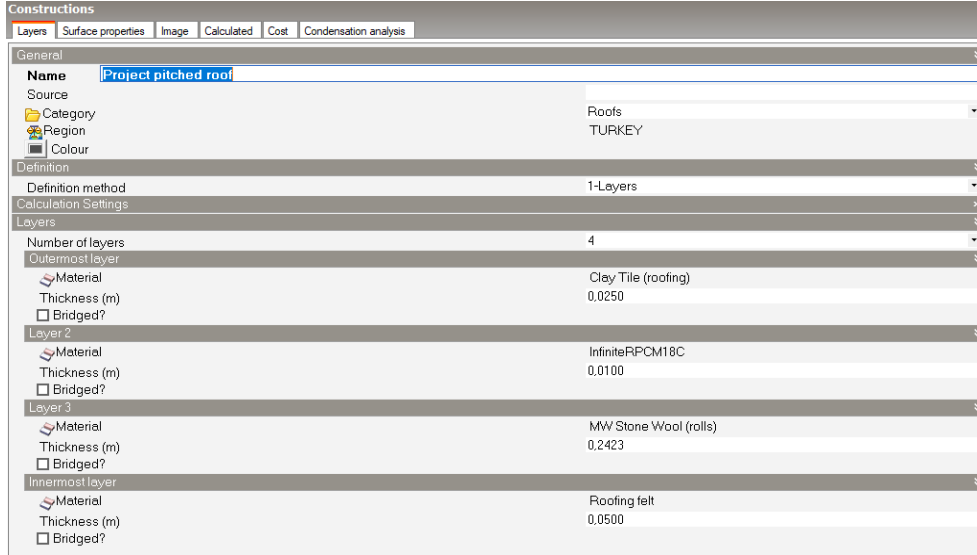
Şekil 81. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



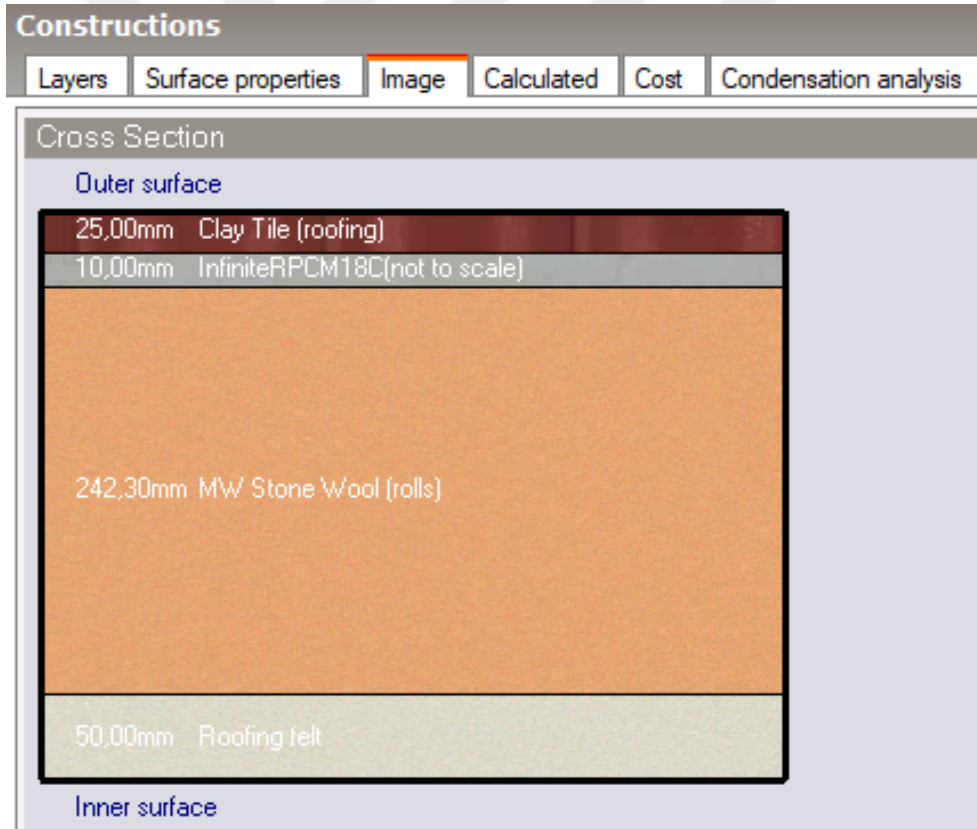
Şekil 82. İzmir ili için iç duvarda ve dış duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Simülasyonla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün $13.57 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün $75.44 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu belirlenmiştir.

Duvar dış ve iç yüzeylerinde iki farklı katman olarak faz değiştiren malzeme kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasının ardından çatı yüzeyinde de faz değiştiren malzeme kullanılmasının ısıtma soğutma yüküne etkisi belirlenmek üzere simülasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 83'te çatıda FDM seçimi, Şekil 84'te çatıda FDM seçimi katman görünümü, Şekil 85'te çatıda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Simülasyon sonucu aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 86'da, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 87'de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 88'de ve aylık ısıtma soğutma yükü tablo değerleri Tablo 18'de gösterilmiştir.



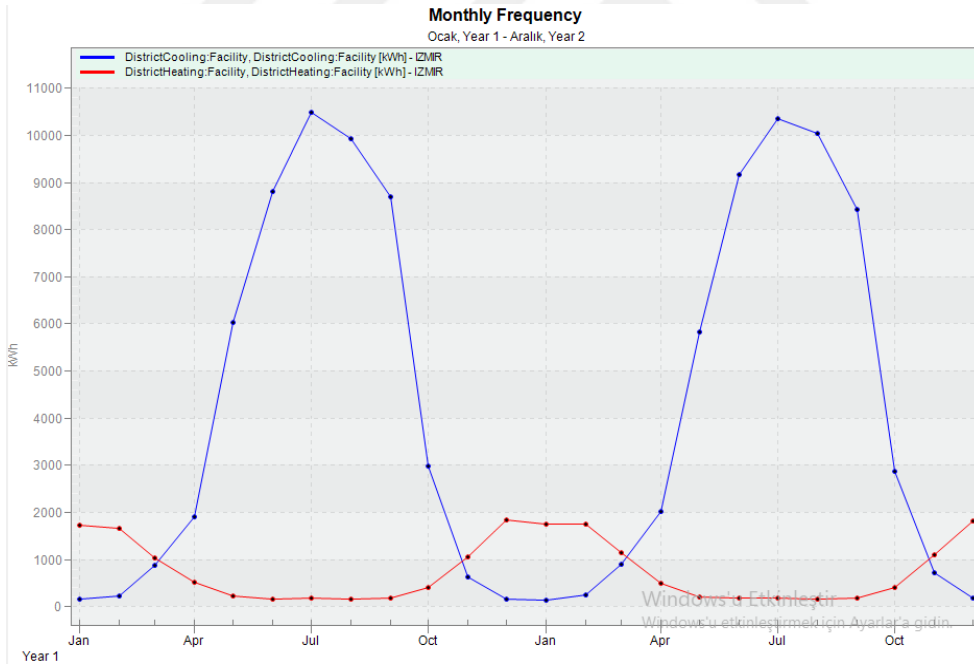
Şekil 83. İzmir ili için çatıda FDM seçimi



Şekil 84. İzmir ili için çatıda FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,100
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					0,157
R-Value (m ² -K/W)					6,498
U-Value (W/m²-K)					0,154
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,3273
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)					41,5800
Upper resistance limit (m ² -K/W)					6,498
Lower resistance limit (m ² -K/W)					6,498
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					0,157
R-Value (m ² -K/W)					6,498
U-Value (W/m²-K)					0,154

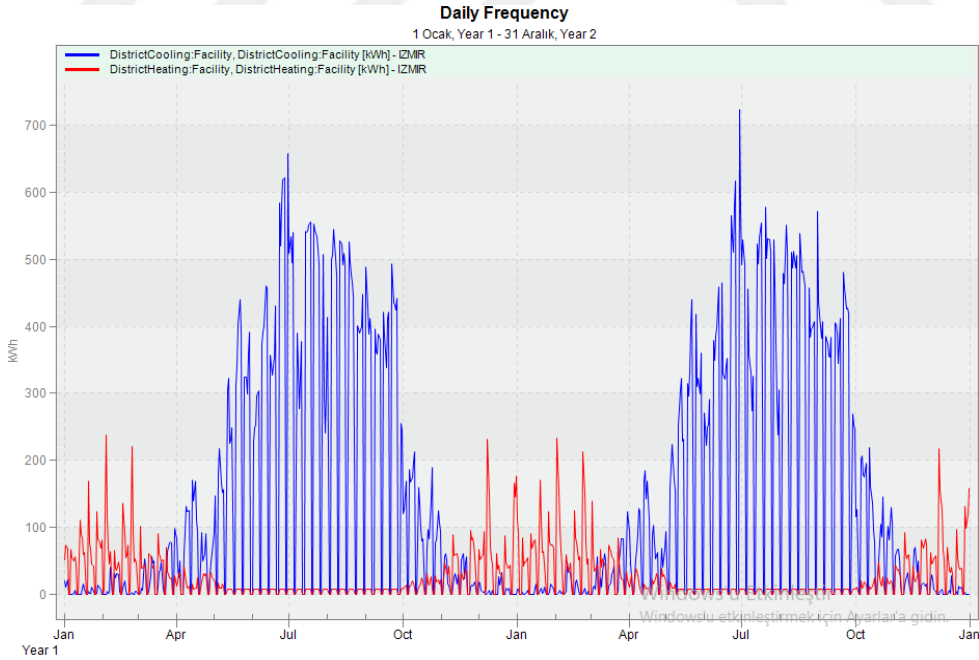
Şekil 85. İzmir ili için çatıda FDM seçimi ısı geçirgenlik değerleri



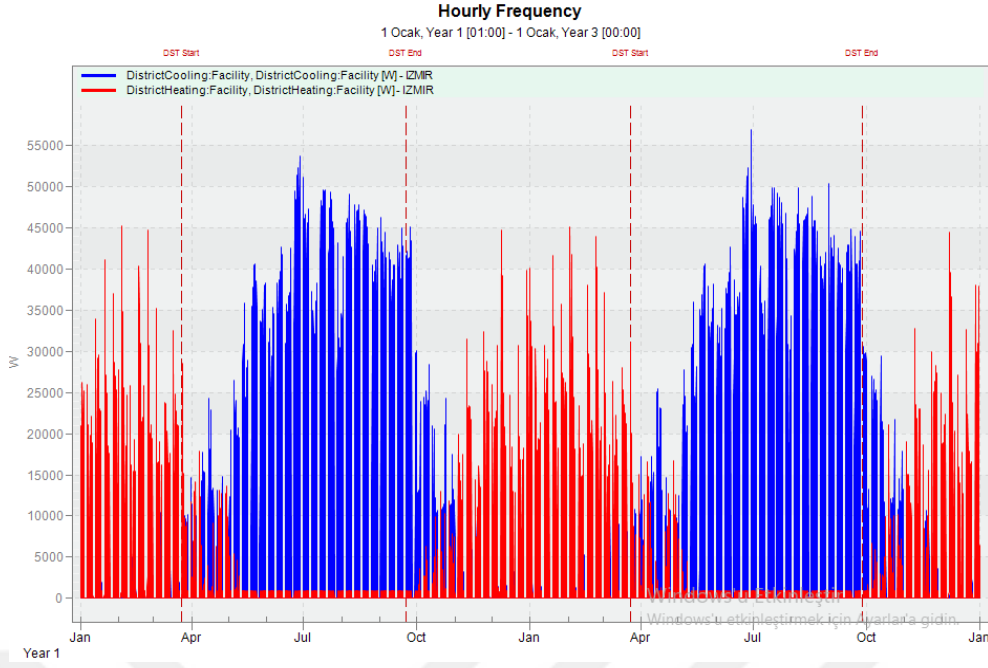
Şekil 86. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 18. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	157.90	1721.24
Şubat	229.89	1654.69
Mart	879.13	1036.76
Nisan	1913.88	514.96
Mayıs	6032.61	227.76
Haziran	8803.62	166.96
Temmuz	10501.37	182.86
Ağustos	9922.69	166.96
Eylül	8695.63	176.74
Ekim	2980.10	406.02
Kasım	636.30	1064.74
Aralık	170.97	1842.54
Toplam	50924.16	9162.28



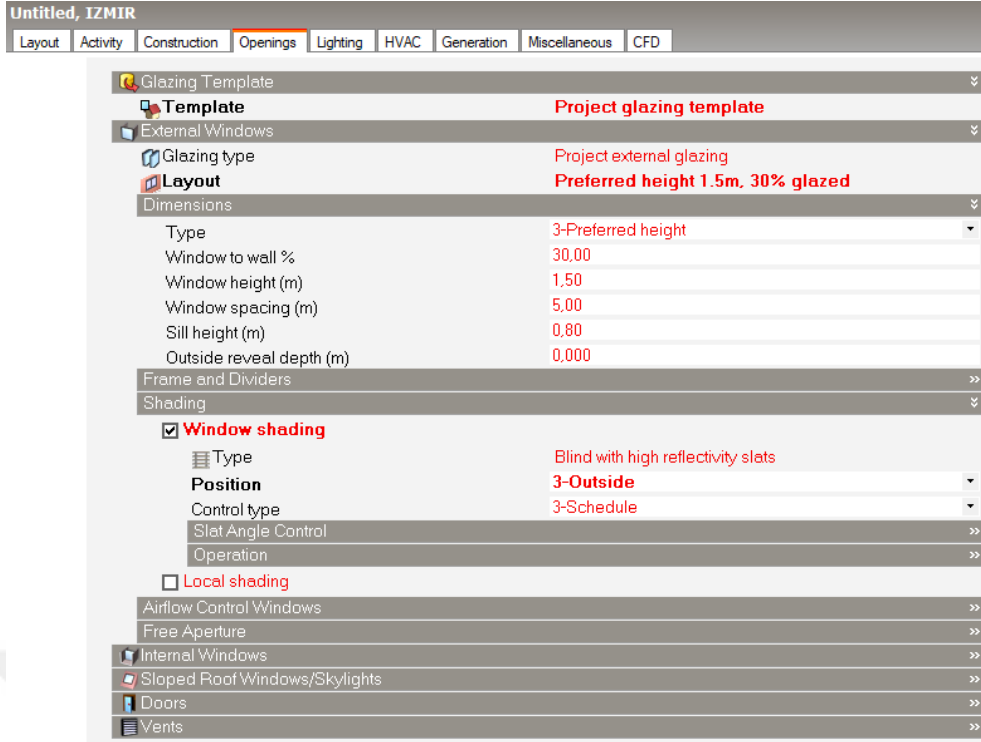
Şekil 87. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



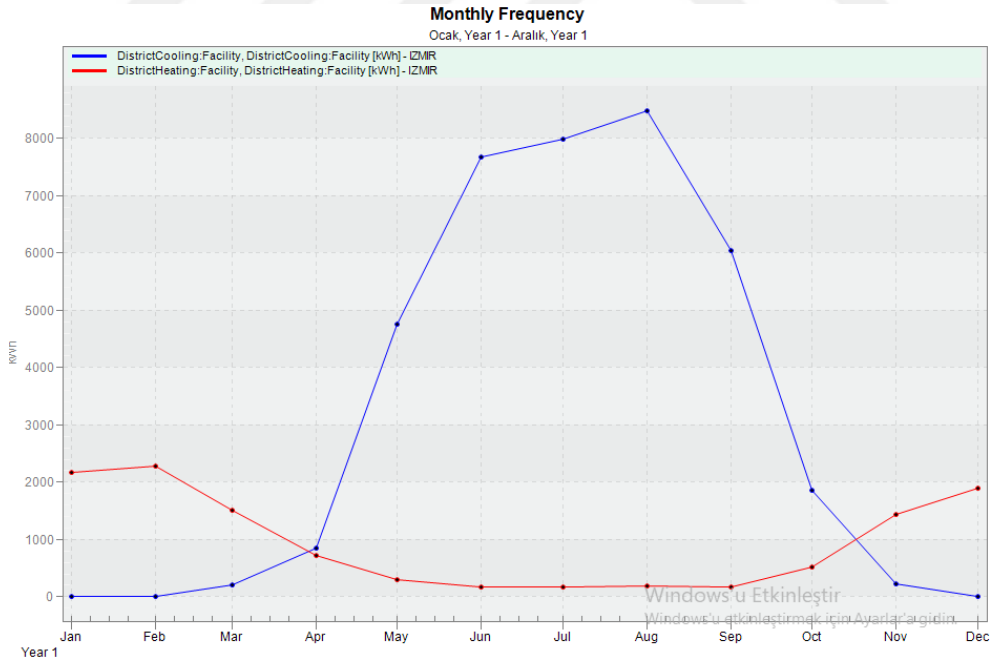
Şekil 88. İzmir ili için iç duvarda, dış duvarda ve çatıda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Simülasyonla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün $13.57 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün $75.44 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu belirlenmiştir.

Soğutma yükünü azaltmak amacı ile yapılacak tasarımlar arasında pencere gölgeleme elemanı kullanılmasının etkisi de yapılan simülasyonla araştırılmıştır. İç duvar yüzeyinde uygulanan faz değiştiren malzeme tasarımı ile optimum oranda iyileştirme yapılan tasarıma gölgeleme elemanı eklenmiştir. Şekil 89'da gölgeleme elemanı seçimi gösterilmiştir. Simülasyon sonucu aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 90'da, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 91'de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 92'de ve aylık ısıtma soğutma yükü tablo değerleri Tablo 19'da gösterilmiştir.



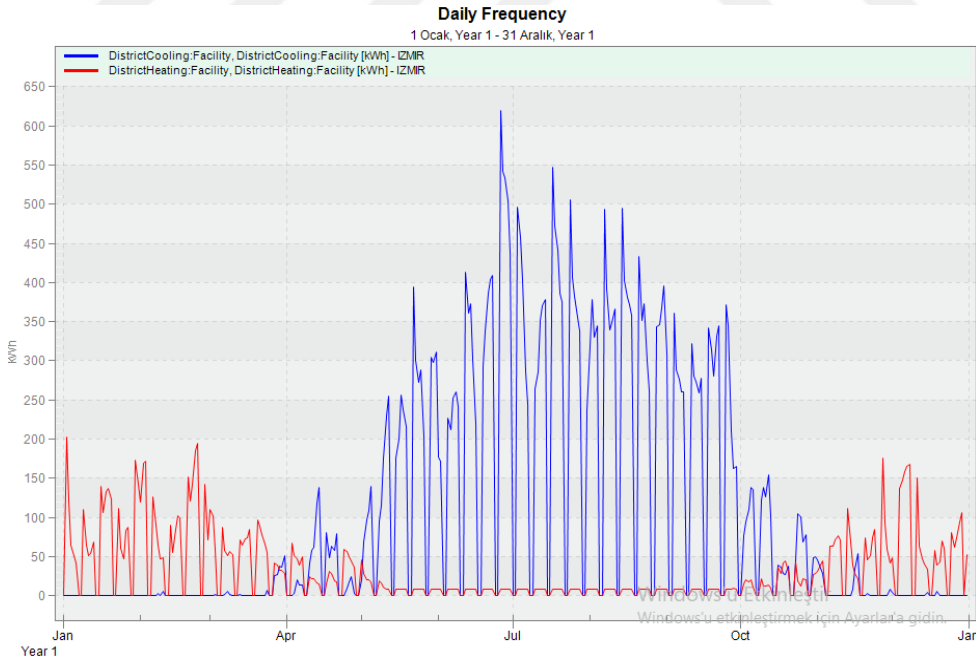
Şekil 89. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi



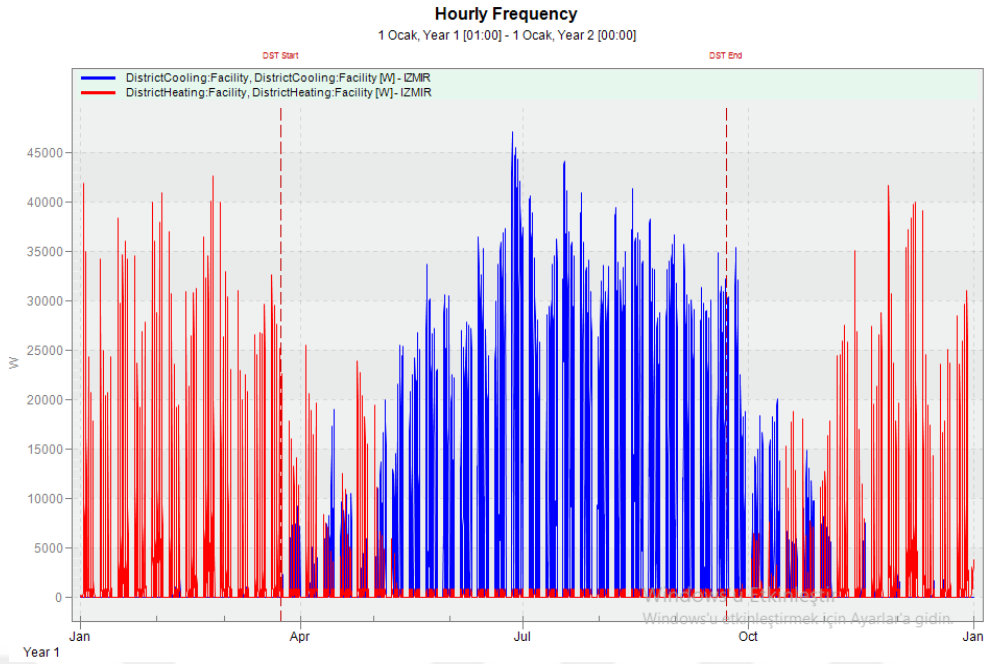
Şekil 90. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 19. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	0.71	2179.84
Şubat	9.24	2280.23
Mart	201.77	1507.11
Nisan	858.60	714.95
Mayıs	4767.07	301.45
Haziran	7683.30	176.46
Temmuz	7983.79	167.43
Ağustos	8489.40	183.37
Eylül	6033.83	171.00
Ekim	1867.38	514.41
Kasım	222.05	1435.89
Aralık	15.69	1904.08
Toplam	38132.80	11536.23



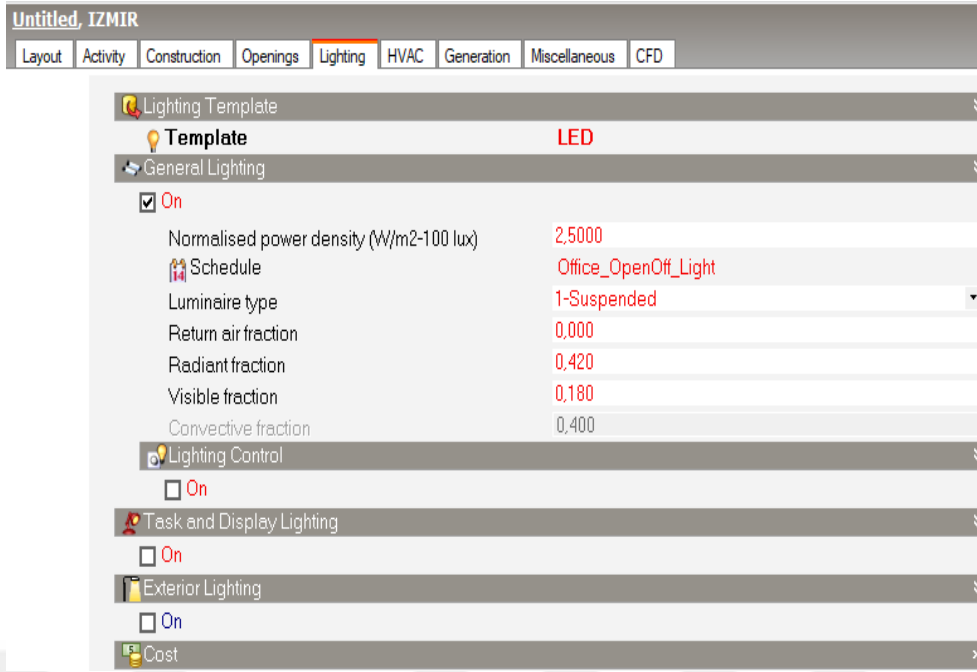
Şekil 91. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



Şekil 92. İzmir ili için gölgeleme elemanı seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Simülasyonla elde edilen verilerde yıllık ortalama ısıtma yükünün 17.09 kWh/m²yıl olduğu ve yıllık ortalama soğutma yükünün 56.49 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir. Bu tasarım ısıtma yükünü bir miktar artırsa da İzmir ili için öncelikli iyileştirilmesi gereken soğutma yükünde ciddi oranda azalma sağlamıştır.

Binalarda harcanan enerjinin büyük bir kısmı aydınlatma için harcanmaktadır. Dolayısıyla aydınlatma ekipmanlarında yapılacak iyileştirmeler aydınlatma yükünü azaltacağından toplam enerji miktarında da önemli oranda tasarruf sağlamaktadır. Tasarımı yapılan binada aydınlatma ekipmanlarında LED armatürler kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi Şekil 93'de ve bu seçimin aydınlatma yükü değerine etkisi Tablo 20'de gösterilmektedir.

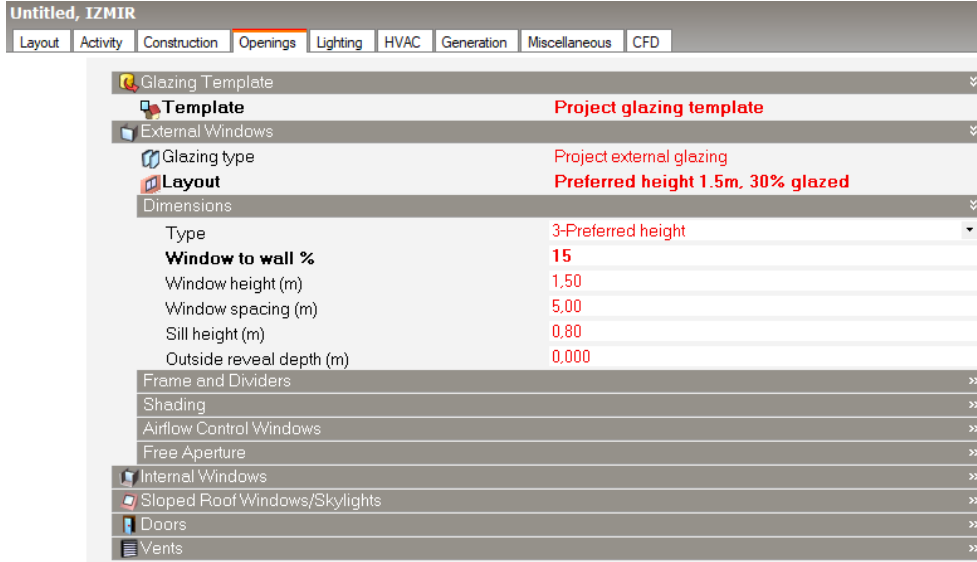


Şekil 93. İzmir ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi

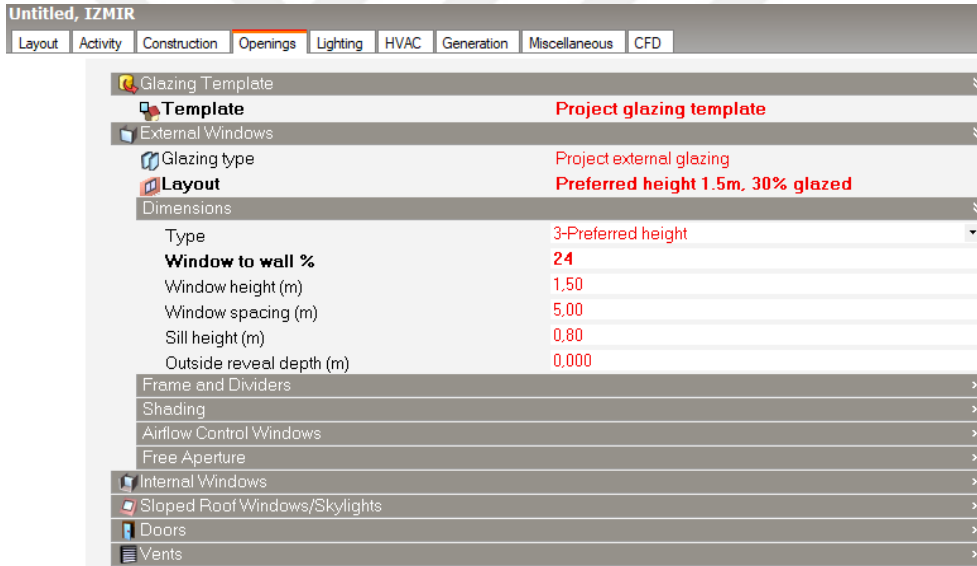
Tablo 20. İzmir ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi aydınlatma yükü değerleri

	Boş Bina LED Armatür Kullanımı	
Aydınlatma ve Ekipman Yükü (kWh)	40855.57	14440

Soğutma yükünü azaltmak amacı ile yapılacak tasarımlar arasında pencere duvar oranının olduğu bilinmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde pencerelerden olan aydınlatma kazanımı yüksek oranlarda olduğundan bu iklim bölgelerinde bu oranın belli bir değerin altına düşürülmesi aydınlatma yükünde ciddi artışlara sebebiyet verebilmektedir. Optimum pencere duvar oranını sağlayabilmek amacı ile öncelikle pencere duvar oranı %15'e indirilerek simülasyon yapılmıştır. Şekil 94'te ve Şekil 95'te pencere duvar oranı seçimi gösterilmektedir. Pencere duvar oranlarının yük değerlerine etkisi Tablo 21'de gösterilmektedir.



Şekil 94. İzmir ili için %15 pencere duvar oranı seçimi



Şekil 95. İzmir ili için %24 pencere duvar oranı seçimi

Tablo 21. İzmir ili için pencere duvar oranlarının yük değerlerine etkisi

	Pencere/Duvar Oranı 15%	Pencere/Duvar Oranı 24%
Isıtma Yüğü (kWh/m ² yıl)	36.48	36.26
Soğutma Yüğü (kWh/m ² yıl)	24.02	23.87
Aydınlatma Yüğü (kWh/m ² yıl)	21.39	17.04

Sıfır enerjili bina yaklaşımında iyileştirme için yapılan çalışmaların bina ısıtma, soğutma, aydınlatma yüklerinin birinde tasarruf sağlarken diğerinde yükü artırıcı olabildiği görülmektedir. Bu yaklaşımda yapılan seçimlerin optimum dengede tasarruf etkisi yapması baz alınmıştır. Yani bina kabuğunda yapılan değişiklikler, HVAC sistem seçimleri, aydınlatma ve elektrikli ekipmanlarda yapılan seçimler ve diğer tasarımlar enerji etkin bina tasarımında genel toplamda maliyet etkinliği de baz alınarak optimum tasarrufu sağlamakta ise sıfır enerjili bina yaklaşımı tasarımına dahil edilmiştir. Bu kapsamda İzmir ili için, boş bina enerji yükleri ile enerji etkin binanın son haldeki kıyaslamaları Tablo 22’de sunulmuştur. Enerji etkinlik ve maliyet etkinlik birlikte düşünüldüğünde yapılan farklı tasarım simülasyonları sonucunda iç yüzeyde FDM kullanılması, pencere dış yüzeylerinde gölgeleme elemanı kullanılması, pencere duvar oranının azaltılması, HVAC sistemlerde ısı pompasının kullanılması ve sıcak su ihtiyacının da ısı pompasından sağlanması ve aydınlatma LED armatürler kullanılması sonucuna varılmıştır. Diğer tüm çözümler enerji etkinlik ve maliyet etkinlik noktasında optimum değerleri sağlamadığından sıfır enerjili bina tasarımına dahil edilmemiştir.

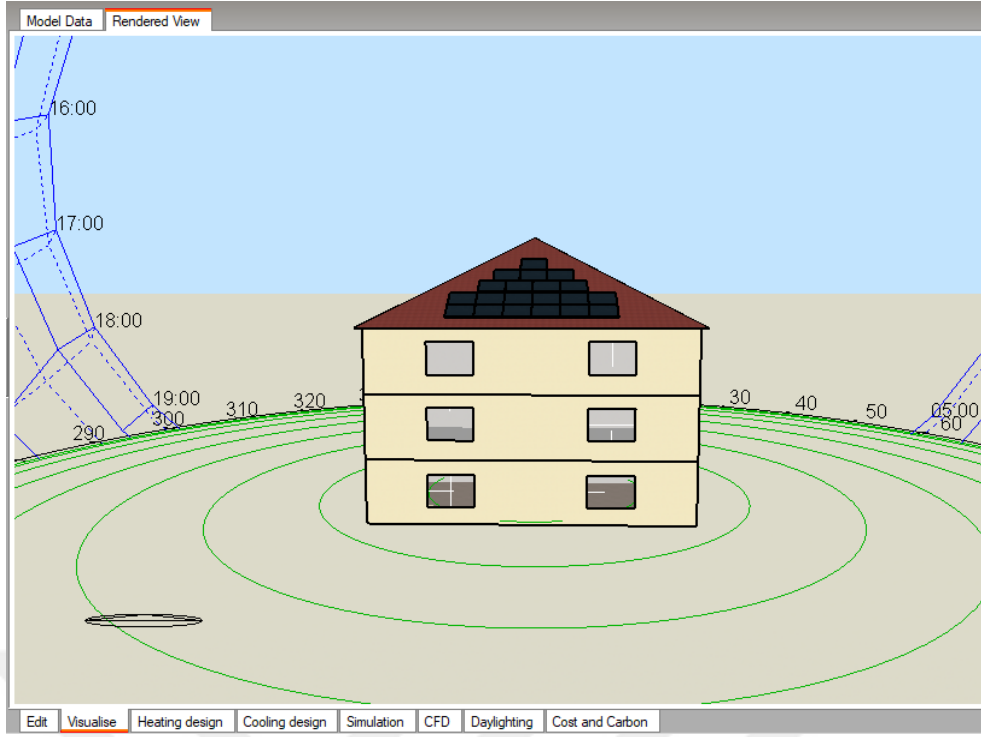
Tablo 22. İzmir ili için pasif ve aktif çözümlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine etkisi

Pasif ve Aktif Çözümler	Soğutma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf	Isıtma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf	Aydınlatma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf
Boş Bina	82,79	↓	17,10	↓	60,52	↓
İç yüzeyde FDM kullanımı						
Pencere dış yüzeyde gölgeleme elemanı kullanımı						
Pencere/duvar oranı azaltımı	36.26	57%	23.87	-39%	17.04	72%
HVAC sistemde ısı pompası kullanımı						
Aydınlatmada LED armatür kullanımı						

Sonuç olarak referans binanın herhangi bir tasarım değişikliği yapılmadan ya da önlem alınmadan önce yıllık birincil enerji tüketimi 160.41 kWh/m²yıl olarak belirlenmişti. İzmir şehrinin bulunduğu koşullara özgün çözüm tasarımları ile birlikte yıllık birincil enerji tüketimi 77.17 kWh/m²yıl'dır. Bu çalışma sonucu İzmir ilindeki örnek binada 83.24 kWh/m²yıl tasarruf yapılarak %52 oranında tasarruf sağlanmıştır.

Sıcak su ihtiyacı için gereken enerji HVAC sistem seçiminde tercih edilen ısı pompasına entegre edilen sıcak su kazanı ile sağlanabilmektedir. HVAC sistem seçiminde ısı pompası tercih edildiğinden ve maliyet etkin bir tasarım olması açısından sıcak su ihtiyacı için ayrıca bir güneş kollektörü seçimi yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Yapılan iyileştirmeler ve alınan önlemler ile enerji tüketiminde elde edilen tasarruf ciddi oranda olsa da net sıfır enerjili ya da yaklaşık sıfır enerjili bina tasarım hedefine ulaşabilmek için yenilenebilir enerji kaynakları kullanmak kaçınılmazdır. HVAC çözümlerinde ısı pompası seçimi ile yaklaşık sıfır enerjili bina tanımı ‘‘Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik’’e göre gerçekleşmiştir. İlgili yönetmelikte yaklaşık sıfır enerjili binaların birincil enerji ihtiyacının en az %5'i oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur denmektedir. Bu kapsamda bakıldığında boş bina simülasyonundaki birincil enerji tüketim değerlerine göre ısı pompası seçimi ile yapılan simülasyon sonucunda %5'in üzerinde bir tasarruf sağlanmaktadır. Çalışmanın bu kısmında etkili bir yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisi ele alınarak sıfır enerjili bina hedefine yaklaşım belirlenecektir. Simülasyon programında yapılan fotovoltaik sistem kurulum modellenmesi Şekil 96'da gösterilmiştir.

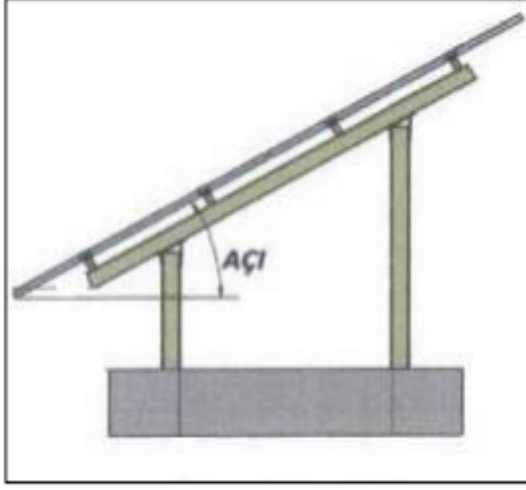


Şekil 96. İzmir ili için çatıda fotovoltaik panel sistemi kurulumu

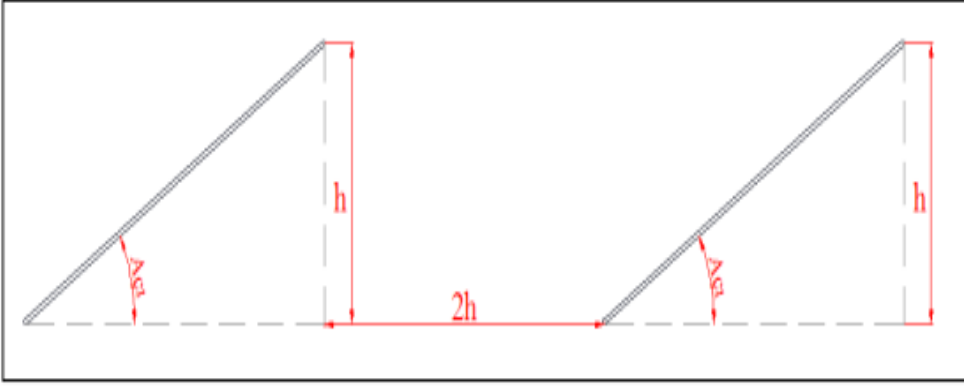
Fotovoltaik sistemlerle ilgili çalışmalar gerçekleştiren firma ve kuruluşlar PVsyst, SolarEdge, PVSol, PVDesign ve PVGIS gibi farklı tasarım programları kullanmaktadır. Tüm bu programlar PV sistemlerinin data değerlendirmeleri, boyutlandırmaları ve projelendirmeleri ile ilgili yazılımlardır. İçerikleri değişmekle beraber programların genel özellikleri, maliyet değerlendirmesi, malzeme (modül, inverter vb.) seçimi ve tasarımlarından oluşmaktadır.

Fotovoltaik panel hesaplamaları yapılırken öncelikle çatı alanında kullanılabilir maksimum panel sayısı geometrik kombinasyon ile belirlenmiştir. Ardından PVGIS programında simülasyonlar yapılarak maksimum panel sayısı ile üretilebilecek maksimum enerji, maksimum enerjinin üretilebilmesi için optimum panel eğim açıları ve tasarımı yapılan binanın net sıfır enerjili bina olabilmesi için gerekli panel sayısı ayrı ayrı belirlenmiştir.

Proje tasarımında 30° eğimli çatı kullanılmış olup eğik düzlemin alanından toplam çatı alanı 260 m²'dir. Güneş panellerinin zeminle yapmış olduğu açı önemli olup teras tipi düz çatılarda panellerin birbirini gölgelememesi için paneller arası boşluk bırakılmaktadır. Sistem verimi açısından en verimli güneş paneli açısı Şekil 97'de, eğimli panel tasarımlarında bırakılması gereken boşluklar Şekil 98'de gösterilmektedir.



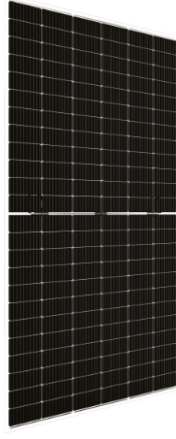
Şekil 97. En verimli güneş paneli açısı (Sağlam, 2015)



Şekil 98. Eğimli panel tasarımlarında gölgeleme faktöründen kaynaklı bırakılması gereken boşluklar (Sağlam, 2015).

İzmir ilindeki güneş panelleri için ideal açı, yapılan çalışmaların birçoğunda da 30° - 35° olarak belirlenmiştir (Ülgen, 2006). Tasarlanan binada çatı eğimi 30° olduğundan paneller arasında gölgeleme durumu oluşmayacak olup paneller boşluk bırakılmadan seri dizilebilmektedir. Bu geometrik kombinasyonda bina çatısında maksimum 80 panel kullanılabilir. Standart güneş panelleri ortalama 550 Watt güç üretmektedir.

Şekil 99, Şekil 100, Şekil 101 ve Şekil 102’de farklı markaların PV panel katalog değerleri gösterilmiştir.



Teknik Detaylar

Maksimum Güç (Pmax)	600Wp	Modül Verimliliği	21.20
Açık Devre Gerilimi (Voc)	41.50	Kısa Devre Akımı (Isc)	18.53
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C	Güvenlik Sınıfı	C
Hücre Boyutu (mm)	210X105	Hücre Sayısı (adet)	120 (6X20)
Bağlantı Kutusu Koruma Sınıfı	IP68	Sıcaklık Katsayısı (Isc)	0.040%/°C
Bağlantı Kutusu Kablo Boyu	350-1600		

Şekil 99. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-1 (URL-2, 2023).



Şekil 100. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-2 (URL-3, 2023).



Şekil 101. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-3 (URL-4, 2023).



Elektriksel Özellikler	STC	NOCT
Maksimum Güç (Pmax)	545 Wp	412 Wp
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49.75 V	46.55 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	13.93 A	11.13 A
Maksimum Güç Gerilimi (Vmax)	41.80 V	39.20 V
Maksimum Güç Akımı (Imax)	13.04 A	10.51 A
Modül Verimi	21.10%	
Güç Toleransı	+5 W	
Maksimum Sistem Gerilimi	1,500 V	
Maksimum Seri Sigorta Değeri	25 A	

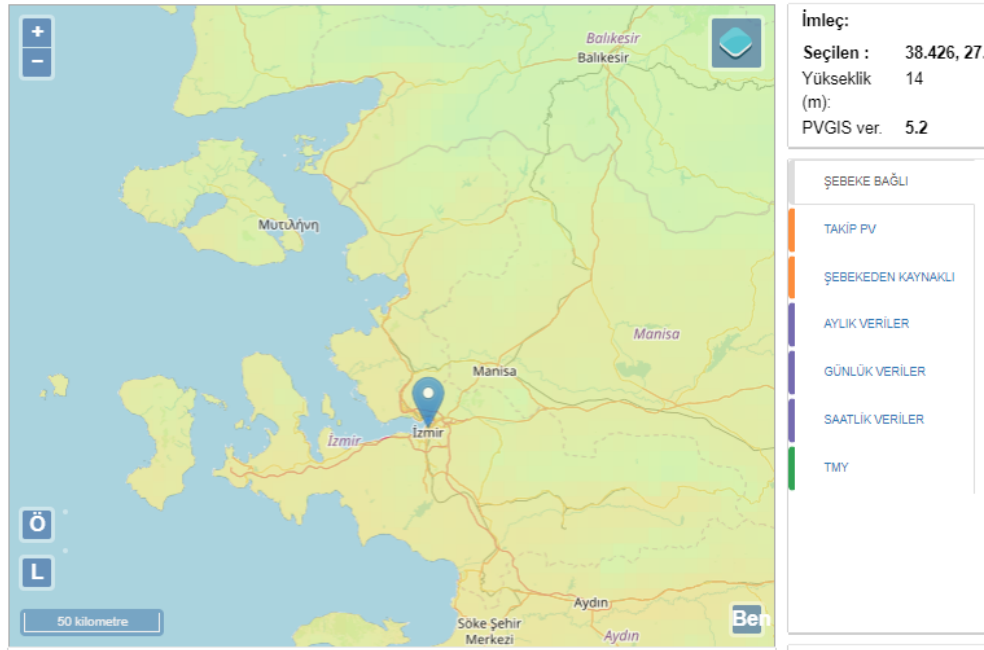
Şekil 102. Farklı markaların PV panel ürün katalog görselleri-4 (URL-5, 2023).

550 Wp'lik bu ortalama güç değeri ile fotovoltaik sistem için kurulu güç hesabı Eşitlik 21'den yararlanılarak hesaplanır.

$$\text{Toplam Kurulu Güç (Wp)} = \text{Panel Sayısı (Adet)} \times \text{Maksimum Panel Gücü (Wp)} \quad (\text{Eşitlik 21})$$

Değerler eşitliğe uygunlandığında toplam kurulu güç 44 kWp olarak bulunmaktadır. Bu değer PVGIS programında girdi olarak kullanıldığında İzmir ili için panel eğim açısı 10° iken yıllık düzlem içi ışınlama değeri 1952.24 kWh/m², 30° olduğunda ise 2077.30 kWh/m² olarak bulunmaktadır.

PVGIS simülasyon programının girdilerinde eğim optimize edildiğinde optimum panel eğim açısı 33° olmaktadır ve eğim açısı ile üretilebilecek maksimum güç 2079.36 kWh/m² olmaktadır. Bu değer çatı eğim açısı olan 30°'lik eğim açısında bulunan değerlerin çok üzerinde bir değer olmadığından çalışma boyunca ön planda tutulan maliyet etkinliği de göz önünde bulundurularak PV panellerin, çatı eğimi olan 30°'lik yüzeye paralel yerleştirilmesi sonucuna varılmıştır. PVGIS simülasyon programında lokasyon seçimi Şekil 103'te, 10° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri Şekil 104'te, 10° panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 105'te ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 23'te gösterilmektedir. PVGIS simülasyon programında aynı lokasyon seçimi ile 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri Şekil 106'da, 30° panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 107'de ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 24'te gösterilmektedir. Aynı lokasyon için optimum panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 108'de ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 25'te gösterilmektedir.



Şekil 103. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında yapılan lokasyon seçimi

Güneş radyasyonu veritabanı * PVGIS-SARAH2

PV teknolojisi * Kristalin silikon

Kurulu tepe PV gücü [kWp] * 44

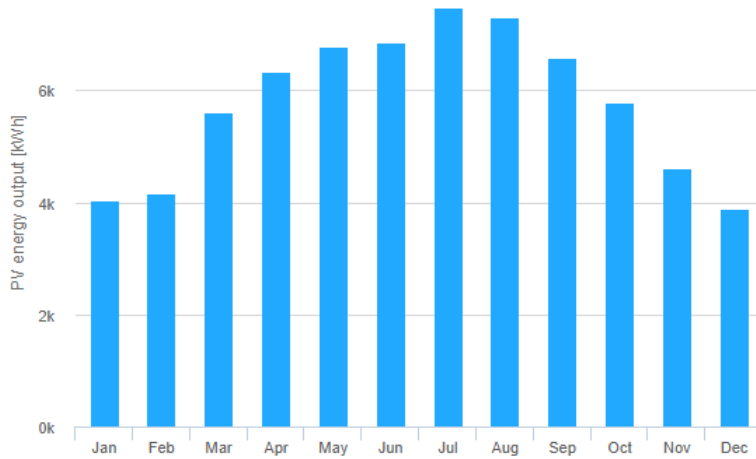
Sistem kaybı [%] * 14

Sabit montaj seçenekleri

Montaj konumu * Bağımsız

Eğim [*] * 10 Eğimi optimize edin

Şekil 104. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 10° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri



Şekil 105. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 10° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 23. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 10° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	38.426,27.148
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı (%)	14

Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	10
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	62346.59
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	1952.24
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	1222.93

Güneş radyasyonu veritabanı * PVGIS-SARAH2

PV teknolojisi * Kristalin silikon

Kurulu tepe PV gücü [kWp] * 1

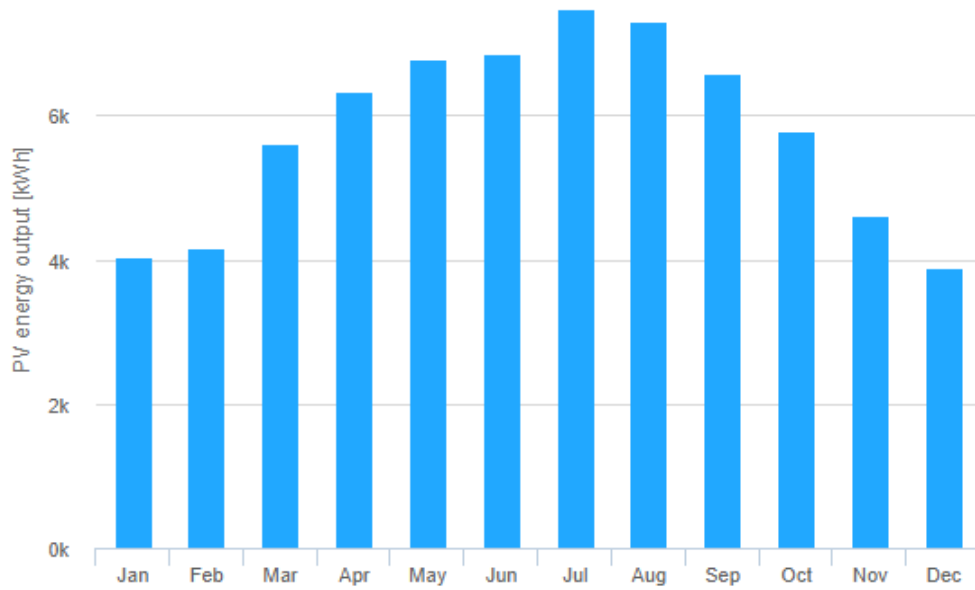
Sistem kaybı [%] * 14

Sabit montaj seçenekleri

Montaj konumu * Bağımsız

Eğim [°] * 30 Eğimi optimize edin

Şekil 106. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri

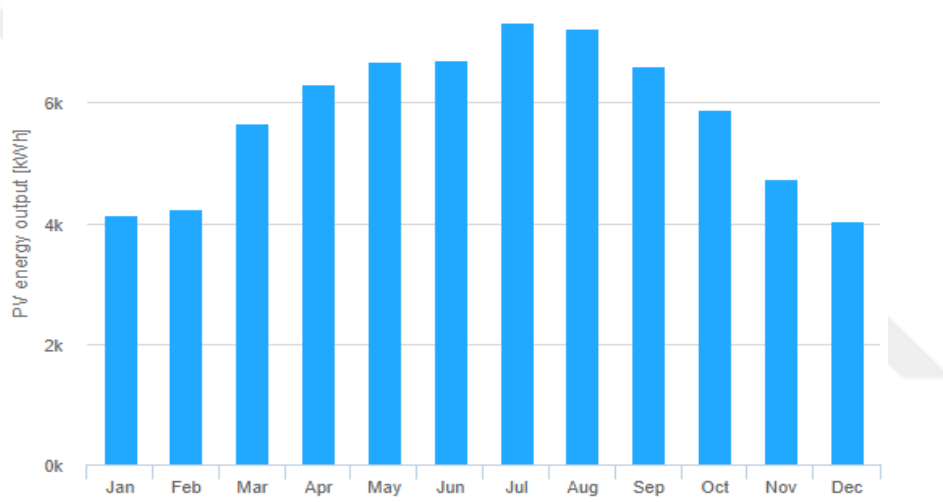


Şekil 107. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 24. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	38.426,27.148
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı (%)	14

Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	30
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	69415.32
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	2077.30
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	1740.68



Şekil 108. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 25. İzmir ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	38.426,27.148
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı (%)	14

Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	33(optimum)
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	69543.69
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	2079.36
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	1793.55

Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum panel sayısının kullanılması durumunda çatı yüzeyine paralel 30° panel eğim açısı ile yapılan simülasyonda binanın ihtiyacı olan enerji ihtiyacının tümünün karşılandığı ve ihtiyaç olan enerjiden daha fazlasının üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat çalışmanın enerji ve aynı zamanda maliyet etkin bir çalışma olması nedeniyle tasarımı yapılan binada ihtiyaç olan 77.17 kWh/m²yıl enerji üretimi için 61 adet panel kullanımının yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 61 adet 550 Wp fotovoltaik panel ile üretilecek 78.29 kWh/m²yıl enerji, tasarımı yapılan ofis binasının ihtiyacı olan 77.54 kWh/m²yıl enerjinin tümünü karşılayacağından tasarımı yapılan bina net sıfır enerjili bina tanımına uymaktadır.

5.1.3. İzmir İli Enerji Etkin Bina İçin Ekonomik Analiz

Ekonomik analizin yapılmasının temel amacı, tasarlanan ve sunulan çözüm paketlerinin maliyet etkinliğinin ve geri ödeme süresinin hesaplanmasıdır. Bu bölümde İzmir ili için tasarlanan enerji etkin binada birim maliyet analizleri yapılmıştır. Maliyeti oluşturan temel bileşenler arasında FDM maliyeti, gölgeleme elemanları maliyeti, mekanik sistem maliyeti (yerden ısıtma sistemi, ısı pompası ve ısı pompasına entegre sıcak su kazanı sistemi), aydınlatma ekipmanları maliyeti ve güneş enerjisi için fotovoltaik sistem maliyeti söz konusudur.

Maliyet için kullanılacak birim fiyat listeleri dolar bazında DesignBuilder Simülasyon programı ve alanında hizmet veren firmalarla yapılan görüşmelerin ortalamalarından alınmıştır. Elektrik birim fiyatı yetkili elektrik dağıtım firmalarından alınmıştır ve dolar kuru dönüşümünde 2023 yılı yıllık ortalama kur olan 23.29 TL olarak hesaba dahil edilmiştir. Birim maliyetler Tablo 26’da gösterilmektedir.

Tablo 26. İzmir ili maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi

Malzeme	Birim Fiyat
Birim Alan İçin (m ²) Faz Değiştiren Malzeme - RPCM18C Fiyatı	30 \$
Birim Alan İçin (m ²) Pencere Gölgeleme Elemanı Fiyatı	75 \$
Birim Alan İçin (m ²) HVAC Sistem Kurulum Fiyatı	50 \$
Birim Alan İçin (m ²) Aydınlatma Ekipman Fiyatı	15 \$
1 kWp Fotovoltaik Sistem Kurulum Fiyatı	645 \$
1 kWh Elektrik Fiyatı	0,11 \$

İzmir ili için tasarımları yapılan binanın tasarlanan sistemler için genel maliyet tablosu Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. İzmir ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırım maliyeti

Malzeme	Birim Fiyat	Uygulama Alanı	Toplam Maliyet
Faz Değiştiren Malzeme RPCM18C	30 (\$/m ²)	410 (m ²)	12300 \$
Pencere Gölgeleme Elemanları	75 (\$/m ²)	130 (m ²)	9750 \$
HVAC Sistem Kurulumu	50 (\$/m ²)	675 (m ²)	33750 \$
Aydınlatmada Tasarruflu (LED) Ekipmanlar	15 (\$/m ²)	675 (m ²)	10125 \$
Fotovoltaik Sistem Kurulumu	645 (\$/kWp)	33,55 (kWp)	21640 \$
		Genel Toplam	87565 \$

Sunulan çözümlerde ilk kurulum maliyetinden sonra işletme ve bakım maliyetleri bulunmaktadır. İlgili işletme giderleri ve bakım maliyetleri de alanında hizmet veren firmalardan ortalama olarak alındığında; ısı pompası için yılda iki kez olmak üzere 150\$ birim fiyatı, mekanik tesisatlarda su analizi ve yıkama işlemlerinin yapılması için yılda bir kez olmak üzere 110\$ birim fiyatı, fotovoltaik sistemde yılda iki kez olmak üzere panellerin yıkanması ve elektrik devrelerinin kontrolleri için panel başı 2.5\$ birim fiyatı bulunmaktadır. Bu bilgiler baz alınarak tasarımı yapılan binanın yıllık ortalama işletme ve bakım maliyetleri Tablo 28’de gösterilmiştir.

Tablo 28. İzmir ili için sıfır enerjili bina işletme ve bakım maliyet yıllık giderleri

Malzeme	Bakım Birim Fiyat	Toplam Maliyet
Isı Pompası bakım giderleri (Yılda iki kez)	150 (\$/sistem)	300 \$
Mekanik tesisat bakım giderleri (Yılda bir kez)	110 (\$/sistem)	110 \$
Fotovoltaik sistem bakım giderleri (Yılda iki kez)	2.5 (\$/Panel)	305 \$
	Genel Toplam	715 \$

Sunulan çözümlerin ve tasarlanan sistemin uygulanmasının rasyonel olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla ekonomik analiz yöntemlerinden Net Bugünkü Değer Yöntemi kullanılarak (Eşitlik 16);

$$NBD = GBD - MBD$$

$$NBD = A (F/A; \%i, n) - C$$

(Eşitlik 16)

Bu eşitlikte;

NBD : Net Bugünkü Değer, \$

GBD : Gelirlerin Bugünkü Değeri, \$

MBD : Malyetlerin Bugünkü Değeri, \$

Projenin kabul edilebilmesi için bulunan değerın sıfırdan büyük (pozitif) olması gerekir.

P : Paranın şimdiki değeri

F : Paranın gelecekteki değeri

A : n dönem devam eden düzgün artan serilerde dönem sonu değeri

i : Faiz Oranı, %

n : Faiz dönem sayısı

C : İlk yatırım maliyeti

İskonto oranı %9 olup, ilk yatırım maliyeti de hesaplandığı üzere denkleme yerleştirildiğinde;

$$\text{NBD} = [(11910\$ - 715\$)9.89] - 87565\$$$

$$\text{NBD} = 23153\$$$

Yatırımın ekonomik ömrünün 25 yıl olduğu bilindiğinden Tablo 29'da yatırımın enflasyon bazlı yıllara göre getirisi gösterilmiştir.

Tablo 29. İzmir ili için sıfır enerjili bina yatırımının yıllara göre enflasyon bazlı getirisi

Yıl	Elektrik Giderleri	Tasarruf Bakım Giderleri	Toplam Getiri
1	\$11910.00	\$715.00	\$11195.00
2	\$13101.00	\$786.50	\$12314.50
3	\$14411.10	\$865.15	\$13545.95
4	\$15852.21	\$951.67	\$14900.55
5	\$17437.43	\$1046.83	\$16390.60
6	\$19181.17	\$1151.51	\$18029.66
7	\$21099.29	\$1266.67	\$19832.63
8	\$23209.22	\$1393.33	\$21815.89
9	\$25530.14	\$1532.67	\$23997.48
10	\$28083.16	\$1685.93	\$26397.22
11	\$30891.47	\$1854.53	\$29036.95

Tablo 29. (Devamı)

Yıl	Elektrik Giderleri	Tasarruf	Bakım Giderleri	Toplam Getiri
12	\$33980.62		\$2039.98	\$31940.64
13	\$37378.68		\$2243.98	\$35134.71
14	\$41116.55		\$2468.37	\$38648.18
15	\$45228.21		\$2715.21	\$42512.99
16	\$49751.03		\$2986.73	\$46764.29
17	\$54726.13		\$3285.41	\$51440.72
18	\$60198.74		\$3613.95	\$56584.79
19	\$66218.62		\$3975.34	\$62243.27
20	\$72840.48		\$4372.87	\$68467.60
21	\$80124.52		\$4810.16	\$75314.36
22	\$88136.98		\$5291.18	\$82845.80
23	\$96950.67		\$5820.30	\$91130.38
24	\$106064.74		\$6402.33	\$100243.42
25	\$117310.32		\$7042.56	\$110267.76

Geri Ödeme Süresi (GÖS) kullanılarak sistemin kendini amorti edeceği zaman aralığı ayrıca hesaplanmıştır. Eşitlik 20 ve Eşitlik 21’de belirtildiği üzere;

$$GÖS = İY/NA$$

(Eşitlik 20)

GÖS :Yatırım geri ödeme süresi

İY :İlk yatırım

NA :Dönem başına nakit akışı

Eğer nakit akışı düzenli değil ise;

$$GÖS = \sum GÖS + (YNGÖS/TYNA)$$

(Eşitlik 21)

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yılın başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

Değerler ilgili denklemlerde yerine konulduğunda;

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 87565\$$$

$$\text{Dönem başı nakit akışı} = (108276 \text{ kWh/yıl})(0.11\$/\text{kWh})$$

$$\text{GÖS} = 87565\$/11910\$$$

$$\text{GÖS} = 7.35 \text{ yıl}$$

Fakat yıllara göre elektrik tüketim fiyatları ve bakım işletme giderleri sabit olmadığından nakit akışının düzenli olmayacağı bilinmektedir. Geçmiş yıllar TÜİK enflasyon ortalamaları baz alınarak, sonraki yıllar için ortalama enflasyon oranı %10 olarak hesaba dahil edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan hesaba;

$$\text{GÖS} = \sum \text{GÖS} + (\text{YNGÖS}/\text{TYNA})$$

$$\text{TYNA} = (\text{NA})(1.1) = [(11910\$(1.1) - (715\$(1.1))] = 11195\$$$

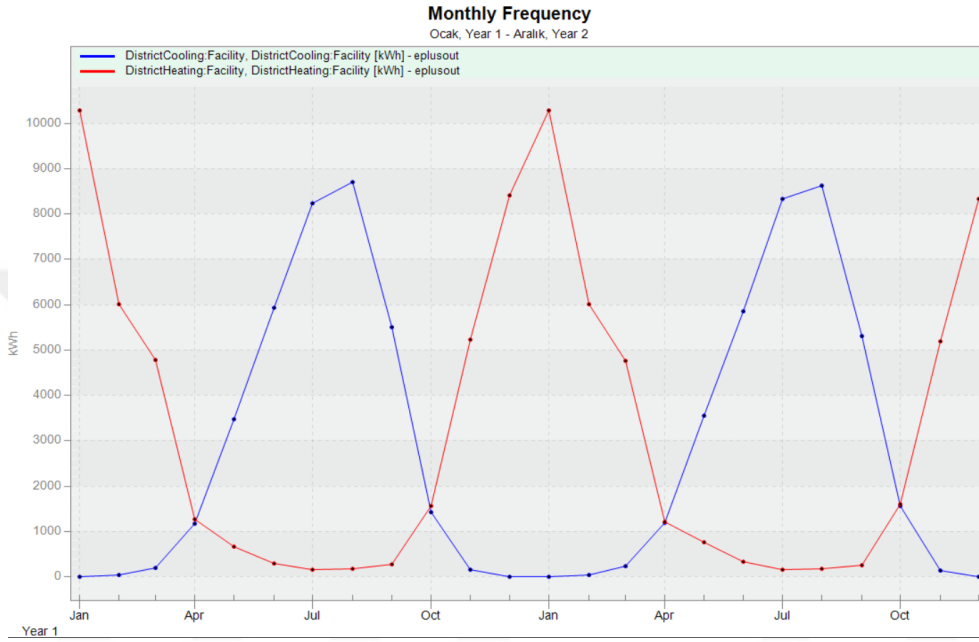
$$\text{YNGÖS} = 87565\$ - 76370\$$$

$$\text{GÖS} = 6.82 \text{ yıl}$$

5.1.4. Ankara İli İçin İyileştirme Öncesi Isıtma ve Soğutma Yükleri

Farklı iklim tipleri için aynı yapısal özelliklerle tasarlanan bina Ankara ilinde henüz iyileştirmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gerçekleşmeden önce simüle edildiğinde ısıtma yükünün soğutma yükünden fazla olduğu görülmüştür. EnergyPlus programı kullanılarak simülasyonla elde edilen verilerde toplam yıllık ısıtma yükünün 39112.76 kWh, toplam yıllık soğutma yükünün ise 34855.98 kWh olduğu görülmektedir. Bina toplam alanı 675 m² olduğundan bu değerler toplam alana bölünerek m² başına düşen yıllık ortalama ısıtma yükünün 57.94 kWh/m²yıl olduğu ve m² başına düşen yıllık ortalama soğutma yükünün 51.63 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir. Aylık, günlük ve saatlik analizler yapılarak grafikler ve tablolarla elde edilen değerler iyileştirmeler sonucunda elde edilecek değerlerle karşılaştırılmak üzere kayıt altına alınmıştır. Bina aydınlatma ve ekipman yükünün 39059.73 kWh olduğu, bina sıcak kullanım suyu ısıtma yükünün de 2078.67 kWh olduğu iyileştirmeler yapılmamış bina simülasyon sonuçlarında belirlenmiştir. Sıcak su yükü DesignBuilder simülasyon programında ısıtma yükünün içerisinde verilmektedir. Bu nedenle binanın toplam enerji tüketimi tablosunda bu değerler ayrı gösterilmiş fakat simülasyon program çıktılarında ısıtma yükü içerisinde dağıtıldığı için birleşik olarak verilmiştir. Tasarımı simüle edilen binanın Ankara iline ait aylık ısıtma soğutma yükü

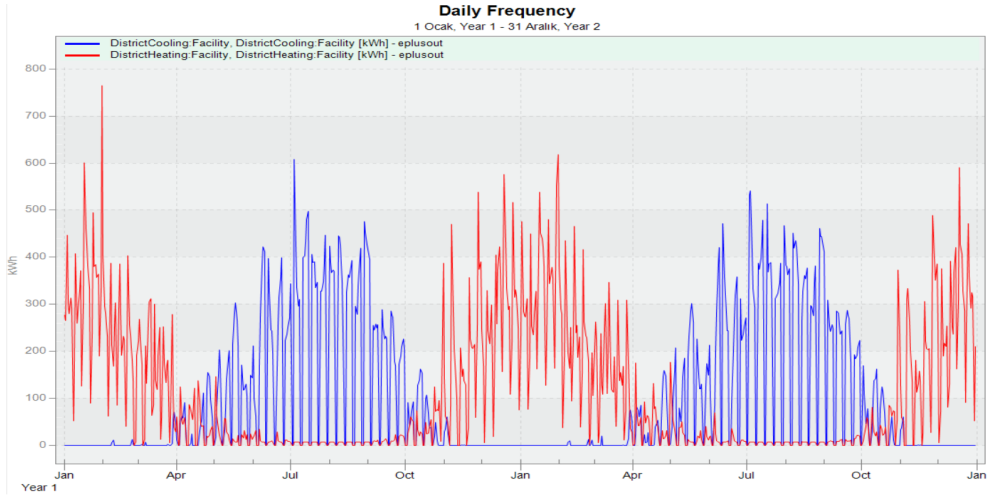
grafığı Şekil 109’da, günlük ısıtma soğutma yükü grafığı Şekil 110’da, saatlik ısıtma soğutma yükü grafığı Şekil 111’de gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 30’da kWh cinsinden gösterilmiştir. Aydınlatma, sıhhi sıcak su, ısıtma ve soğutma yüklerinin değerleri ve binaya ait toplam enerji yükü değerleri Tablo 31’de gösterilmiştir.



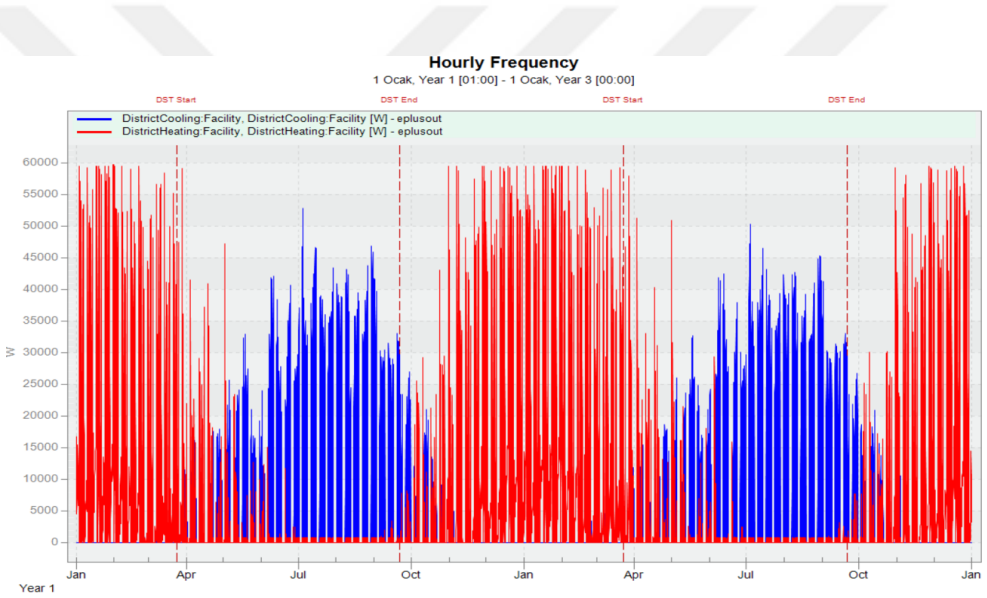
Şekil 109. Ankara ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü grafığı

Tablo 30. Ankara ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	0	10223.43
Şubat	34.46	6008.69
Mart	195.80	4783.14
Nisan	1176.39	1280.69
Mayıs	3480.92	669.63
Haziran	5926.57	288.10
Temmuz	8239.55	167.89
Ağustos	8716.77	184.16
Eylül	5498.02	282.40
Ekim	1433.62	1573.74
Kasım	153.88	5234.54
Aralık	0	8416.35
TOPLAM	34855.98	39112.76



Şekil 110. Ankara ili için simüle edilen boş binanın günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



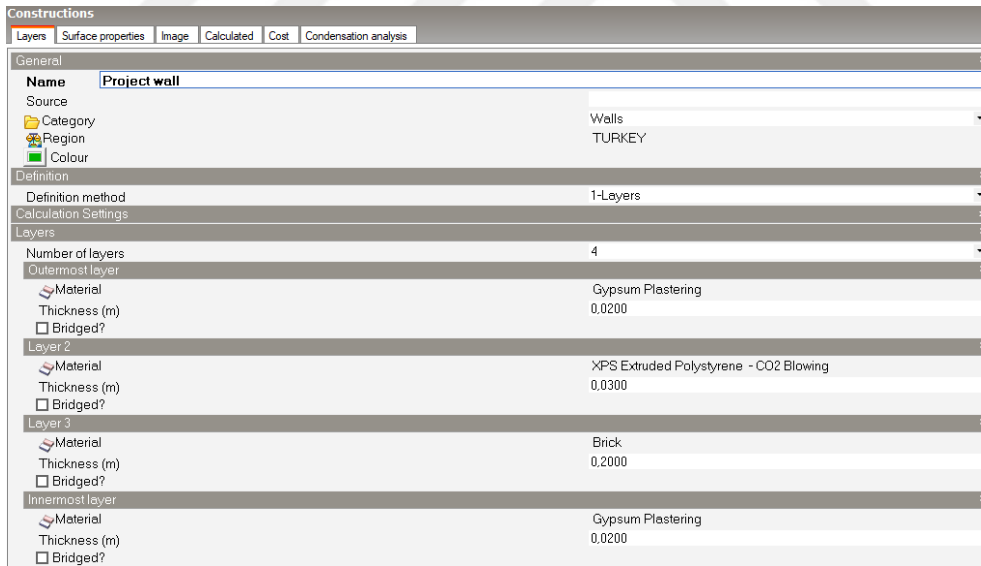
Şekil 111. Ankara ili için simüle edilen boş binanın saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 31. Ankara ili için simüle edilen boş binanın toplam enerji tüketimi

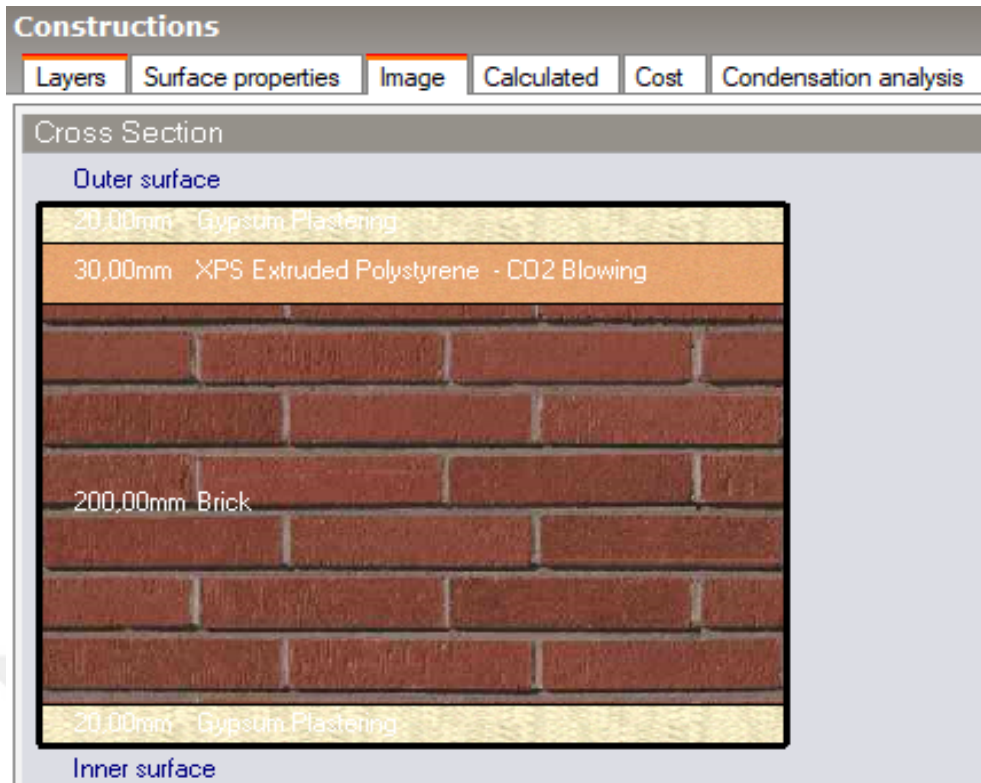
Yıllık Enerji Tüketimi		
Sistemler	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m ² yıl)
Soğutma Yükü	34855.98	51.63
Isıtma Yükü	37034.09	54.86
Aydınlatma ve Ekipman Yükü	39059.73	57.86
Sihhi Sıcak Su Yükü	2078.67	3.07
Toplam	113028.47	167.44

5.1.5. Ankara İli İçin Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri

Yapı tasarımlarında öncelikle iklim tipi buna bağlı olarak iklim şartları, konum, bina kabuğunda kullanılan bileşenler ve güneşlenme süresinin ısıtma soğutma yüklerine etki eden genel faktörler olduğunu belirterek İzmir ili için iyileştirmeler yapılmıştı. Boş bina simülasyonundaki sonuçlara göre Ankara ili için ısıtma yükü soğutma yükünden fazla olduğundan öncelikli ısıtma yükünü azaltıcı tedbirler alınmalıdır. Bununla birlikte soğutma yükü, ısıtma yüküne göre çok düşük bir değerde olmadığından alınacak önlemlerin soğutma yükünde yapacağı etki de ön planda tutulmalıdır. Bu doğrultuda mevcutta 20 cm tuğla, 2 cm iç sıva ve 2 cm dış sıva tasarımında oluşturulan bina, bina kabuğunda duvar dış yüzeyinde 3 cm ısı yalıtım malzemesi seçimi yapılarak simüle edilmiştir. Dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi Şekil 112’de, katman görünümü Şekil 113’te ve ısıl geçirgenlik değerleri Şekil 114’te gösterilmektedir. Yapılan simülasyon sonucunda Ankara iline ait aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 115’te, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 116’da, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 117’de gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 32’de kWh cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 112. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi



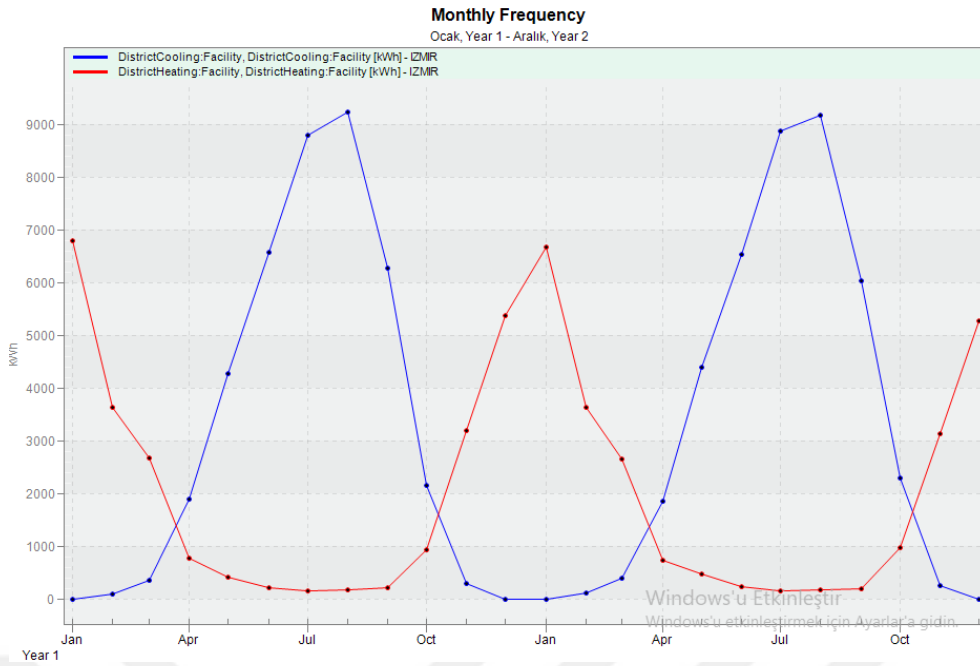
Şekil 113. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü

Constructions

Layers Surface properties Image Calculated Cost Condensation analysis

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	0,794
R-Value (m ² -K/W)	1,430
U-Value (W/m²-K)	0,699
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0,2700
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	149,0240
Upper resistance limit (m ² -K/W)	1,430
Lower resistance limit (m ² -K/W)	1,430
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	0,794
R-Value (m ² -K/W)	1,430
U-Value (W/m²-K)	0,699

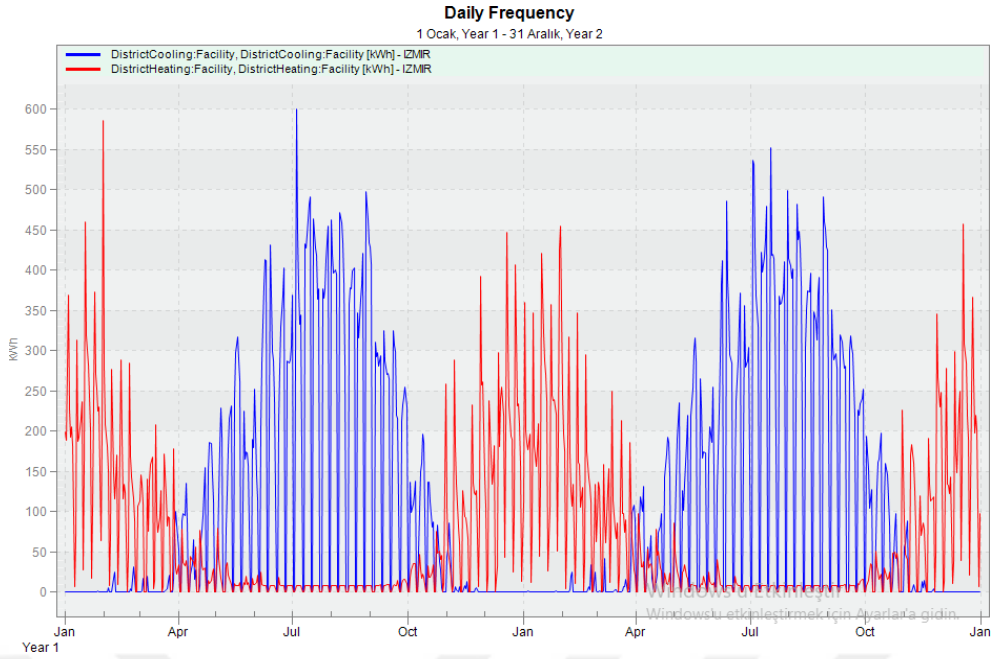
Şekil 114. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısı geçirgenlik değerleri



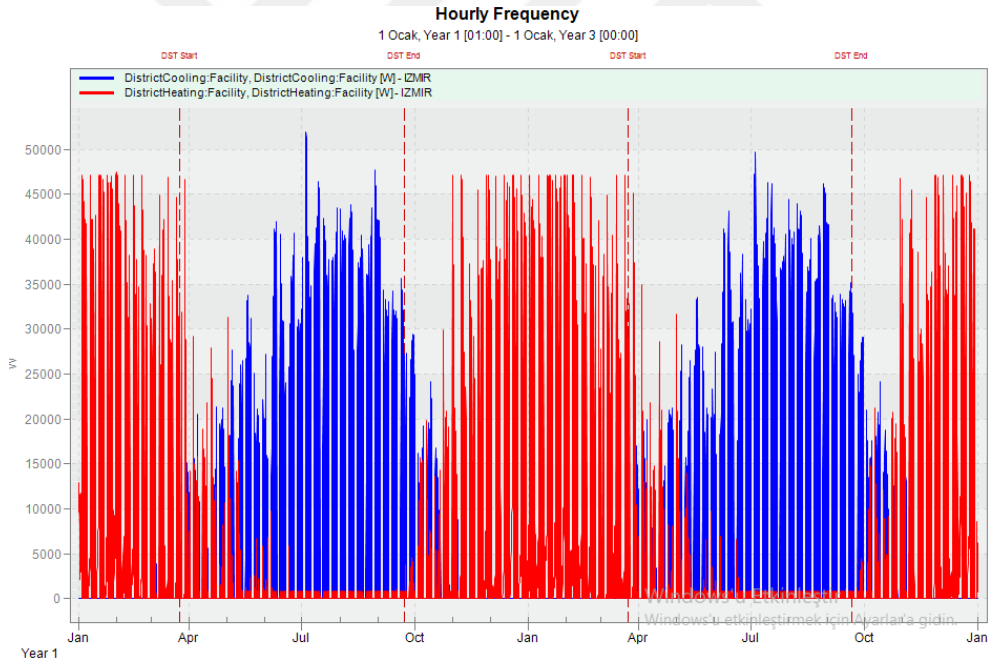
Şekil 115. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 32. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	3.12	6808.01
Şubat	101.45	3639.08
Mart	365.10	2684.90
Nisan	1903.96	782.35
Mayıs	4289.34	435.68
Haziran	6592.36	226.33
Temmuz	8792.41	166.50
Ağustos	9249.35	182.36
Eylül	6274.48	218.47
Ekim	2158.32	948.04
Kasım	297.30	3208.06
Aralık	0.18	5378.32
Toplam	40027.38	24678.10



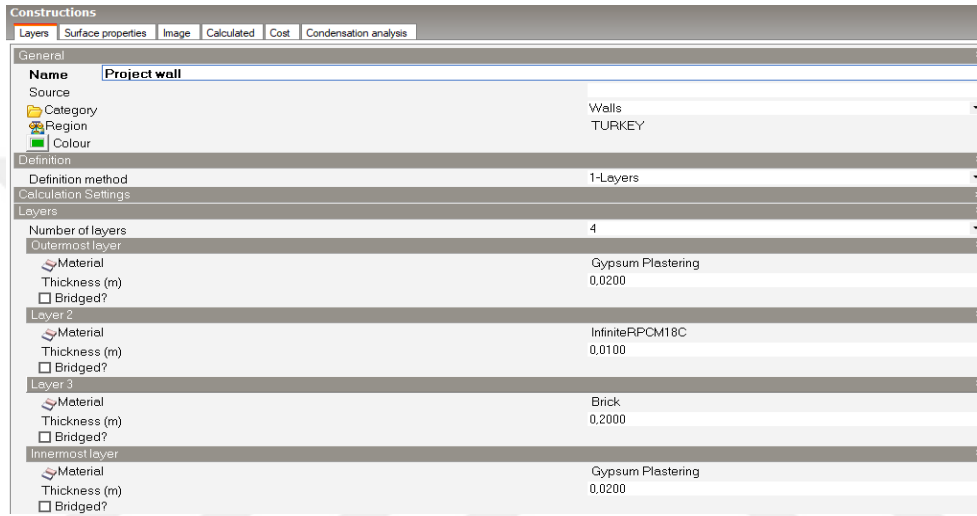
Şekil 116. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



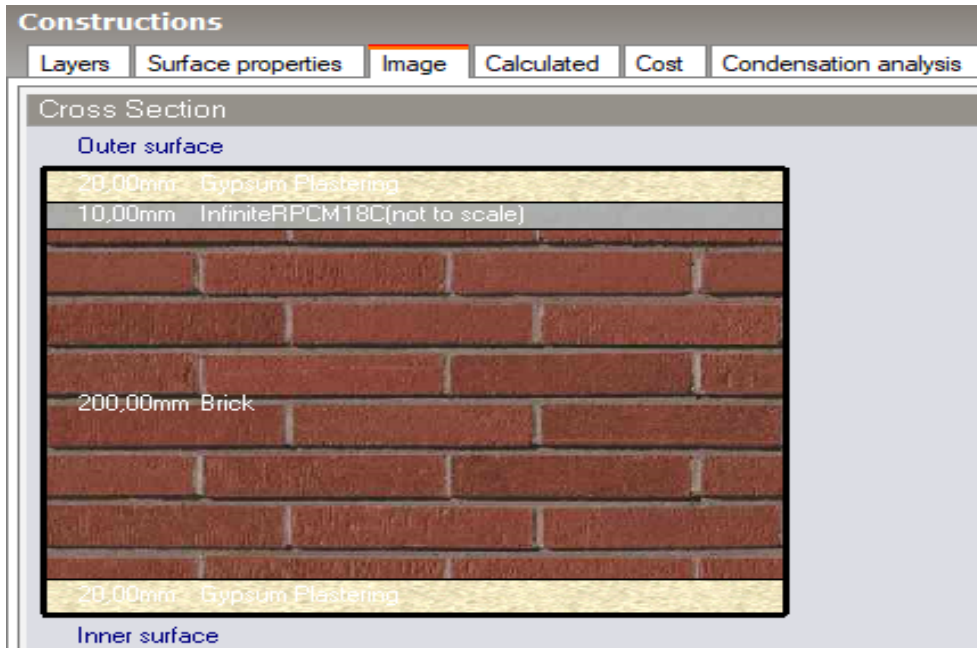
Şekil 117. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda Ankara ili için XPS yalıtım malzemesi ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $57.94 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ değerinden $36.56 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ değerine düşerek kazanım sağlanırken $51.63 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olan soğutma yükünün artarak $59.29 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ değerine yükseldiği gözlemlenmiştir.

Bina kabuğunda ısıtma ve soğutma yüklerini değiştiren temel çözümlerden biri de yalıtım malzemesi yerine ya da yalıtım malzemesi ile birlikte faz değiştiren malzeme kullanmaktır. XPS yalıtım malzemesi yerine faz değiştiren malzeme kullanımı ile simülasyon yapılmıştır. Dış duvarda FDM seçimi Şekil 118’de, katman görünümü Şekil 119’da ve ısıl geçirgenlik değerleri Şekil 120’de gösterilmektedir. Simülasyon sonucunda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 121’de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 122’de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 123’te gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 33’te gösterilmiştir.



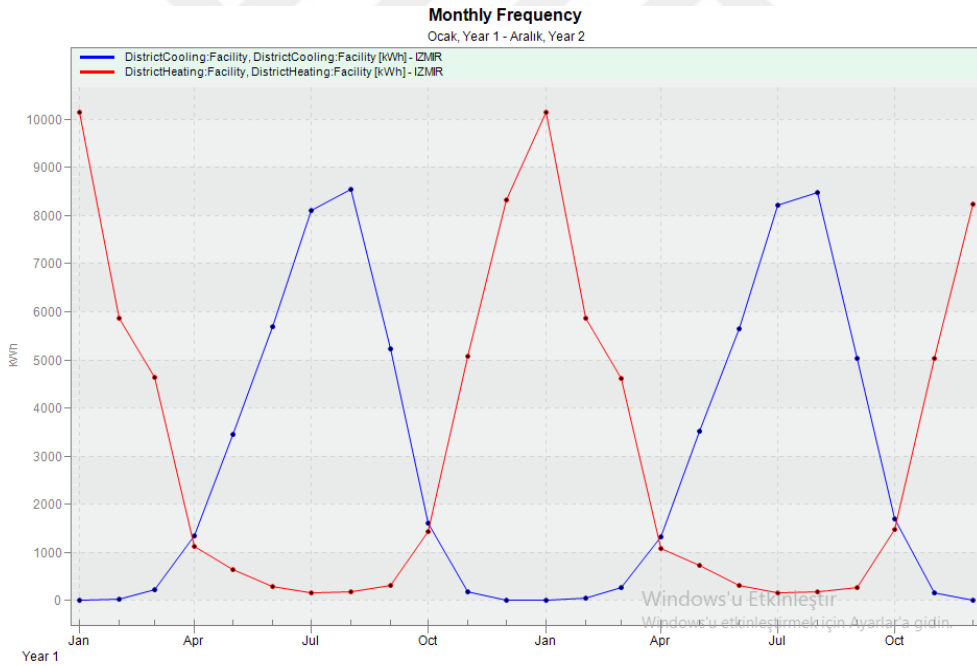
Şekil 118. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi



Şekil 119. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,130
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					2,564
R-Value (m ² -K/W)					0,560
U-Value (W/m²-K)					1,786
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,2500
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)					149,0240
Upper resistance limit (m ² -K/W)					0,560
Lower resistance limit (m ² -K/W)					0,560
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					2,564
R-Value (m ² -K/W)					0,560
U-Value (W/m²-K)					1,786

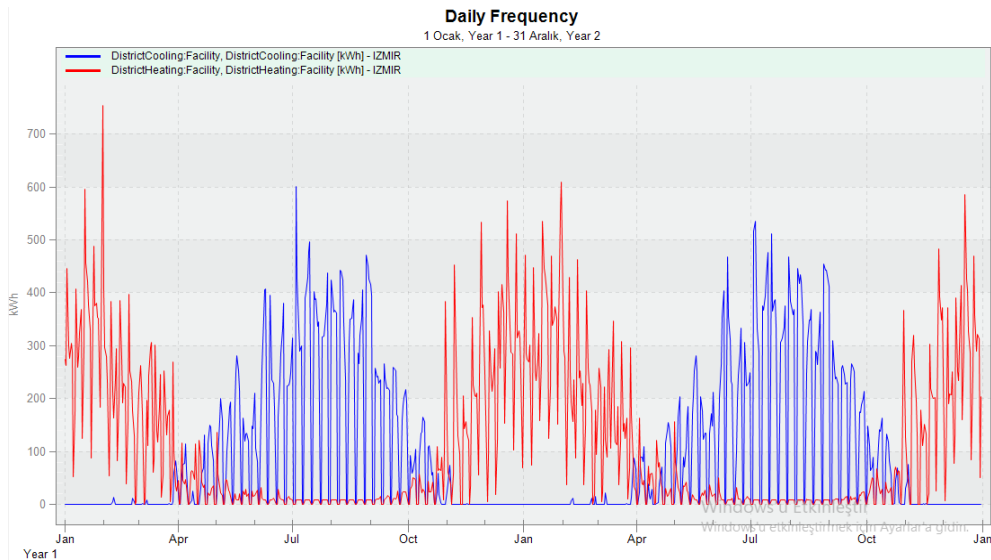
Şekil 120. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri



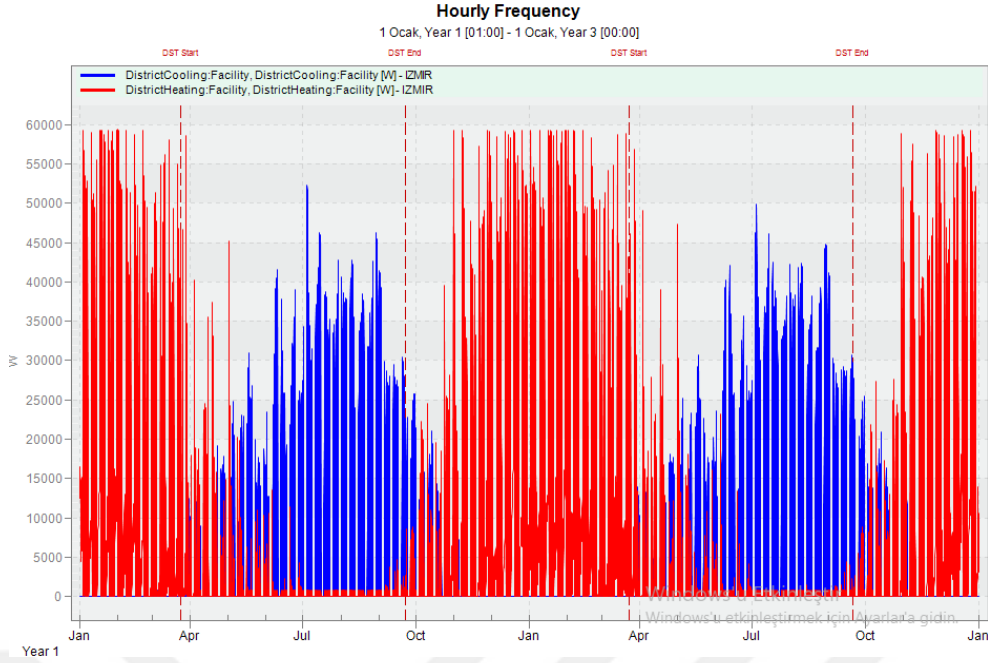
Şekil 121. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 33. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	0	10155.73
Şubat	35.11	5873.17
Mart	229.66	4634.53
Nisan	1350.18	1130.31
Mayıs	3460.29	642.97
Haziran	5694.89	291.80
Temmuz	8111.23	167.42
Ağustos	8543.10	184.75
Eylül	5239.42	315.53
Ekim	1607.38	1434.15
Kasım	187.74	5081.52
Aralık	0	8319.34
Toplam	34459	38231.22



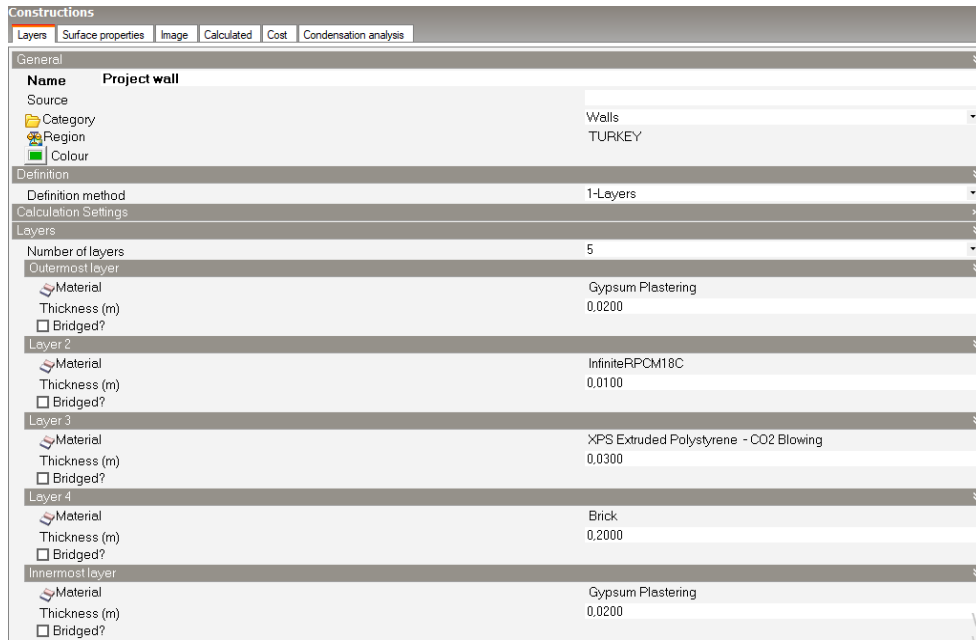
Şekil 122. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



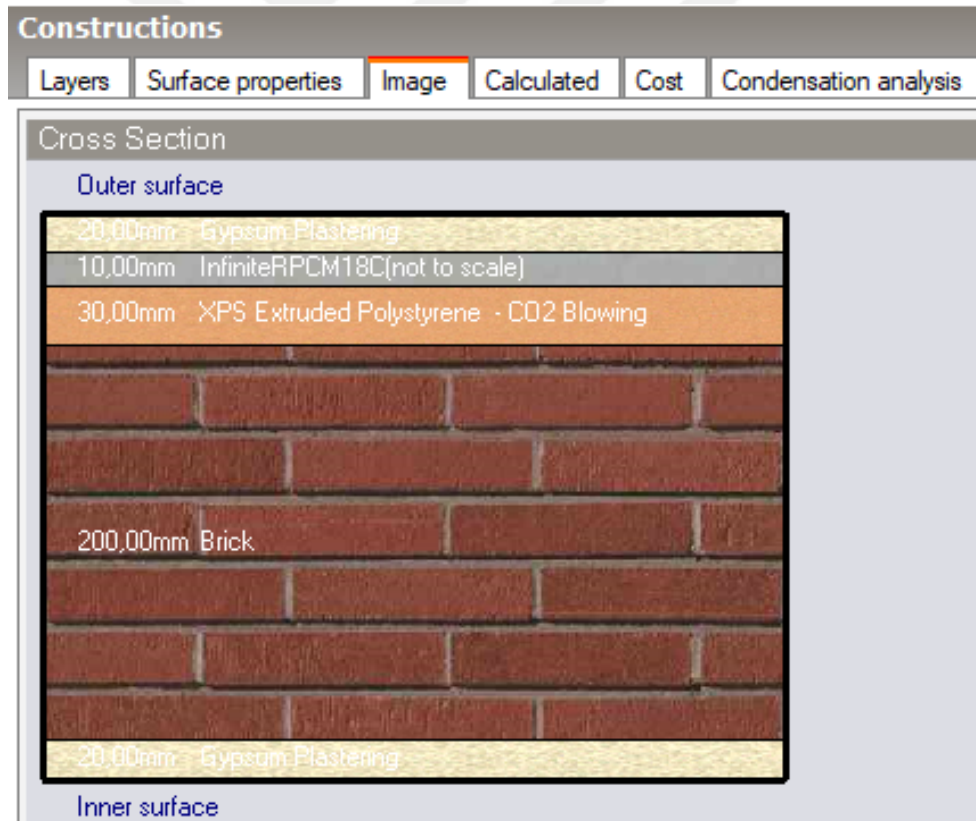
Şekil 123. Ankara ili için dış duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda Ankara ili için XPS yalıtım malzemesi yerine FDM ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $56.63 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu, soğutma yükünün $51.05 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu gözlemlenmiştir. Hem ısıtma hem soğutma yüklerinde tasarrufa olan etkisi çok düşük olduğundan yalıtımsız FDM kullanımının Ankara ilinde bu bina tasarımı için maliyet ve enerji etkin olmadığı görülmüştür.

Bir diğer çözüm yöntemi olarak yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme birlikte kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Şekil 124'te dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme seçimi, Şekil 125'te dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme seçimi katman görünümü, Şekil 126'da dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile faz değiştiren malzeme seçimi ısıl geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 127'de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 128'de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 129'da gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 34'te gösterilmiştir.



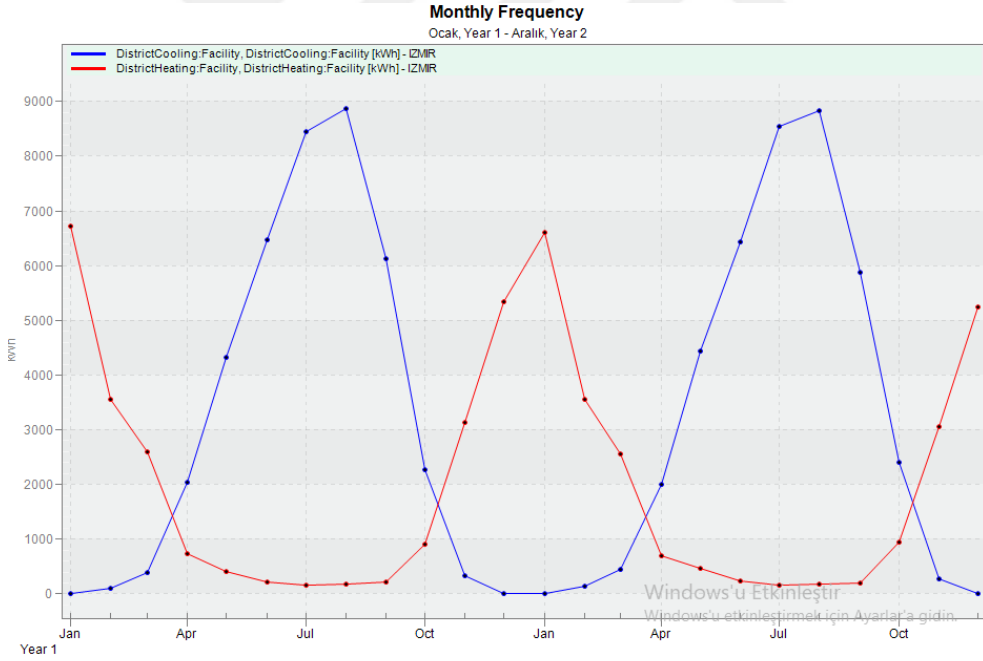
Şekil 124. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi



Şekil 125. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			2,152		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,540		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,130		
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)			19,870		
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)			5,130		
Surface resistance (m ² -K/W)			0,040		
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,786		
R-Value (m ² -K/W)			1,442		
U-Value (W/m²-K)			0,693		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)			0,2800		
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)			149,0240		
Upper resistance limit (m ² -K/W)			1,442		
Lower resistance limit (m ² -K/W)			1,442		
U-Value surface to surface (W/m ² -K)			0,786		
R-Value (m ² -K/W)			1,442		
U-Value (W/m²-K)			0,693		

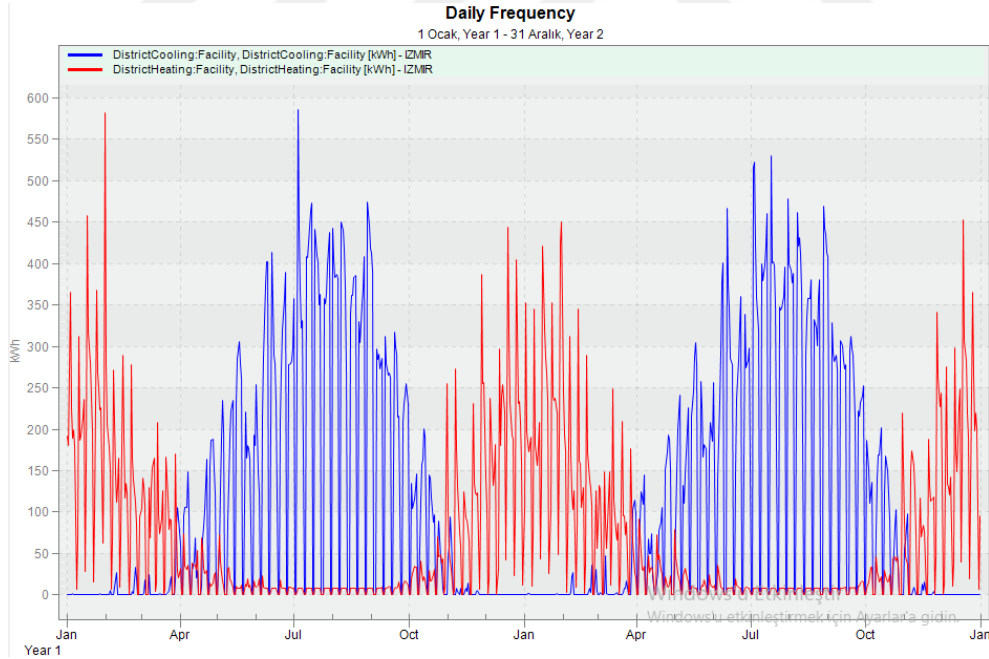
Şekil 126. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi ısıl geçirgenlik değerleri



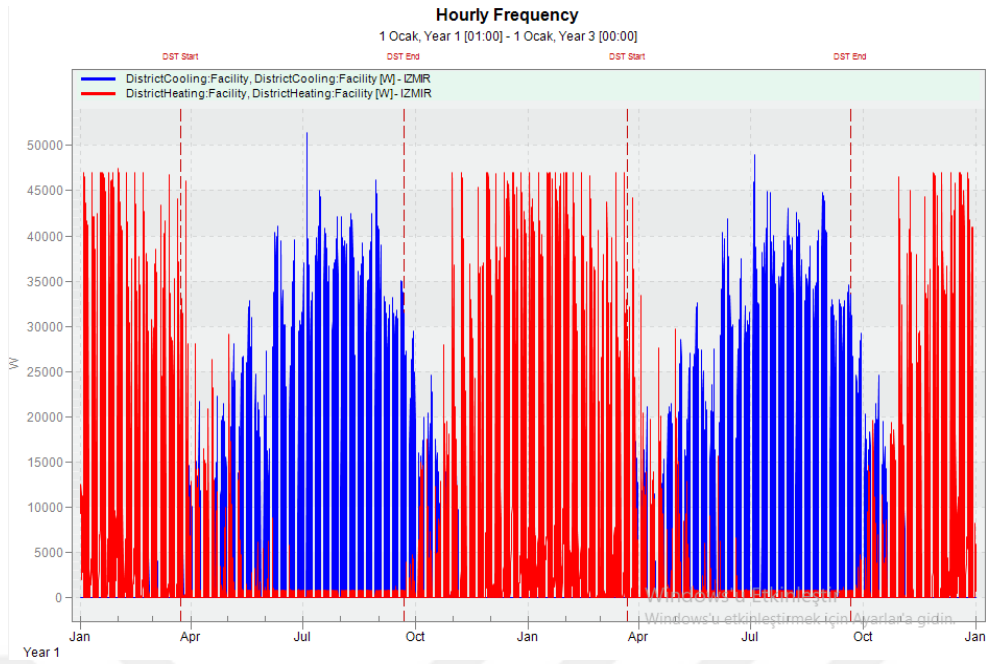
Şekil 127. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 34. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	3.60	6721.66
Şubat	111.72	3558.80
Mart	395.48	2597.13
Nisan	2034.07	731.23
Mayıs	4326.94	417.30
Haziran	6464.57	224.55
Temmuz	8457.32	166.03
Ağustos	8879.85	181.85
Eylül	6126.41	223.19
Ekim	2276.82	901.16
Kasım	326.09	3133.98
Aralık	0.16	5339.64
Toplam	39403.03	24196.52



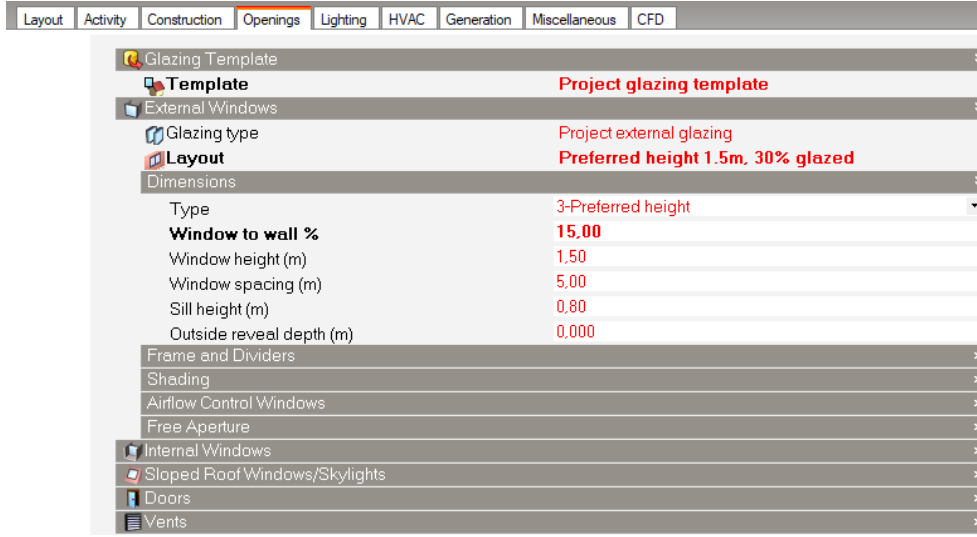
Şekil 128. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



Şekil 129. Ankara ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi ile FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda Ankara ili için XPS yalıtım malzemesi ve FDM birlikte kullanımı ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $35.84 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu, soğutma yükünün $58.37 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu gözlemlenmiştir. Hem ısıtma hem soğutma yüklerinde tasarrufa olan etkisi yalnızca yalıtım malzemesi kullanıldığında değerlerle karşılaştırıldığında XPS yalıtım malzemesi ve FDM birlikte kullanımının Ankara ilinde bu bina tasarımı için maliyet etkin olmadığı görülmüştür. Dolayısı ile bu simülasyonlar sonucunda yalnızca 3 cm XPS yalıtım malzemesi ile bina kabuğunda tasarım yapılması uygun görülmüştür.

Bina kabuğunda uygulanabilecek çözümler arasında pencere duvar oranının azaltılmasının ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin düşmesine sebep olduğu İzmir için yapılan çalışmada görülmüştü. Ankara ili için de pencere duvar oranı %15'e indirilerek simülasyon yapılmıştır. Şekil 130'da pencere duvar oranı seçimi gösterilmektedir. Simülasyon sonucunda pencere duvar oranının yük değerlerine etkisi Tablo 35'te gösterilmiştir.



Şekil 130. Ankara ili için pencere duvar oranı seçimi

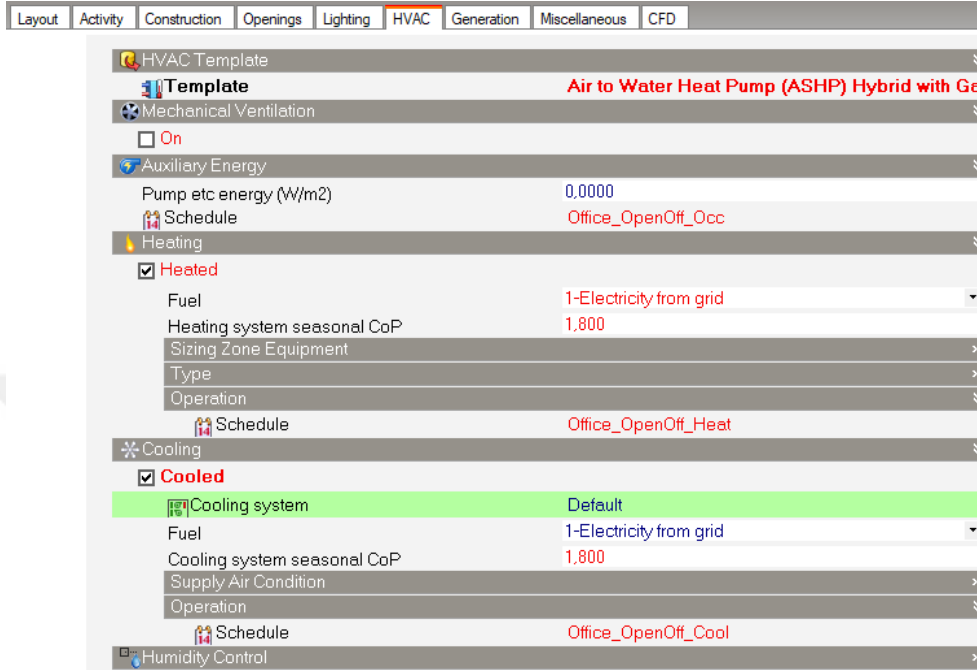
Tablo 35. Ankara ili için pencere duvar oranının yük değerlerine etkisi

	Pencere/Duvar Oranı 15%	Pencere/Duvar Oranı 30%
Isıtma Yüğü (kWh/m ² yıl)	38.59	36.56
Soğutma Yüğü (kWh/m ² yıl)	41.50	59.29
Aydınlatma Yüğü (kWh)	57.38	57.38

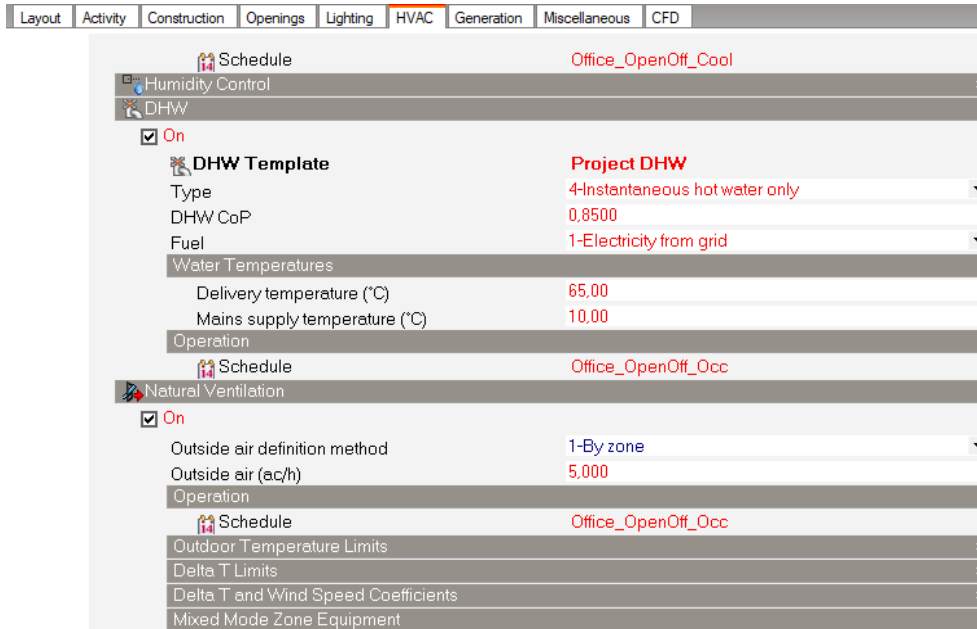
Pencere duvar oranının azaltılmasının ısıtma yükünde bir miktar yükselmeye sebebiyet verdiği görünse de soğutma yükünde ciddi bir azalma sağladığı belirlenmiştir. Enerji etkin bina tasarımında iklim tipine göre ısıtma yükünü ya da soğutma yükünü azaltıcı tasarımlara odaklanırken diğer taraftan optimizasyonun sağlanması önem arz etmektedir. Ankara ili için ısı yalıtımı ısıtma yükünde ciddi oranda azalma sağlarken yapılan iyileştirmelerde soğutma yükünde yeterince tasarruf sağlanmadığı gözükmektedir. Pencere duvar oranının azaltılması ile bu kez ısıtma yükünde bir miktar artış olsa da soğutma yükündeki tasarrufta etkin olduğu görünmektedir. Dolayısıyla uygulanacak önlemler arasında pencere duvar oranının azaltılması bulunmaktadır.

Enerji etkin bir tasarım için alınan önlemlerde bir sonraki adım ise, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırılması gibi işlemleri iklim koşullarına ve bina yapısına uygun çözümler içeren yüksek verimli mekanik bir sistem ile karşılamaktır. Günümüzde artan COP değerleri ile kullanımı yaygınlaşan ısı pompaları bu çalışmada Ankara ili için de tercih edilerek havadan suya kaynaklı ısı pompası seçimi ile simülasyon yapılmıştır. İhtiyaç olan sıhhi sıcak su yükü de ısı pompasından sağlanacak şekilde seçim yapılarak tasarım simüle edilmiştir. Şekil 131’de ısı pompası seçimi ve Şekil 132’de sıcak su ihtiyacının ısı pompasından sağlanması seçimi gösterilmiştir. Isıtma sisteminde havadan

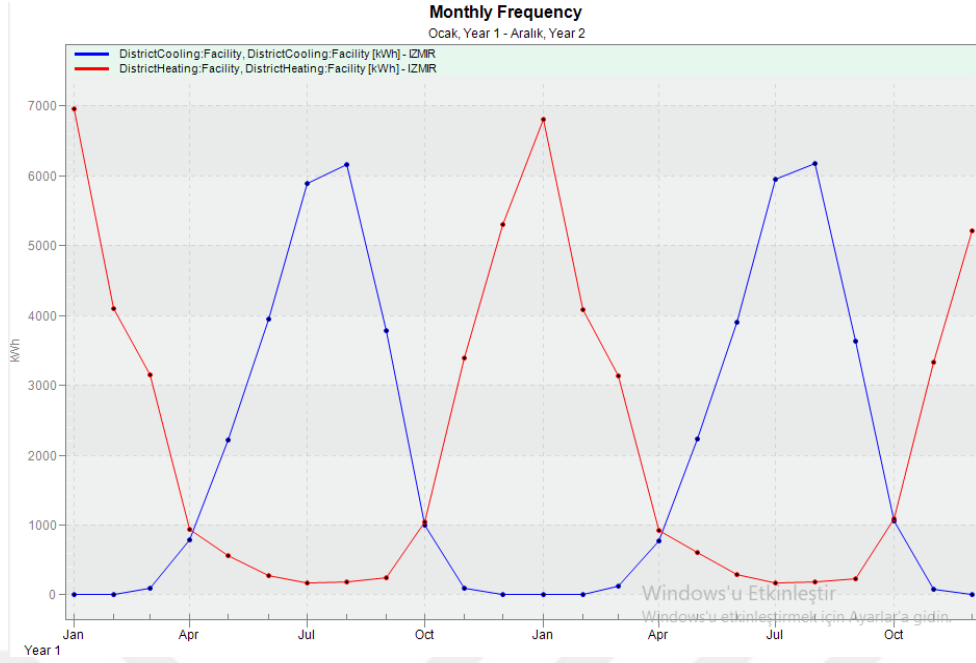
suya kaynaklı ısı pompası seçimi yapılan simülasyonda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 133'te, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 134'te, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 135'te ve aylık ısıtma soğutma yükü tablo değerleri Tablo 36'da gösterilmiştir.



Şekil 131. Ankara ili için HVAC sistem seçimi



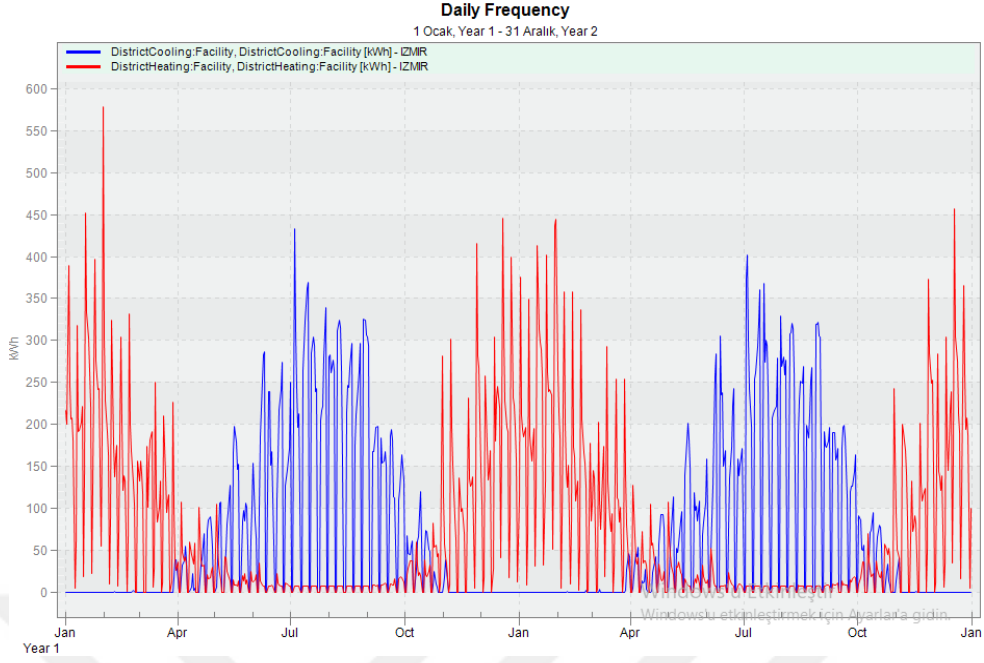
Şekil 132. Ankara ili için sıcak su sistemi seçimi



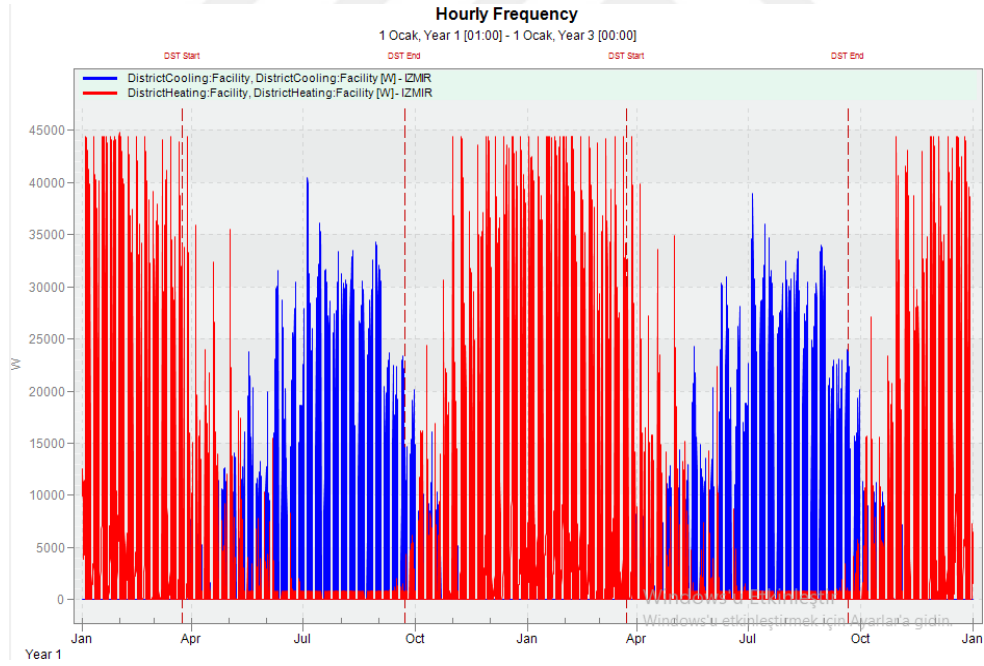
Şekil 133. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 36. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	0	6966.32
Şubat	4.92	4095.43
Mart	98.75	3158.02
Nisan	782.90	934.89
Mayıs	2211.59	555.41
Haziran	3945.57	268.98
Temmuz	5891.63	166.50
Ağustos	6157.64	183.08
Eylül	3785.21	252.98
Ekim	999.45	1037.87
Kasım	94.62	3392.24
Aralık	0	5298.91
Toplam	23972.28	26310.63



Şekil 134. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği

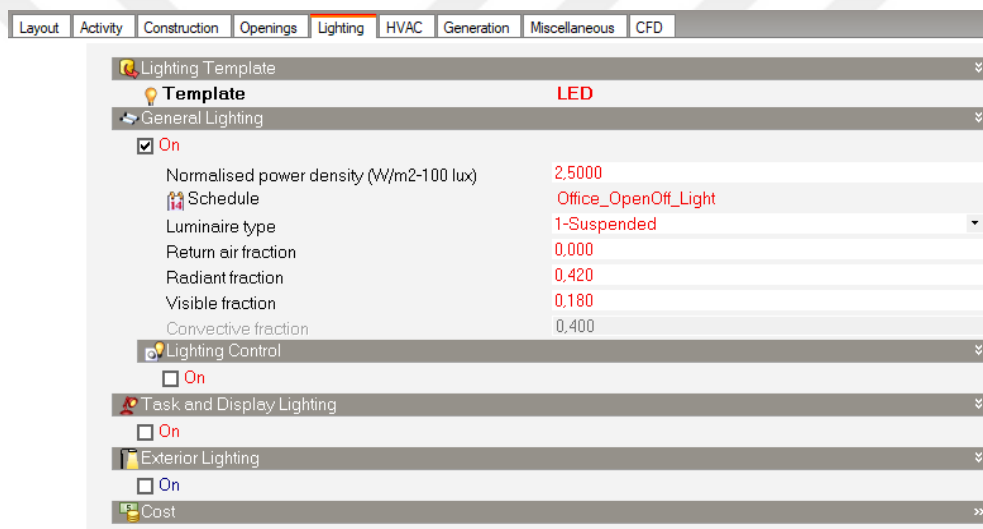


Şekil 135. Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda Ankara ili için HVAC sistemde ısı pompası kullanımı ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $38.97 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu, soğutma yükünün $35.51 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu gözlemlenmiştir. Hem ısıtma hem soğutma yüklerinde tasarrufa olan etkisinin yanında yenilenebilir enerji statüsünde bulunduğundan HVAC

sistemde ısı pompası kullanımının hem maliyet hem enerji etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca İzmir ilinde olduğu gibi Ankara ili için de sıcak su yükünün ısı pompasından sağlanabilecek olması nedeniyle burada yapılacak ayrı bir tasarruf çözümünün maliyetinin de önüne geçtiği sonucuna varılmaktadır.

Binalarda harcanan enerjinin büyük bir kısmının da aydınlatma için harcandığı bilinmektedir. Dolayısıyla aydınlatma ekipmanlarında yapılacak iyileştirmeler aydınlatma yükünü azaltacağından toplam enerji miktarında da önemli oranda tasarruf sağlamaktadır. Tasarımı yapılan binada aydınlatma ekipmanlarında LED armatürler kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi Şekil 136'da ve bu seçimin aydınlatma yükü değerine etkisi Tablo 37'de gösterilmektedir.



Şekil 136. Ankara ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi

Tablo 37. Ankara ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi aydınlatma yükü değerleri

	Boş Bina LED Armatür Kullanımı	
Aydınlatma ve Ekipman Yükü (kWh)	39059.73	7738.67

Sıfır enerjili bina yaklaşımında İzmir ilinde olduğu gibi yapılan seçimlerin optimum dengede tasarruf etkisi yapması baz alınmıştır. Yani bina kabuğunda yapılan değişiklikler, HVAC sistem seçimleri, aydınlatma ve elektrikli ekipmanlarda yapılan seçimler ve diğer tasarımlar enerji etkin bina tasarımında genel toplamda maliyet etkinliği de baz alınarak optimum tasarrufu sağlamakta ise sıfır enerjili bina yaklaşımı tasarımına dahil edilmiştir. Enerji etkinlik ve maliyet etkinlik birlikte düşünüldüğünde yapılan farklı tasarım simülasyonları sonucunda dış yüzeyde XPS yalıtım malzemesi

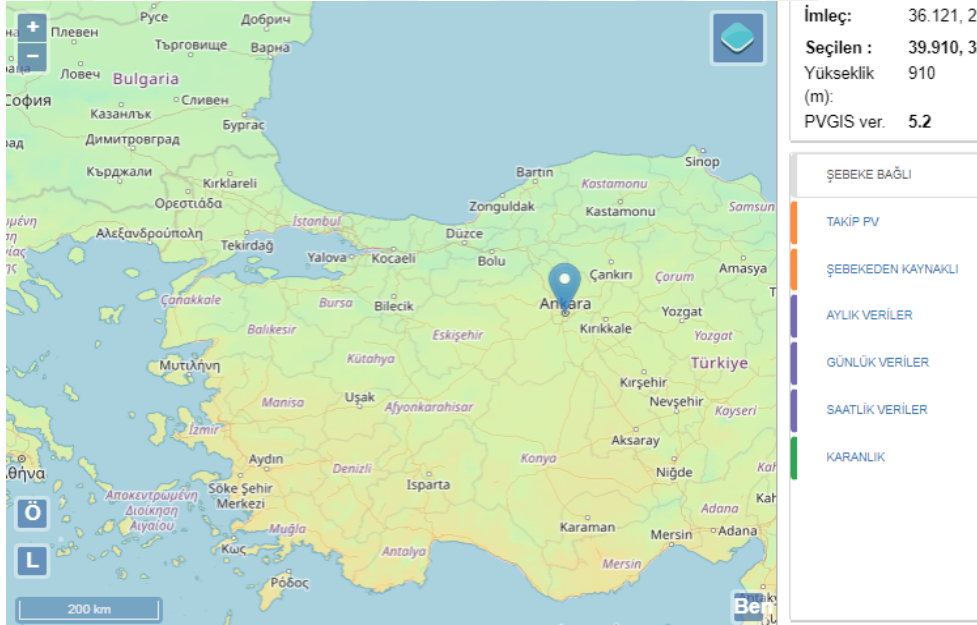
kullanılması, pencere duvar oranının azaltılması, HVAC sistemlerde ısı pompasının kullanılması ve sıcak su ihtiyacının da ısı pompasından sağlanması ve aydınlatma LED armatürler kullanılması sonucuna varılmıştır. Diğer tüm çözümler enerji etkinlik ve maliyet etkinlik noktasında optimum değerleri sağlamadığından sıfır enerjili bina tasarımına dahil edilmemiştir. Bu kapsamda Ankara ili için, boş bina enerji yükleri ile enerji etkin binanın son haldeki kıyaslamaları Tablo 38'de sunulmuştur.

Tablo 38. Ankara ili için pasif ve aktif çözümlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine etkisi

Pasif ve Aktif Çözümler	Soğutma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf	Isıtma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf	Aydınlatma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf
Boş Bina	51.63	↓	57.94	↓	57.86	↓
Dış yüzeyde XPS yalıtım kullanımı						
Pencere/duvar oranı azaltımı						
HVAC sistemde ısı pompası kullanımı	35.51	50%	38.97	39%	11.46	80%
Aydınlatmada LED armatür kullanımı						

Sonuç olarak referans binanın herhangi bir tasarım değişikliği yapılmadan ya da önlem alınmadan önce yıllık birincil enerji tüketimi 167.43 kWh/m²yıl olarak belirlenmişti. Ankara şehrinin bulunduğu koşullara özgün çözüm tasarımları ile birlikte yıllık birincil enerji tüketimi 85.94 kWh/m²yıl'dır. Bu çalışma sonucu Ankara ilindeki örnek binada 81.49 kWh/m²yıl tasarruf yapılarak % 49 oranında tasarruf sağlanmıştır. Sıcak su ihtiyacı için gereken enerji HVAC sistem seçiminde tercih edilen ısı pompasına entegre edilen sıcak su kazanı ile sağlanabilmektedir. HVAC sistem seçiminde ısı pompası tercih edildiğinden ve maliyet etkin bir tasarım olması açısından sıcak su ihtiyacı için İzmir ilinde olduğu gibi ayrıca bir güneş kolektörü seçimi yapılmasına gerek duyulmamıştır.

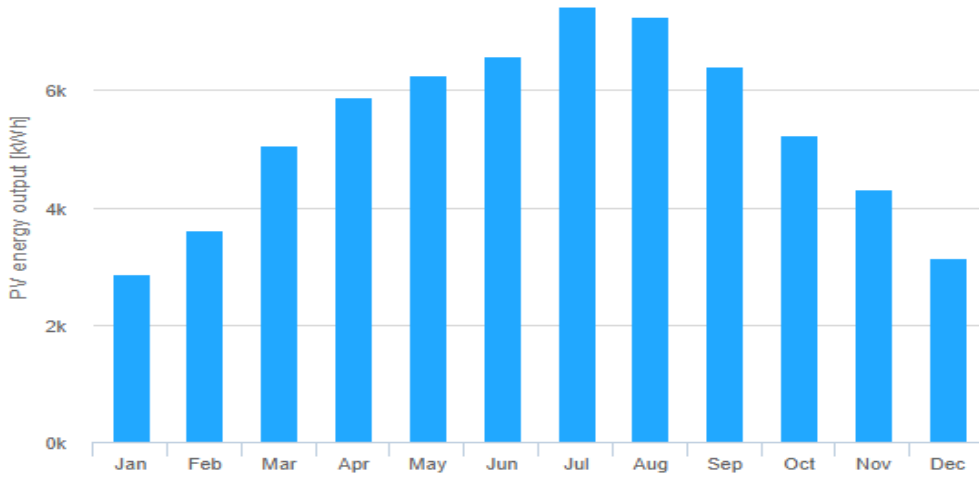
Çalışmanın bu kısmında etkili bir yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisi ele alınarak sıfır enerjili bina ya da yaklaşık sıfır enerjili bina hedefine yaklaşım belirlenecektir. Çatı üzerine yerleştirilecek fotovoltaik sistem için hesaplamalarda yine PVGIS simülasyon programı kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlarda İzmir ilinde de olduğu gibi üretilebilecek maksimum enerjinin sıfır enerjili bina statüsüne uyabilmesi için yeterliliği araştırılmış ve bu yeterliliğin mümkün olması durumunda maliyet etkinlik de göz önünde bulundurularak kullanılabilir minimum panel sayısı hesaplanmıştır. PVGIS simülasyon programında lokasyon seçimi Şekil 137’de, 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri Şekil 138’de, 30° panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 139’da ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 39’da gösterilmektedir. Aynı lokasyon için optimum panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 140’ta ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 40’ta gösterilmektedir.



Şekil 137. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında yapılan lokasyon seçimi

Güneş radyasyonu veritabanı *	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi *	Kristalin silikon
Kurulu tepe PV gücü [kWp] *	44
Sistem kaybı [%] *	14
Sabit montaj seçenekleri	
Montaj konumu *	Bağımsız
Eğim [°] *	30
	<input type="checkbox"/> Eğimi optimize edin

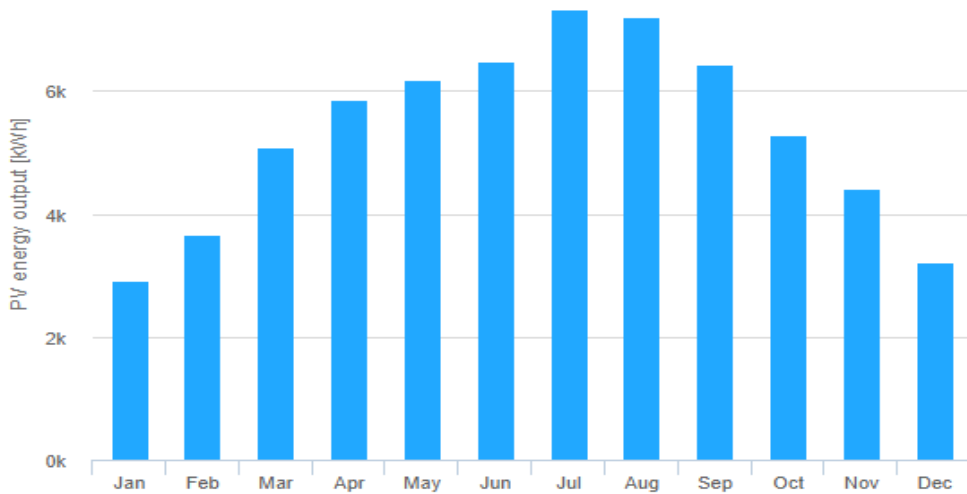
Şekil 138. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri



Şekil 139. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 39. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	39.934,32.853
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı (%)	14
Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	30
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	63986.81
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	1872.71
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	2259.90



Şekil 140. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 40. Ankara ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	39.934,32.853
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı (%)	14

Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	33 (optimum)
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	64067.39
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	1874.66
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	2302.10

Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum panel sayısının kullanılması durumunda çatı yüzeyine paralel 30° panel eğim açısı ile yapılan simülasyonda binanın ihtiyacı olan enerji ihtiyacının tümünün karşılanabildiği ve ihtiyaç olan enerjiden daha fazlasının üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat çalışmanın enerji ve aynı zamanda maliyet etkin bir çalışma olması nedeniyle tasarımı yapılan binada ihtiyaç olan 85.94 kWh/m²yıl enerji üretimi için 73 adet panel kullanımının yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 73 adet 550 Wp fotovoltaik panel ile üretilecek 86.50 kWh/m²yıl enerji, tasarımı yapılan ofis binasının ihtiyacı olan 85.94 kWh/m²yıl enerjinin tümünü karşılayacağından tasarımı yapılan bina net sıfır enerjili bina tanımına uymaktadır.

5.1.6. Ankara İli Enerji Etkin Bina İçin Ekonomik Analiz

Ekonomik analizin yapılmasının temel amacı, tasarlanan ve sunulan çözüm paketlerinin maliyet etkinliğinin ve geri ödeme süresinin hesaplanmasıdır. Maliyeti oluşturan temel bileşenler arasında XPS yalıtım maliyeti, mekanik sistem maliyeti (yerden ısıtma sistemi, ısı pompası ve ısı pompasına entegre sıcak su kazanı sistemi), aydınlatma ekipmanları maliyeti ve güneş enerjisi için fotovoltaik sistem maliyeti söz konusudur.

Maliyet için kullanılacak birim fiyat listeleri dolar bazında DesignBuilder Simülasyon programı ve alanında hizmet veren firmalarla yapılan görüşmelerin ortalamalarından alınmıştır. Elektrik birim fiyatı yetkili elektrik dağıtım firmalarından alınmıştır ve dolar kuru dönüşümünde 2023 yılı yıllık ortalama kur olan 23.29 TL

olarak hesaba dahil edilmiştir. Maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi Tablo 41’de gösterilmektedir.

Tablo 41. Ankara ili maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi

Malzeme	Birim Fiyat
Birim Alan İçin (m ²) XPS Yalıtım Uygulama Fiyatı	20 \$
Birim Alan İçin (m ²) HVAC Sistem Kurulum Fiyatı	50 \$
Birim Alan İçin (m ²) Aydınlatma Ekipman Fiyatı	15 \$
1 kWp Fotovoltaik Sistem Kurulum Fiyatı	645 \$
1 kWh Elektrik Fiyatı	0,11 \$

Ankara ili için tasarımları yapılan binanın tasarlanan sistemler için genel maliyet tablosu Tablo 42’de verilmiştir.

Tablo 42. Ankara ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırım maliyeti

Malzeme	Birim Fiyat	Uygulama Alanı	Toplam Maliyet
XPS Yalıtım Malzemesi	20 (\$/m ²)	460 (m ²)	9200 \$
HVAC Sistem Kurulumu	50 (\$/m ²)	675 (m ²)	33750 \$
Aydınlatmada Tasarruflu (LED) Ekipmanlar	15 (\$/m ²)	675 (m ²)	10125 \$
Fotovoltaik Sistem Kurulumu	645 (\$/kWp)	40.15 (kWp)	25900 \$
Genel Toplam			78975 \$

Sunulan çözümlerde ilk kurulum maliyetinden sonra işletme ve bakım maliyetleri bulunmaktadır. İlgili işletme giderleri ve bakım maliyetleri de İzmir ilinde olduğu gibi alanında hizmet veren firmalardan ortalama olarak alındığında; ısı pompası için yılda iki kez olmak üzere 150\$ birim fiyatı, mekanik tesisatlarda su analizi ve yıkama işlemlerinin yapılması için yılda bir kez olmak üzere 110\$ birim fiyatı, fotovoltaik sistemde yılda iki kez olmak üzere panellerin yıkanması ve elektrik devrelerinin kontrolleri için panel başı 2.5\$ birim fiyatı bulunmaktadır. Bu bilgiler taban alınarak tasarımı yapılan binanın yıllık ortalama işletme ve bakım maliyetleri Tablo 43’te gösterilmiştir.

Tablo 43. Ankara ili için sıfır enerjili bina işletme ve bakım maliyet yıllık giderleri

Malzeme	Bakım Birim Fiyat	Toplam Maliyet
Isı Pompası bakım giderleri (Yılda iki kez)	150 (\$/sistem)	300 \$
Mekanik tesisat bakım giderleri (Yılda bir kez)	110 (\$/sistem)	110 \$
Fotovoltaik sistem bakım giderleri (Yılda iki kez)	2.5 (\$/Panel)	365 \$
	Genel Toplam	775 \$

Sunulan çözümlerin ve tasarlanan sistemin uygulanmasının rasyonel olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla ekonomik analiz yöntemlerinden Net Bugünkü Değer Yöntemi kullanılarak (Eşitlik 16);

$$NBD = GBD - MBD$$

$$NBD = A (F/A; \%i, n) - C$$

(Eşitlik 16)

Bu eşitlikte;

NBD : Net Bugünkü Değer, \$

GBD : Gelirlerin Bugünkü Değeri, \$

MBD : Malyetlerin Bugünkü Değeri, \$

Projenin kabul edilebilmesi için bulunan değerın sıfırdan büyük (pozitif) olması gerekir.

P : Paranın şimdiki değeri

F : Paranın gelecekteki değeri

A : n dönem devam eden düzgün artan serilerde dönem sonu değeri

i : Faiz Oranı, %

n : Faiz dönem sayısı

C : İlk yatırım maliyeti

İskonto oranı %9 olup, ilk yatırım maliyeti de hesaplandığı üzere denkleme yerleştirildiğinde;

$$NBD = 36312\$$$

Yatırımın ekonomik ömrünün 25 yıl olduğu bilindiğinden Tablo 44'te yatırımın enfloşyan bazlı yıllara göre getirisi gösterilmiştir.

Tablo 44. Ankara ili için sıfır enerjili bina yatırımının yıllara göre enflasyon bazlı getirisi

Yıl	Elektrik Giderleri Tasarruf	Bakım Giderleri	Toplam Getiri
1	\$12432.00	\$775.00	\$11657.00
2	\$13675.20	\$852.50	\$12822.70
3	\$15042.72	\$937.75	\$14104.97
4	\$16546.99	\$1031.53	\$15515.47
5	\$18201.69	\$1134.68	\$17067.01
6	\$20021.86	\$1248.15	\$18773.72
7	\$22024.05	\$1372.96	\$20651.09
8	\$24226.45	\$1510.26	\$22716.20
9	\$26649.10	\$1661.28	\$24987.81
10	\$29314.01	\$1827.41	\$27486.60
11	\$32245.41	\$2010.15	\$30235.26
12	\$35469.95	\$2211.17	\$33258.78
13	\$39016.94	\$2432.28	\$36584.66
14	\$42918.64	\$2675.51	\$40243.13
15	\$47210.50	\$2943.06	\$44267.44
16	\$51931.55	\$3237.37	\$48694.18
17	\$57124.70	\$3561.10	\$53563.60
18	\$62837.17	\$3917.21	\$58919.96
19	\$69120.89	\$4308.94	\$64811.96
20	\$76032.98	\$4739.83	\$71293.15
21	\$83636.28	\$5213.81	\$78422.47
22	\$91999.91	\$5735.19	\$86264.71
23	\$10119.90	\$6308.71	\$94891.18
24	\$111319.89	\$6939.58	\$104380.30
25	\$122451.88	\$7633.54	\$114818.33

Gerçek Ödeme Süresi (GÖS) kullanılarak sistemin kendini amorti edeceği zaman aralığı ayrıca hesaplanmıştır. Eşitlik 20 ve Eşitlik 21’de belirtildiği üzere;

$$G\ddot{O}S = \dot{I}Y/NA$$

(Eşitlik 20)

GÖS :Yatırım geri ödeme süresi

İY :İlk yatırım

NA :Dönem başına nakit akışı

Eğer nakit akışı düzenli değil ise;

$$G\ddot{O}S = \sum G\ddot{O}S + (YNG\ddot{O}S/TYNA)$$

(Eşitlik 21)

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yılın başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

Değerler ilgili denklemlerde yerine konulduğunda;

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 78975\$$$

$$\text{Dönem başı nakit akışı} = (113018 \text{ kWh/yıl})(0.11\$/\text{kWh})$$

$$G\ddot{O}S = 78975\$/12432\$$$

$$G\ddot{O}S = 6.35 \text{ yıl}$$

Fakat yıllara göre elektrik tüketim fiyatları ve bakım işletme giderleri sabit olmadığından nakit akışının düzenli olmayacağı bilinmektedir. Geçmiş yıllar TÜİK enflasyon ortalamaları baz alınarak, sonraki yıllar için ortalama enflasyon oranı %10 olarak hesaba dahil edilmiştir.Bu doğrultuda yapılan hesapta;

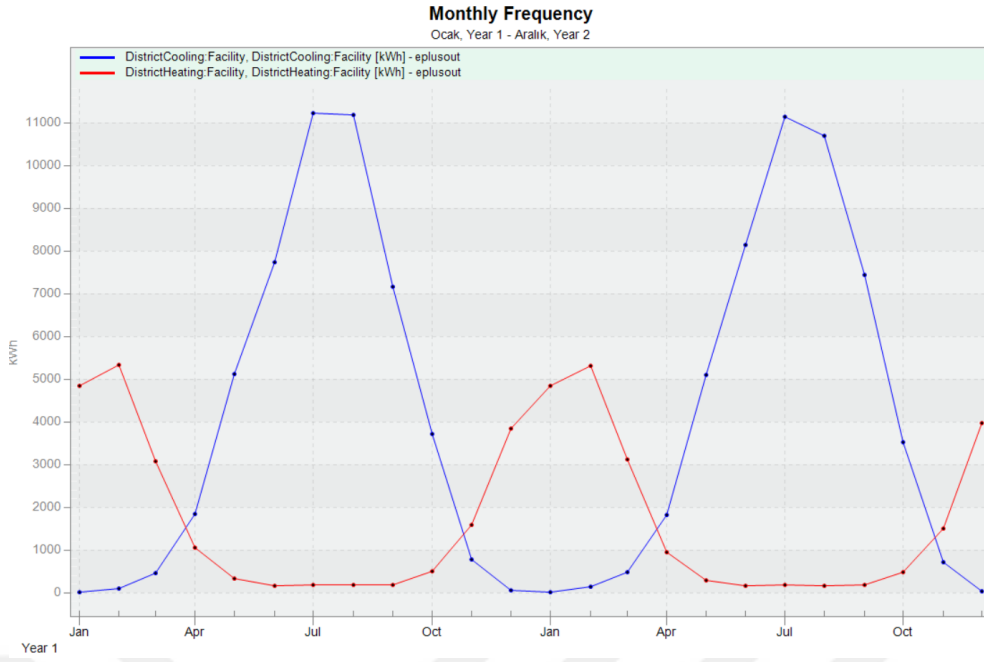
$$G\ddot{O}S = \sum G\ddot{O}S + (YNG\ddot{O}S/TYNA)$$

(Eşitlik 21)

$$G\ddot{O}S = 5.25 \text{ yıl}$$

5.1.7. İstanbul İli İçin İyileştirme Öncesi Isıtma ve Soğutma Yükleri

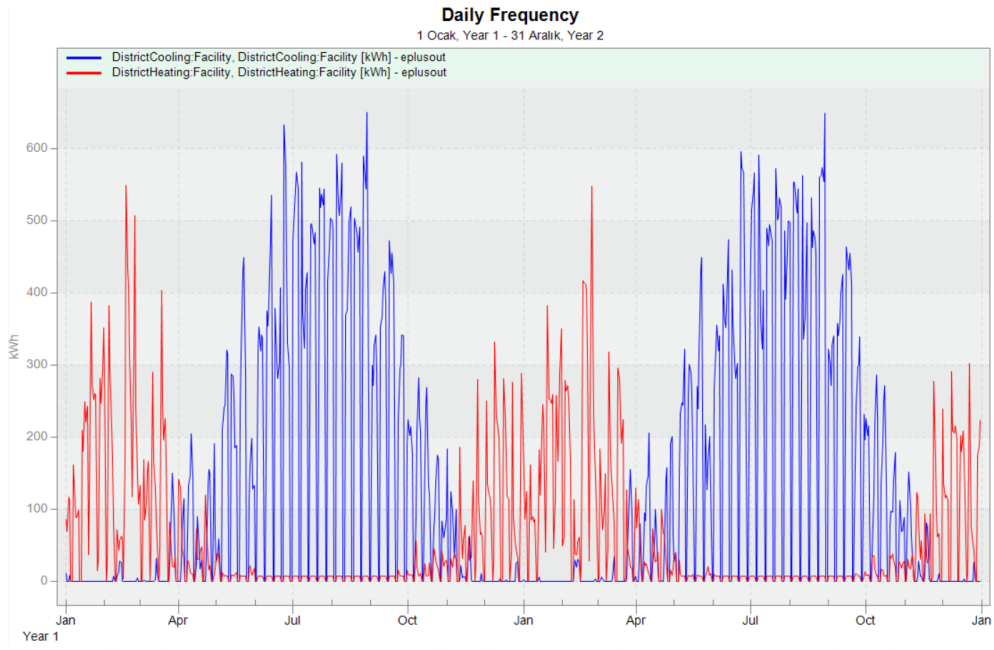
Farklı iklim tipleri için aynı yapısal özelliklerle tasarlanan bina İstanbul ilinde henüz iyileştirmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gerçekleşmeden önce simüle edildiğinde soğutma yükünün ısıtma yükünden fazla olduğu görülmüştür. EnergyPlus programı kullanılarak simülasyonla elde edilen verilerde toplam yıllık ısıtma yükünün 21265.31 kWh, toplam yıllık soğutma yükünün ise 49423.93 kWh olduğu görülmektedir. Bina toplam alanı 675 m² olduğundan bu değerler toplam alana bölünerek m² başına düşen yıllık ortalama ısıtma yükünün 31.50 kWh/m²yıl olduğu ve m² başına düşen yıllık ortalama soğutma yükünün 73.22 kWh/m²yıl olduğu belirlenmiştir. Aylık, günlük ve saatlik analizler yapılarak grafikler ve tablolarla elde edilen değerler iyileştirmeler sonucunda elde edilecek değerlerle karşılaştırılmak üzere kayıt altına alınmıştır. Bina aydınlatma ve ekipman yükünün 39209.96 kWh olduğu, bina sıcak kullanım suyu ısıtma yükünün de 2086.66 kWh olduğu iyileştirmeler yapılmamış bina simülasyon sonuçlarında belirlenmiştir. Sıcak su yükü DesignBuilder simülasyon programında ısıtma yükünün içerisinde verilmektedir. Bu nedenle binanın toplam enerji tüketimi tablosunda bu değerler ayrı gösterilmiş fakat simülasyon program çıktıları tablolarında ısıtma yükü içerisinde dağıtıldığı için birleşik olarak verilmiştir. Tasarımı simüle edilen binanın İzmir iline ait aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 141'de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 142'de, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 143'te gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri Tablo 45'te kWh cinsinden gösterilmiştir. Aydınlatma, sıhhi sıcak su, ısıtma ve soğutma yüklerinin değerleri ve binaya ait toplam enerji yükü değerleri Tablo 46'da gösterilmiştir.



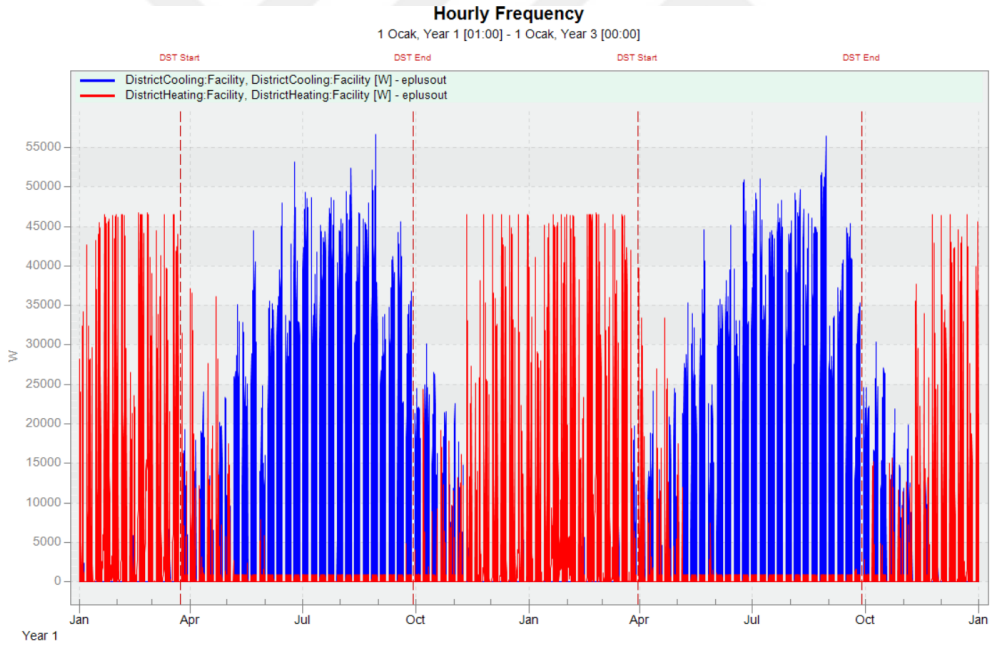
Şekil 141. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 45. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	20.64	4843.00
Şubat	89.45	5325.91
Mart	454.98	3079.90
Nisan	1849.68	1056.38
Mayıs	5119.94	321.57
Haziran	7744.68	159.89
Temmuz	11234.17	183.88
Ağustos	11195.71	175.88
Eylül	7163.48	185.55
Ekim	3719.86	491.49
Kasım	769.72	1592.61
Aralık	61.62	3849.25
TOPLAM	49423.93	21265.31



Şekil 142. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



Şekil 143. İstanbul ili için simüle edilen boş binanın saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 46. İstanbul ili için simüle edilen binanın toplam enerji tüketimi

Yıllık Enerji Tüketimi		
Sistemler	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m ² yıl)
Soğutma Yüğü	49423.93	73.22
Isıtma Yüğü	19178.65	28.41
Aydınlatma ve Ekipman Yüğü	39209.96	58.08
Sıhhi Sıcak Su Yüğü	2086.66	3.09
Toplam	109899.20	162.81

5.1.8. İstanbul İli İçin Pasif ve Aktif Çözüm Paketleri

Yapı tasarımlarında öncelikle iklim tipi buna bağılı olarak iklim şartları, konum, bina kabuğunda kullanılan bileşenler ve güneşlenme süresi ısıtma soğutma yüklerine etki eden genel faktörler olduğunu belirterek İzmir ve Ankara illeri için iyileştirmeler yapılmıştı. Boş bina simülasyonundaki sonuçlara göre İstanbul ili için soğutma yüğü ısıtma yükünden fazla olduğundan öncelikli soğutma yükünü azaltıcı tedbirler alınmalıdır. Bununla birlikte alınacak önlemlerin ısıtma yükünde yapacağı etki de ön planda tutulmalıdır. Bu doğrultuda mevcutta 20 cm tuğla üzerinde 2 cm iç sıva ve 2 cm dış sıva tasarımında oluşturulan bina, bina kabuğunda duvar dış yüzeyinde 2 cm ısı yalıtım malzemesi seçimi yapılarak simüle edilmiştir. Dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi Şekil 144'te, katman görünümü Şekil 145'te ve ısıl geçirgenlik değerleri Şekil 146'da gösterilmektedir. Yapılan simülasyon sonucunda İstanbul iline ait aylık ısıtma soğutma yüğü grafiğı Şekil 147'de, günlük ısıtma soğutma yüğü grafiğı Şekil 148'de, saatlik ısıtma soğutma yüğü grafiğı Şekil 149'da gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yüğü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 47'de kWh cinsinden gösterilmiştir.

Constructions

Layers Surface properties Image Calculated Cost Condensation analysis

General

Name Project wall

Source

Category Walls

Region TURKEY

Colour

Definition

Definition method 1-Layers

Calculation Settings

Layers

Number of layers 4

Outermost layer

Material Gypsum insulating plaster

Thickness (m) 0.0200

Bridged?

Layer 2

Material XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing

Thickness (m) 0.0200

Bridged?

Layer 3

Material Brick

Thickness (m) 0.2000

Bridged?

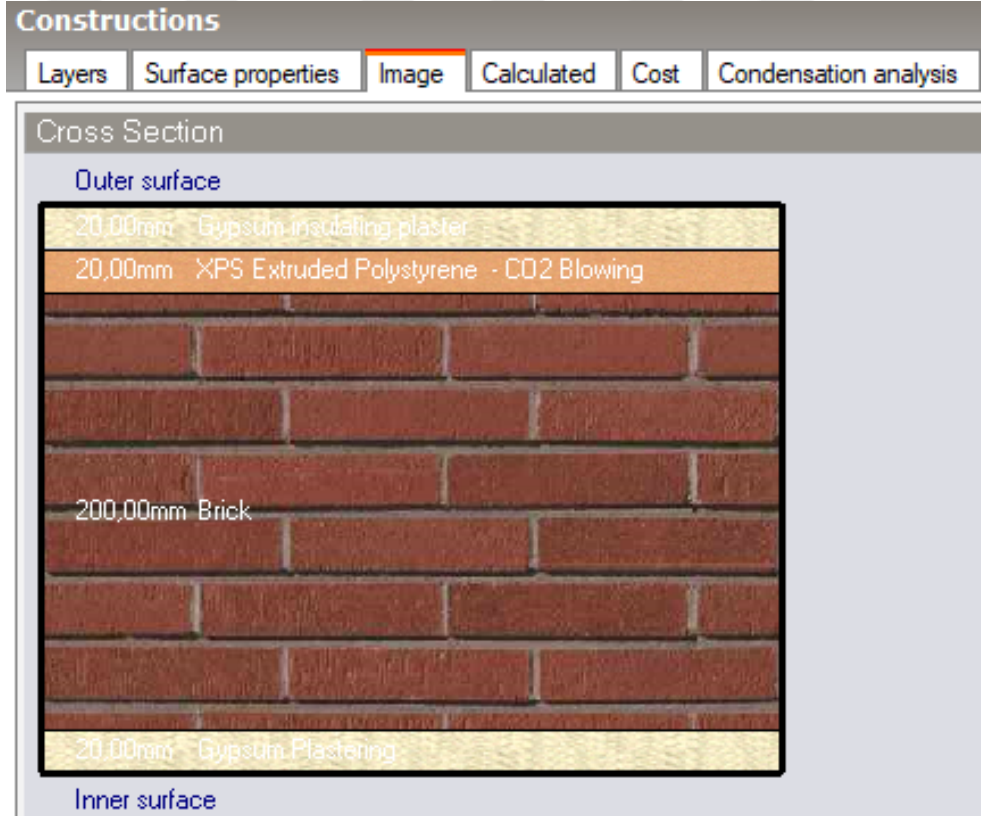
Innermost layer

Material Gypsum Plastering

Thickness (m) 0.0200

Bridged?

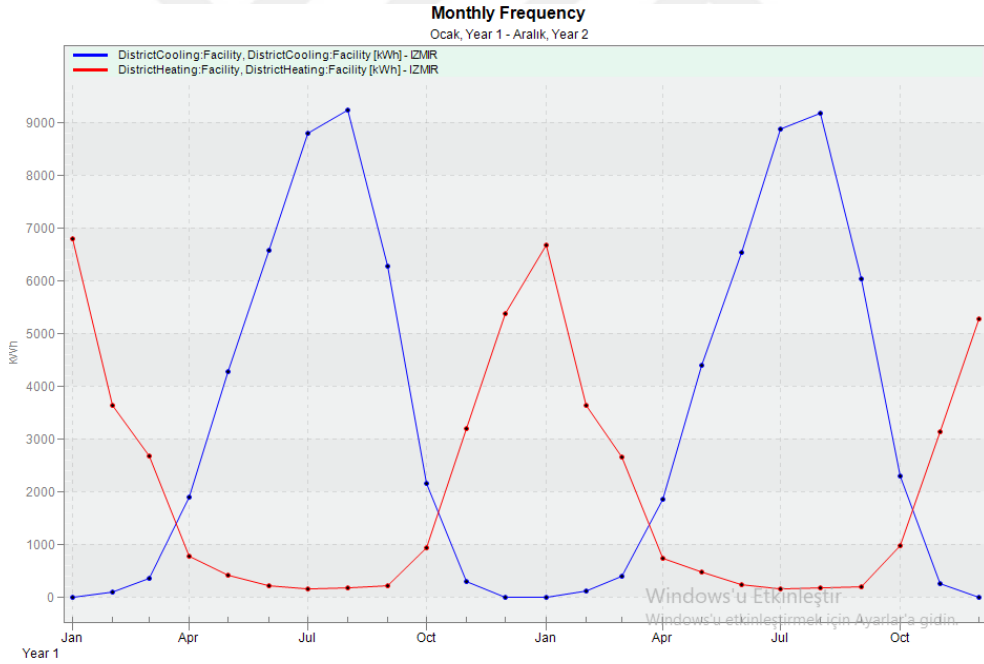
Şekil 144. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi



Şekil 145. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,130
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					0,974
R-Value (m ² -K/W)					1,197
U-Value (W/m²-K)					0,835
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,2600
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)					149,0240
Upper resistance limit (m ² -K/W)					1,197
Lower resistance limit (m ² -K/W)					1,197
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					0,974
R-Value (m ² -K/W)					1,197
U-Value (W/m²-K)					0,835

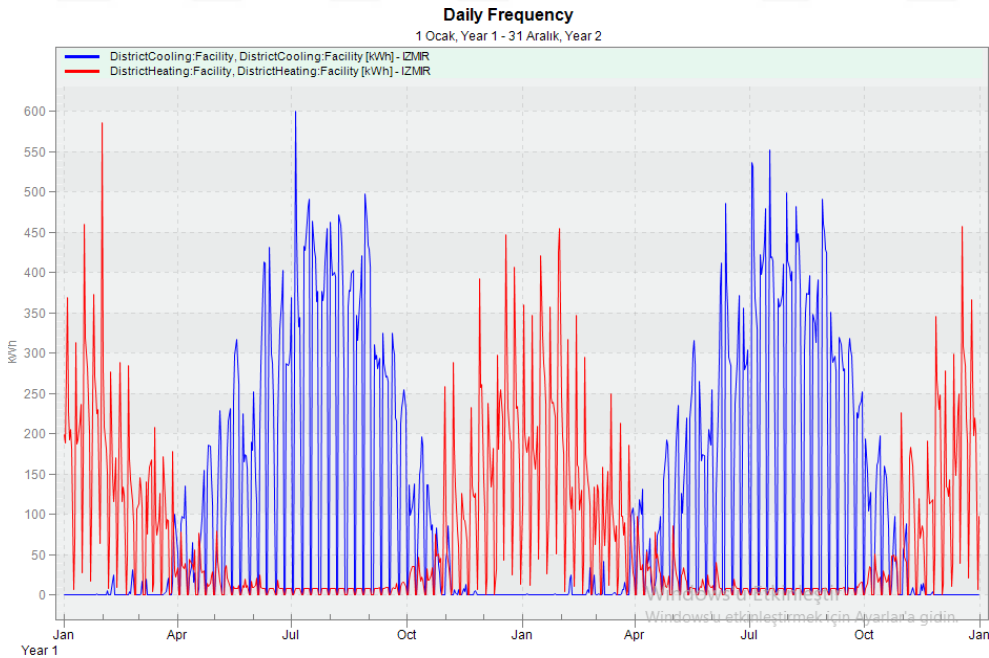
Şekil 146. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi ısıl geçirgenlik değerleri



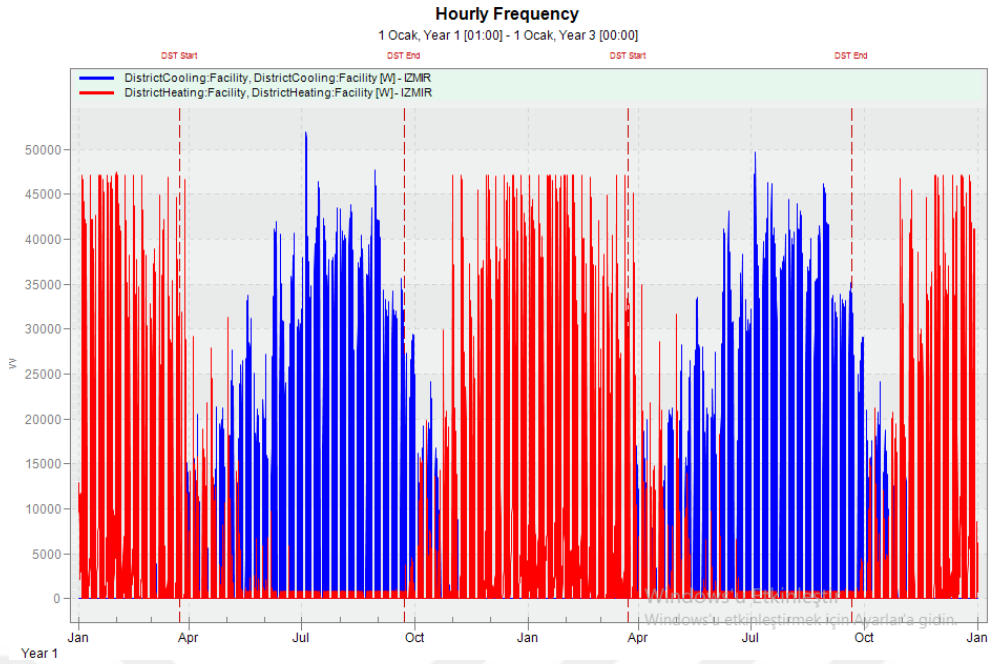
Şekil 147. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 47. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	67.01	3068.87
Şubat	223.51	3501.76
Mart	672.95	1919.95
Nisan	2467.46	676.98
Mayıs	5870.83	243.09
Haziran	8170.71	159.01
Temmuz	11613.30	182.86
Ağustos	11486.57	174.91
Eylül	7646.18	171.68
Ekim	4350.53	364.80
Kasım	1160.83	1024.44
Aralık	155.12	2459.64
Toplam	53885	13947.99



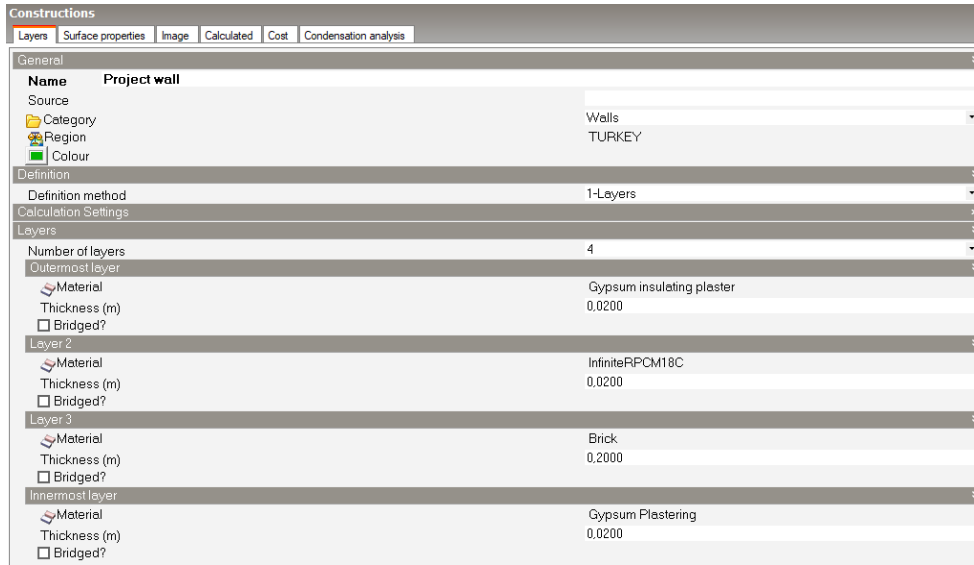
Şekil 148. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



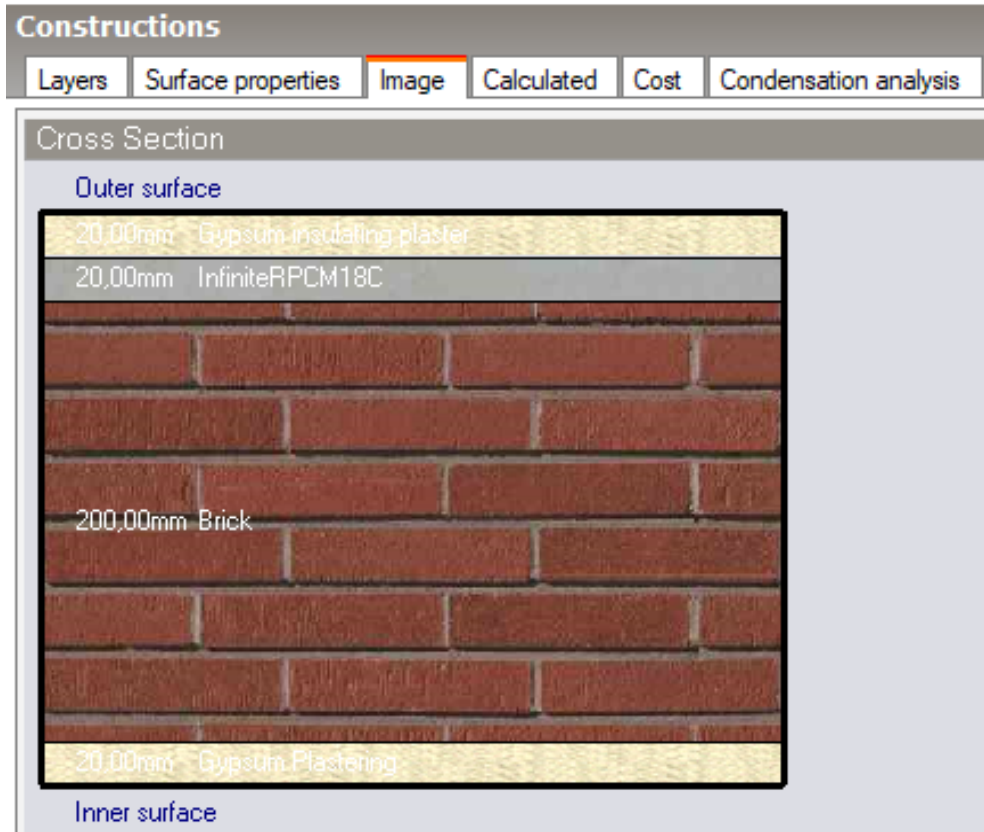
Şekil 149. İstanbul ili için dış duvarda XPS yalıtım malzemesi seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda İstanbul ili için XPS yalıtım malzemesi ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $31.50 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ değerinden $20.66 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ değerine düşerek kazanım sağlanırken $73.22 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olan soğutma yükünün artarak $79.82 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ değerine yükseldiği gözlemlenmiştir.

Bina kabuğunda ısıtma ve soğutma yüklerini değiştiren temel çözümlerden biri de yalıtım malzemesi yerine ya da yalıtım malzemesi ile birlikte faz değiştiren malzeme kullanmaktır. XPS yalıtım malzemesi yerine faz değiştiren malzeme kullanımı ile simülasyon yapılmıştır. Dış duvarda FDM seçimi Şekil 150’de, katman görünümü Şekil 151’de ve ısıl geçirgenlik değerleri Şekil 152’de gösterilmektedir. Simülasyon sonucunda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 153’te, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 154’te, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 155’te gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 48’de gösterilmiştir.



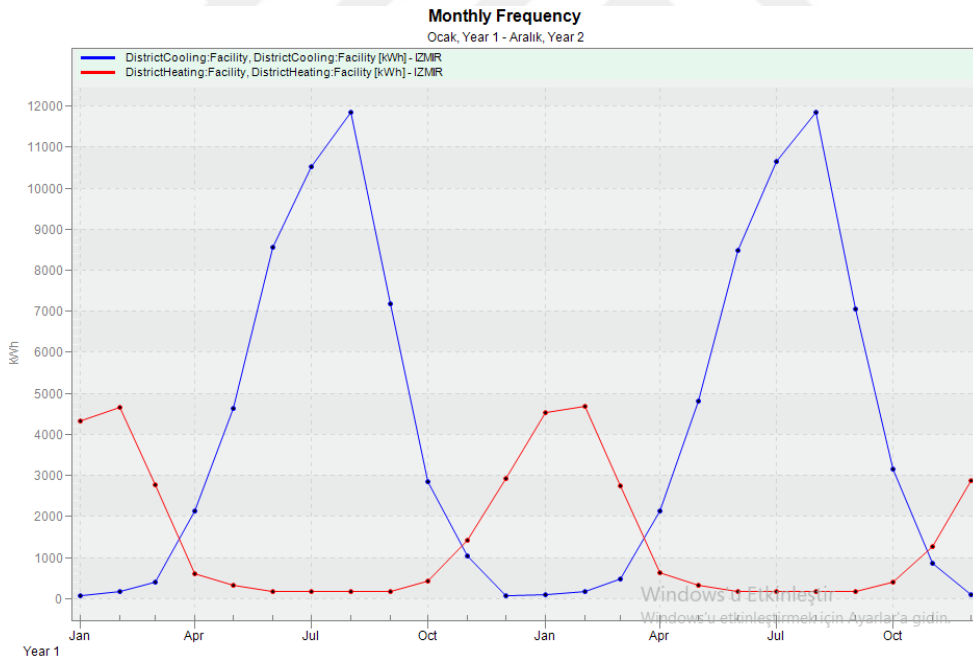
Şekil 150. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi



Şekil 151. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi katman görünümü

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,540
Surface resistance (m ² -K/W)					0,130
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)					5,130
Surface resistance (m ² -K/W)					0,040
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					2,158
R-Value (m ² -K/W)					0,633
U-Value (W/m²-K)					1.579
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)					0,2600
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)					149,0240
Upper resistance limit (m ² -K/W)					0,633
Lower resistance limit (m ² -K/W)					0,633
U-Value surface to surface (W/m ² -K)					2,158
R-Value (m ² -K/W)					0,633
U-Value (W/m²-K)					1.579

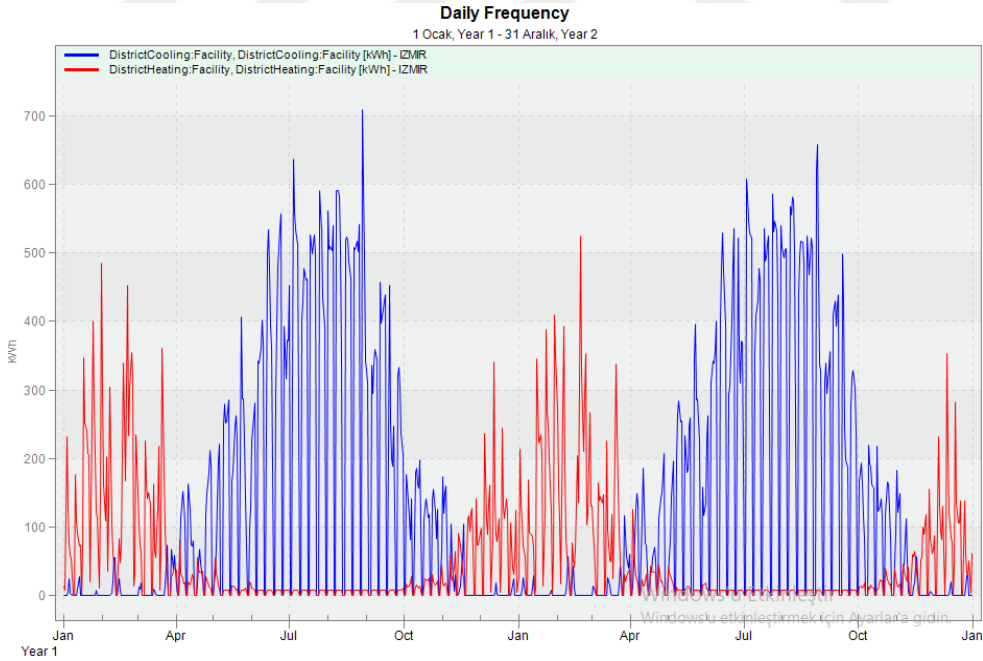
Şekil 152. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi ısı geçirgenlik değerleri



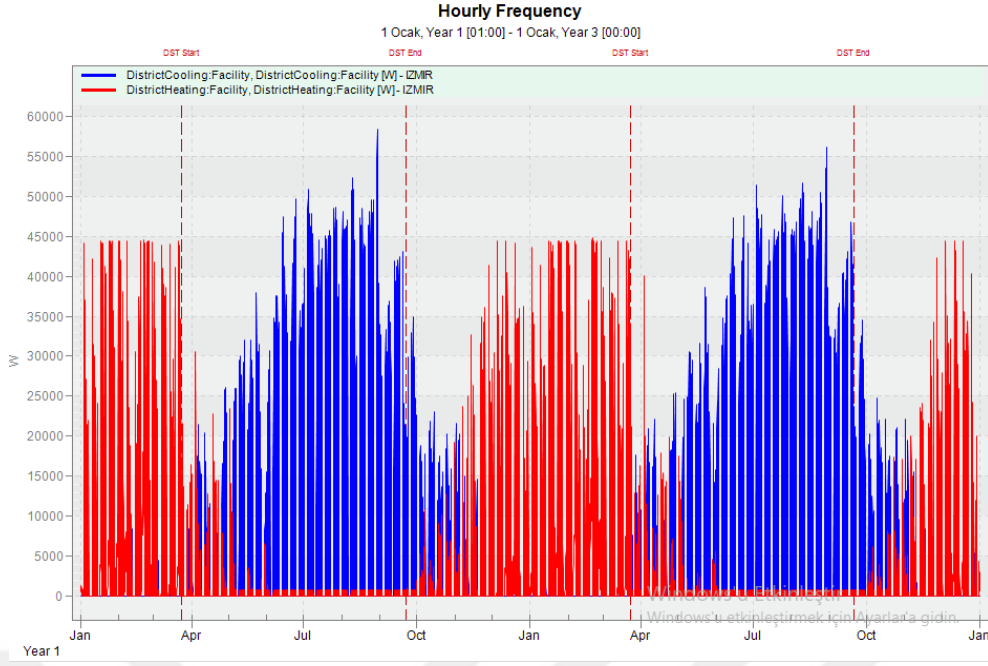
Şekil 153. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 48. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	83.90	4333.85
Şubat	167.69	4650.79
Mart	413.13	2774.86
Nisan	2141.35	617.69
Mayıs	4641.55	328.20
Haziran	8552.65	179.19
Temmuz	10524.63	166.96
Ağustos	11837.39	182.86
Eylül	7184.96	181.81
Ekim	2858.83	421.44
Kasım	1036.62	1424.61
Aralık	64.83	2937.74
Toplam	49507.53	18200



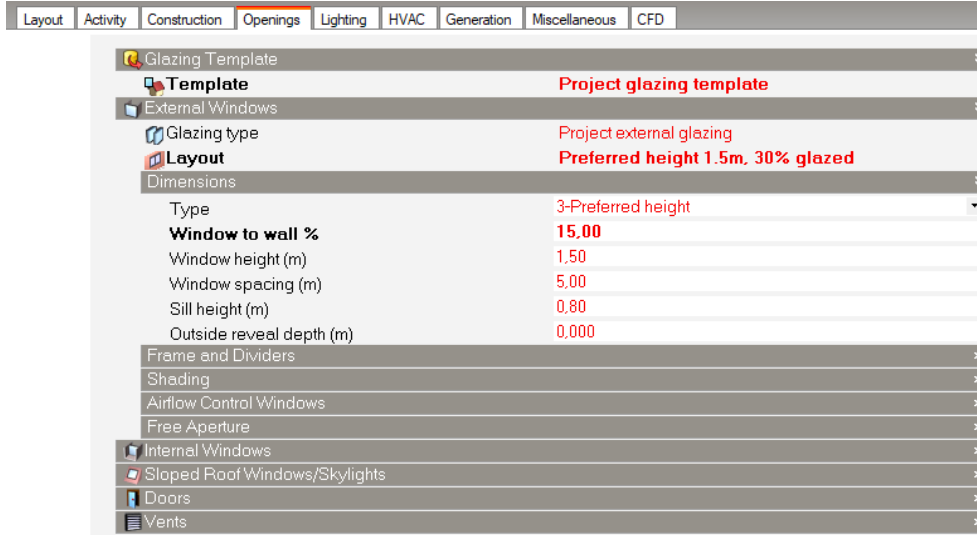
Şekil 154. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği



Şekil 155. İstanbul ili için dış duvarda FDM seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda İstanbul ili için XPS yalıtım malzemesi yerine FDM ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $26.96 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu, soğutma yükünün $73.34 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olduğu gözlemlenmiştir. Hem ısıtma hem soğutma yüklerinde tasarrufa olan etkisi XPS yalıtım malzemesi kullanımına göre çok farklı olmadığından yalıtımsız FDM kullanımının İstanbul ilinde bu bina tasarımı için maliyet ve enerji etkin olmadığı görülmüştür.

Bina kabuğunda uygulanabilecek çözümler arasında pencere duvar oranının azaltılmasının ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin düşmesine sebep olduğu İzmir ve Ankara için yapılan çalışmalarda görülmüştü. İstanbul ili için de optimum pencere duvar oranını sağlayabilmek amacı ile öncelikle pencere duvar oranı %15'e indirilerek simülasyon yapılmıştır. Pencere duvar oranı seçimi Şekil 156'da ve pencere duvar oranının yük değerlerine etkisi Tablo 49'da gösterilmektedir.



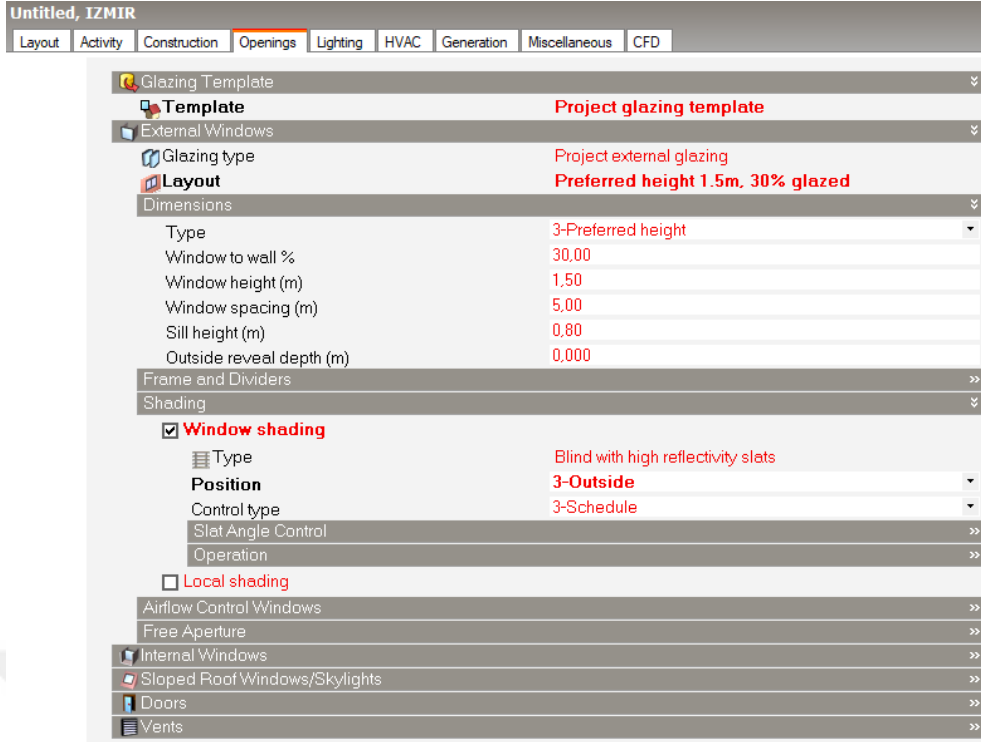
Şekil 156. İstanbul ili için pencere duvar oranı seçimi

Tablo 49. İstanbul ili için pencere duvar oranının yük değerlerine etkisi

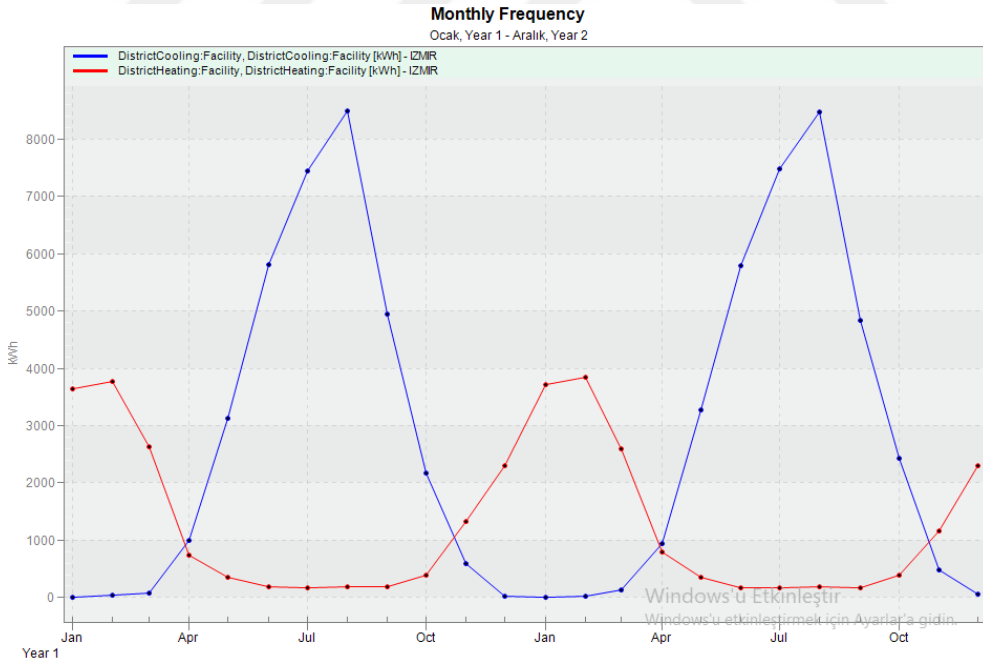
	Pencere/Duvar Oranı 15 %	Pencere/Duvar Oranı 30 %
Isıtma Yüğü (kWh/m ² yıl)	21.27	20.66
Soğutma Yüğü (kWh/m ² yıl)	60.80	79.82
Aydınlatma Yüğü (kWh)	57.54	57.76

Pencere duvar oranının azaltılmasının ısıtma yükünde bir miktar yükselmeye sebebiyet verdiği görünse de soğutma yükünde ciddi bir azalma sağladığı belirlenmiştir. Enerji etkin bina tasarımında iklim tipine göre ısıtma yükünü ya da soğutma yükünü azaltıcı tasarımlara odaklanırken diğer taraftan optimizasyonun sağlanması önem arz etmektedir. Dolayısıyla uygulanacak önlemler arasında pencere duvar oranının azaltılması bulunmaktadır.

Soğutma yükünü azaltmak amacı ile yapılacak tasarımlar arasında pencere gölgeleme elemanı kullanılmasının etkisi de yapılan simülasyonla araştırılmıştır. Gölgeleme elemanı seçimi şekil 157’de gösterilmektedir. Simülasyon sonucunda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 158’de, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 159’da, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 160’da gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri Tablo 50’de gösterilmiştir.



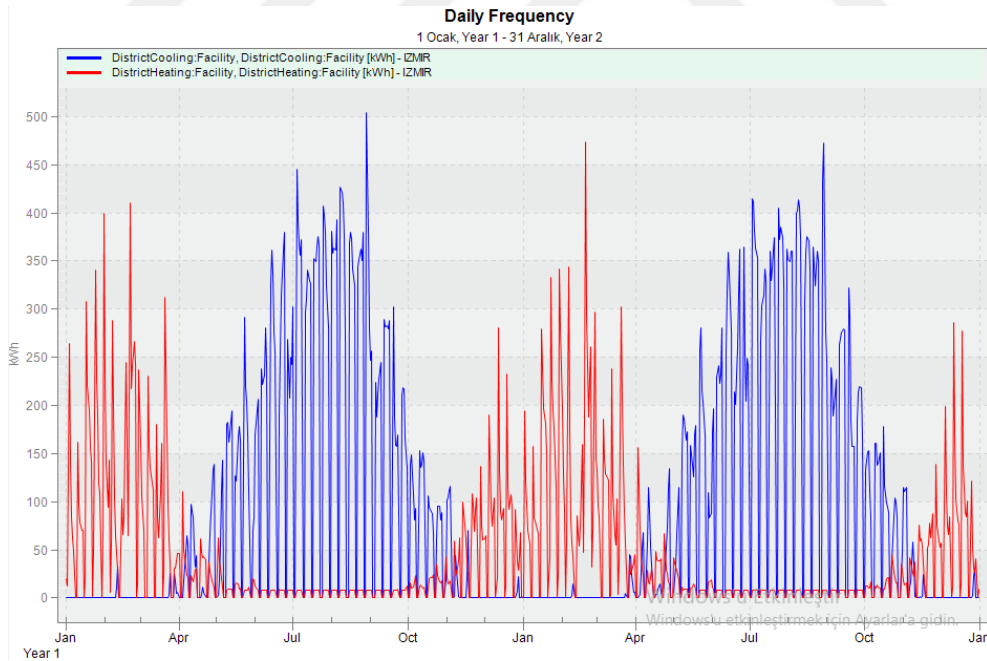
Şekil 157. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi



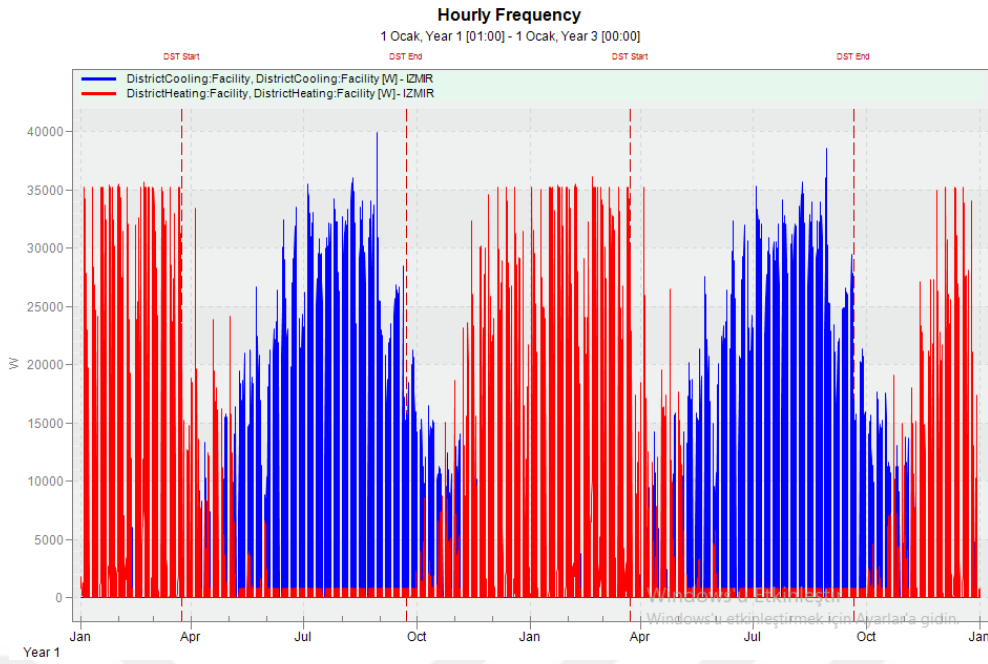
Şekil 158. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 50. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	0.05	3651.26
Şubat	44.31	3774.54
Mart	80.88	2626.29
Nisan	998.76	747.40
Mayıs	3127.78	351.95
Haziran	5816.84	181.62
Temmuz	7436.05	166.96
Ağustos	8498.78	182.86
Eylül	4941.94	181.42
Ekim	2176.81	386.36
Kasım	603.41	1322.32
Aralık	29.60	2300.23
Toplam	33755.21	15873.01

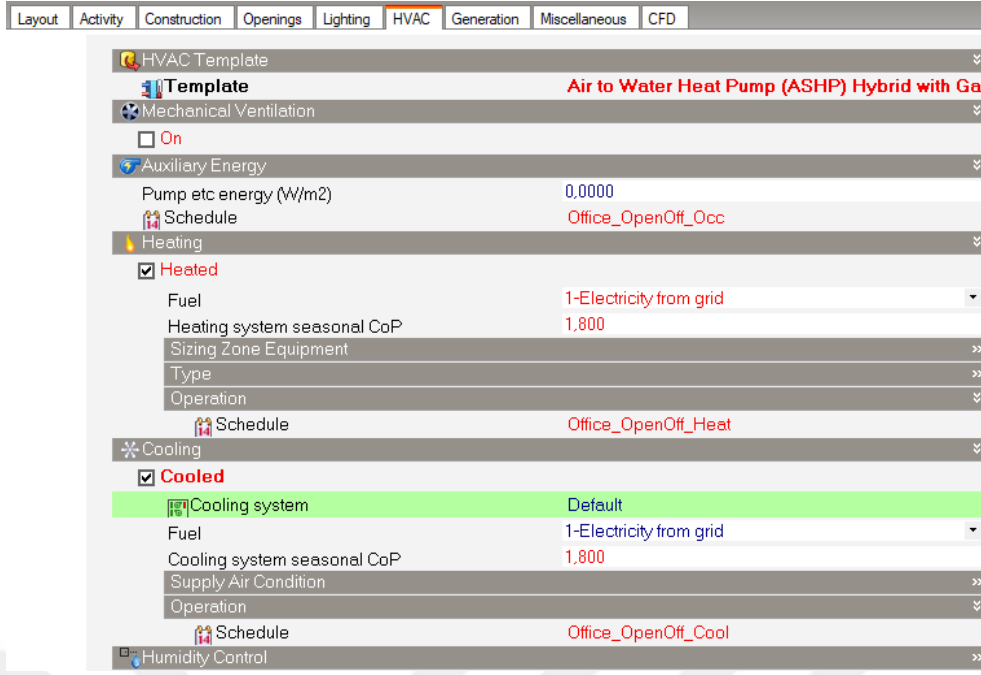


Şekil 159. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği

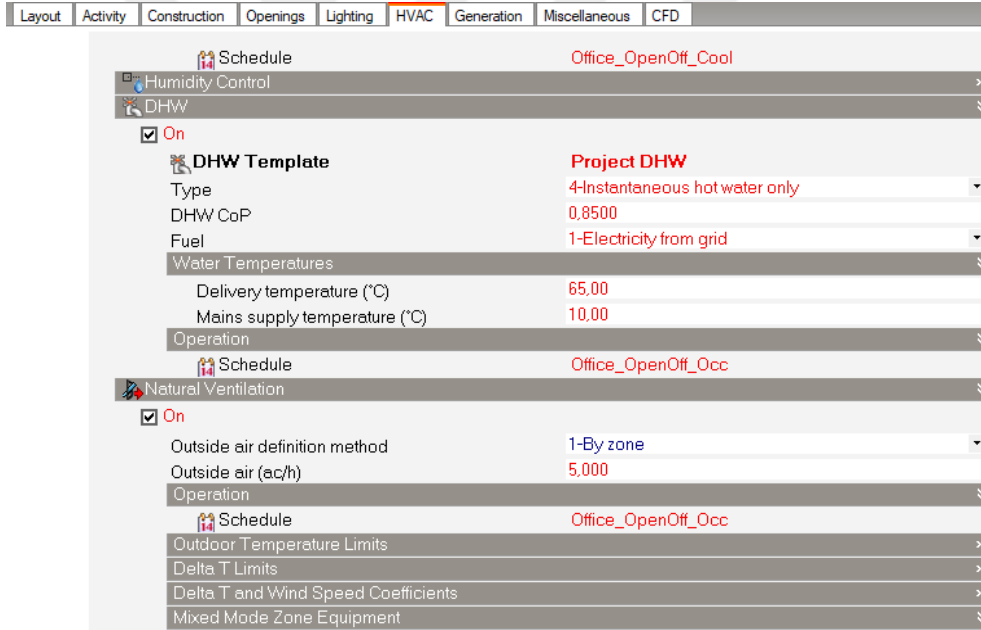


Şekil 160. İstanbul ili için gölgeleme elemanı seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

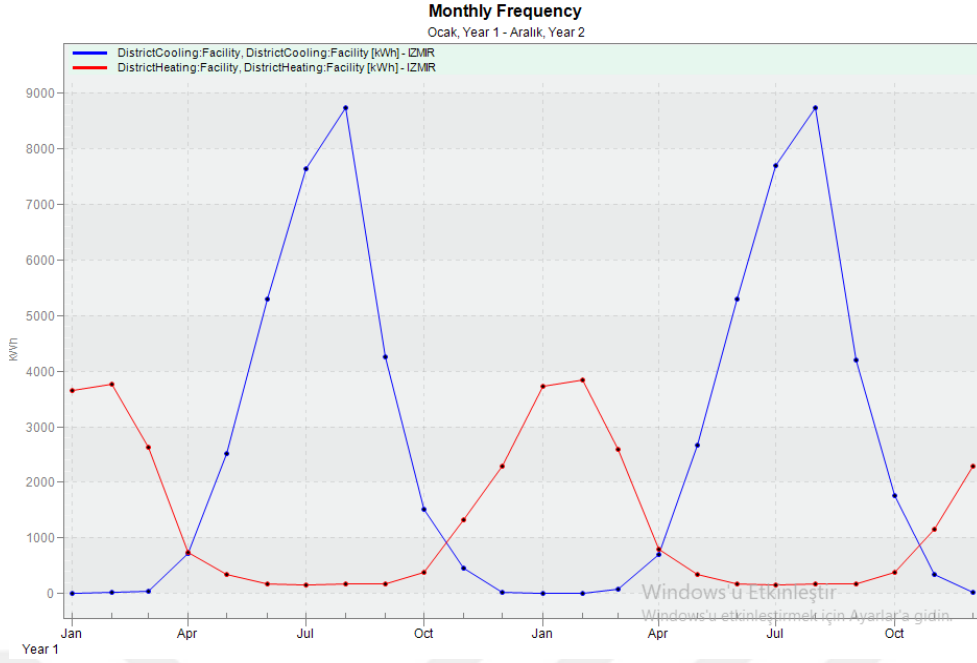
Enerji etkin bir tasarım için alınan önlemlerde bir sonraki adım ise, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırılması gibi işlemleri iklim koşullarına ve bina yapısına uygun çözümler içeren yüksek verimli mekanik bir sistem ile karşılamaktır. Günümüzde artan COP değerleri ile kullanımı yaygınlaşan ısı pompaları bu çalışmada da hem enerji hem maliyet etkinliğinden ötürü İstanbul ili için de tercih edilerek havadan suya kaynaklı ısı pompası seçimi ile simülasyon yapılmıştır. İhtiyaç olan sıhhi sıcak su yükü de ısı pompasından sağlanacak şekilde seçim yapılarak tasarım simüle edilmiştir. Şekil 161’de ısı pompası seçimi için program arayüzü, Şekil 162’de sıcak su ihtiyacının ısı pompasına bağlanması seçimi gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda aylık ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 163’te, günlük ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 164’te, saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği Şekil 165’te gösterilmiştir. Aylık ısıtma soğutma yükü için simülasyon sonuç verileri de Tablo 51’de gösterilmiştir.



Şekil 161. İstanbul ili için HVAC sistem seçimi



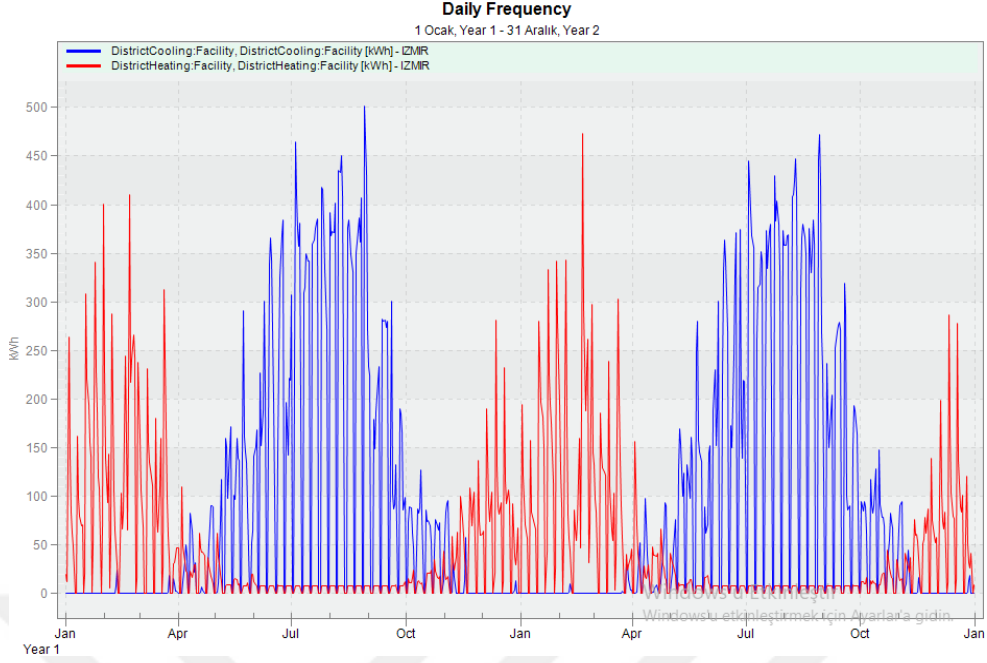
Şekil 162. İstanbul ili için sıcak su sistemi seçimi



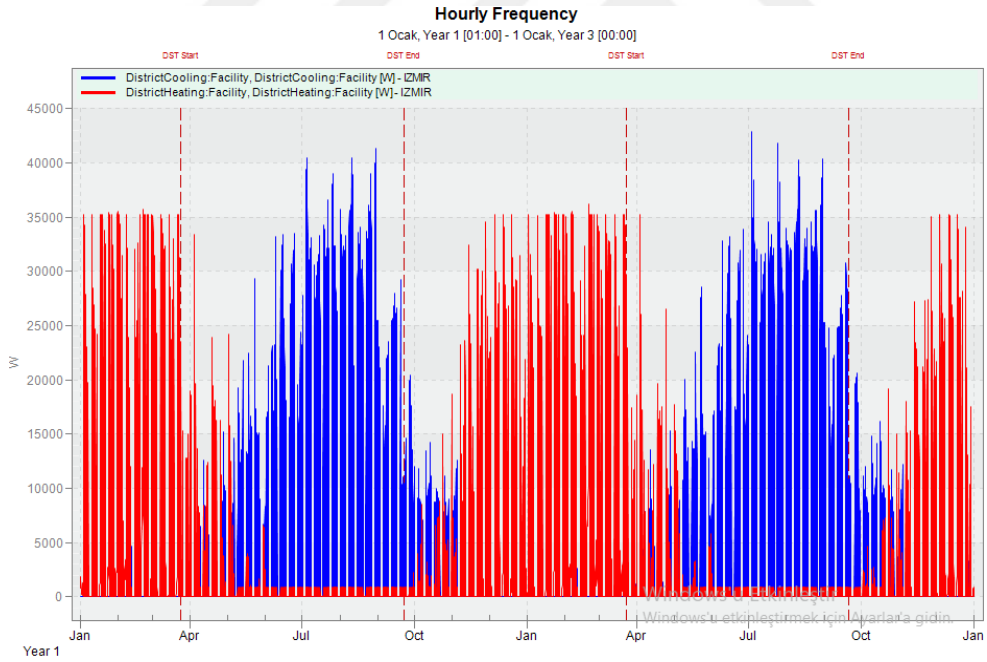
Şekil 163. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü grafiği

Tablo 51. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi aylık ısıtma soğutma yükü değerleri

	Soğutma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)
Ocak	0.01	3651.29
Şubat	32.35	3775.14
Mart	51.17	2627.41
Nisan	734.15	750.54
Mayıs	2524.70	352.71
Haziran	5298.98	181.72
Temmuz	7640.26	166.96
Ağustos	8729.04	182.86
Eylül	4249.12	181.42
Ekim	1524.96	387.01
Kasım	452.96	1324.35
Aralık	17.69	2301.18
Toplam	31255.39	15882.59



Şekil 164. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi günlük ısıtma soğutma yükü grafiği

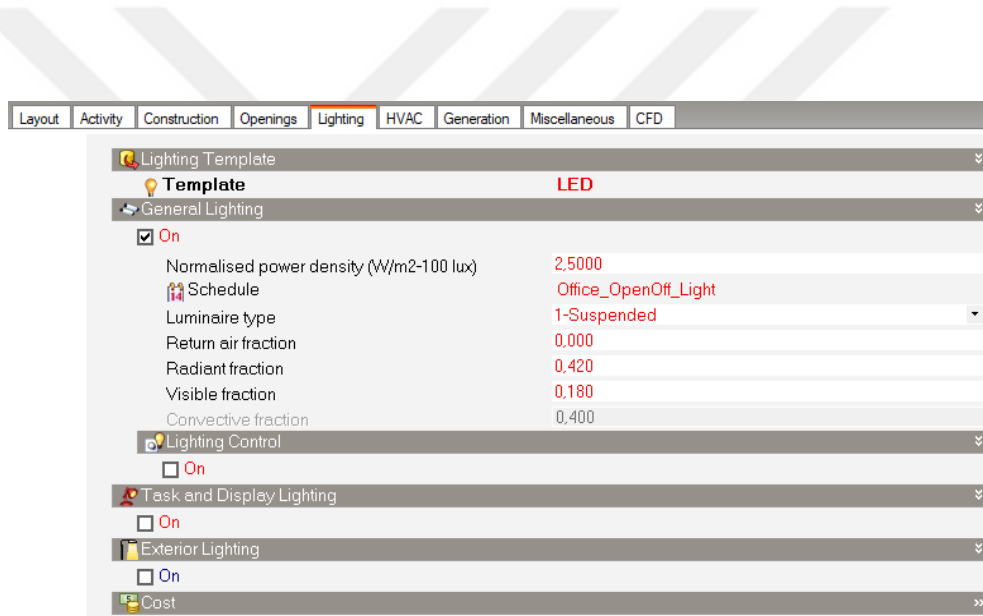


Şekil 165. İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası seçimi saatlik ısıtma soğutma yükü grafiği

Bu simülasyon sonucunda İstanbul ili için HVAC sistemde ısı pompası kullanımı ile tasarımı yapılan binada ısıtma yükünün $23.52 \text{ kwh/m}^2\text{yıl}$ olduğu, soğutma yükünün $46.30 \text{ kwh/m}^2\text{yıl}$ olduğu gözlemlenmiştir. Hem ısıtma hem soğutma yüklerinde tasarrufa olan etkisinin yanında yenilenebilir enerji statüsünde bulunduğu HVAC

sistemde ısı pompası kullanımının hem maliyet hem enerji etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca İzmir ve Ankara illerinde olduğu gibi İstanbul ili için de sıcak su yükünün ısı pompasından sağlanabilecek olması nedeniyle burada yapılacak ayrı bir tasarruf çözümünün maliyetinin de önüne geçtiği sonucuna varılmaktadır.

Binalarda harcanan enerjinin büyük bir kısmının aydınlatma için harcandığı bilinmektedir. Dolayısıyla aydınlatma ekipmanlarında yapılacak iyileştirmeler aydınlatma yükünü azaltacağından toplam enerji miktarında da önemli oranda tasarruf sağlamaktadır. Tasarımı yapılan binada aydınlatma ekipmanlarında LED armatürler kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi Şekil 166'da ve bu seçimin aydınlatma yükü değerine etkisi Tablo 52'de gösterilmektedir.



Şekil 166. İstanbul ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi

Tablo 52. İstanbul ili için aydınlatma ekipmanlarında LED armatür seçimi aydınlatma yükü değerleri

	Boş Bina LED Armatür Kullanımı	
Aydınlatma ve Ekipman Yükü (kWh)	39059.73	13781.31

Sıfır enerjili bina yaklaşımında İzmir ve Ankara illerinde olduğu gibi yapılan seçimlerin optimum dengede tasarruf etkisi yapması baz alınmıştır. Yani bina kabuğunda yapılan değişiklikler, HVAC sistem seçimleri, aydınlatma ve elektrikli ekipmanlarda yapılan seçimler ve diğer tasarımlar enerji etkin bina tasarımında genel toplamda maliyet etkinliği de baz alınarak optimum tasarrufu sağlamakta ise sıfır

enerjili bina yaklaşımı tasarımına dahil edilmiştir. Enerji etkinlik ve maliyet etkinlik birlikte düşünüldüğünde yapılan farklı tasarım simülasyonları sonucunda dış yüzeyde XPS yalıtım malzemesi kullanılması, pencere duvar oranının azaltılması, HVAC sistemlerde ısı pompasının kullanılması ve sıcak su ihtiyacının da ısı pompasından sağlanması, gölgeleme elemanı kullanılması ve aydınlatma LED armatürler kullanılması sonucuna varılmıştır. Diğer tüm çözümler enerji etkinlik ve maliyet etkinlik noktasında optimum değerleri sağlamadığından sıfır enerjili bina tasarımına dahil edilmemiştir. Bu kapsamda İstanbul ili için, boş bina enerji yükleri ile enerji etkin binanın son haldeki kıyaslamaları Tablo 53'te sunulmuştur.

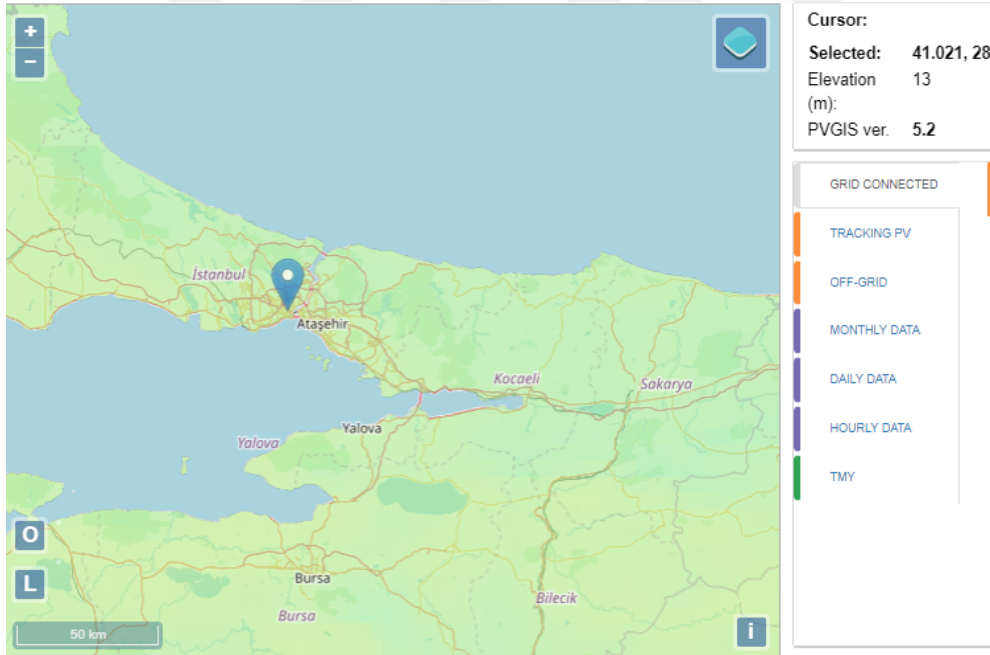
Tablo 53. İstanbul ili için pasif ve aktif çözümlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine etkisi

Pasif ve Aktif Çözümler	Soğutma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf	Isıtma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf	Aydınlatma Yükü (kwh/m ² yıl)	% Tasarruf
Boş Bina	73.22	↓	31.50	↓	58.08	↓
Dış yüzeyde XPS yalıtım kullanımı						
Pencere/duvar oranı azaltımı						
Pencere dış yüzeyde gölgeleme elemanı kullanımı	46.30	37%	23.52	26%	20.41	65%
HVAC sistemde ısı pompası kullanımı						
Aydınlatmada LED armatür kullanımı						

Sonuç olarak referans binanın herhangi bir tasarım değişikliği yapılmadan ya da önlem alınmadan önce yıllık birincil enerji tüketimi 162.81 kWh/m²yıl olarak belirlenmişti. İstanbul şehrinin bulunduğu koşullara özgün çözüm tasarımları ile birlikte yıllık birincil enerji tüketimi 90.23 kWh/m²yıl'dır. Bu çalışma sonucu İstanbul ilindeki örnek binada 72.58 kWh/m²yıl tasarruf yapılarak %45 oranında tasarruf sağlanmıştır. Sıcak su ihtiyacı için gereken enerji HVAC sistem seçiminde tercih edilen ısı pompasına entegre edilen sıcak su kazanı ile sağlanabilmektedir. HVAC sistem

seçiminde ısı pompası tercih edildiğinden ve maliyet etkin bir tasarım olması açısından sıcak su ihtiyacı için İzmir ilinde olduğu gibi ayrıca bir güneş kollektörü seçimi yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Çalışmanın bu kısmında etkili bir yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisi ele alınarak sıfır enerjili bina ya da yaklaşık sıfır enerjili bina hedefine yaklaşım belirlenecektir. Çatı üzerine yerleştirilecek fotovoltaik sistem için hesaplamalarda yine PVGIS simülasyon programı kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlarda İzmir ve Ankara illerinde de olduğu gibi üretilebilecek maksimum enerjinin sıfır enerjili bina statüsüne uyabilmesi için yeterliliği araştırılmış ve bu yeterliliğin mümkün olması durumunda maliyet etkinlik de göz önünde bulundurularak kullanılabilir minimum panel sayısı hesaplanmıştır. PVGIS simülasyon programında lokasyon seçimi Şekil 167’de, 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri Şekil 168’de, 30° panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 169’da ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 54’te gösterilmektedir. Aynı lokasyon için optimum panel eğimi ile simülasyon sonuçları grafiği Şekil 170’de ve simülasyon sonuç değerleri Tablo 55’te gösterilmektedir.



Şekil 167. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında yapılan lokasyon seçimi

Güneş radyasyonu veritabanı * PVGIS-SARAH2

PV teknoloji * Kristalin silikon

Kurulu tepe PV gücü [kWp] * 44

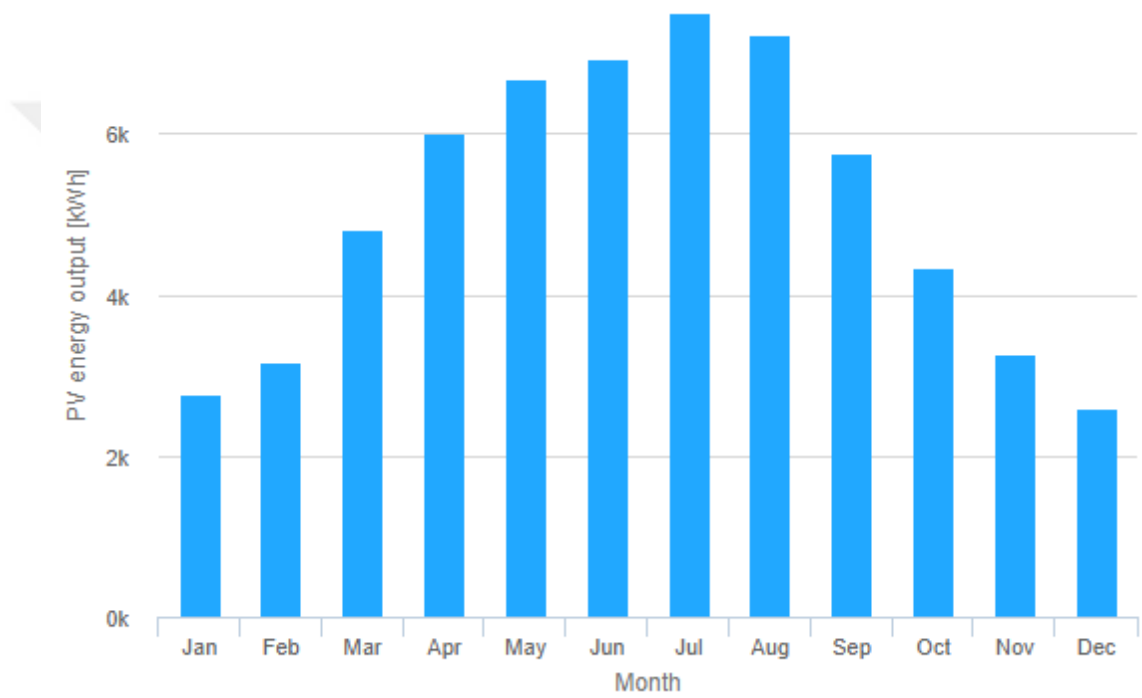
Sistem kaybı [%] * 14

Sabit montaj seçenekleri

Montaj konumu * Bağımsız

Eğim [°] * 30 Eğimi optimize edin

Şekil 168. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ve toplam kurulu güç girdileri

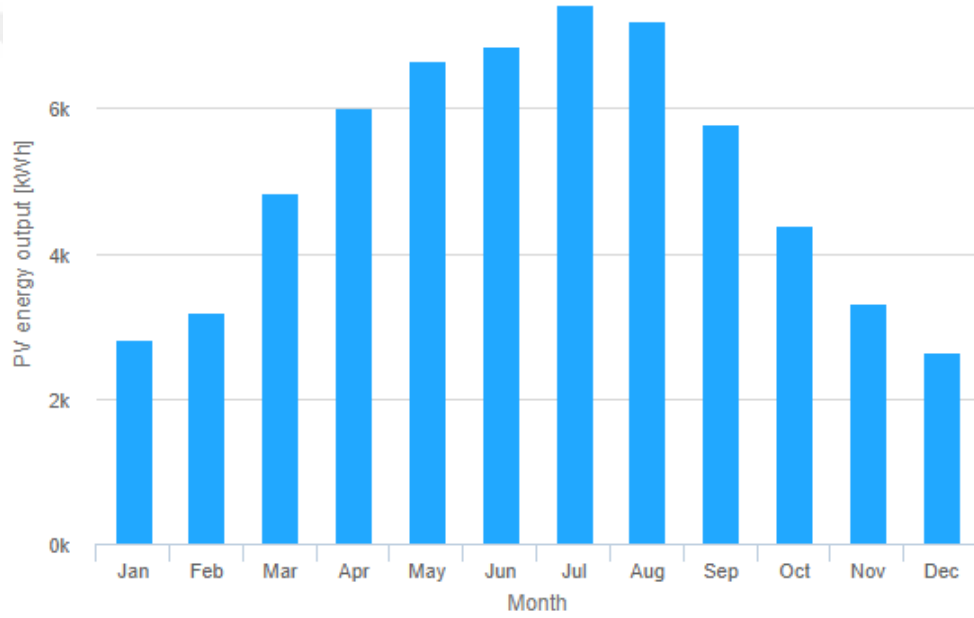


Şekil 169. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 54. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında 30° panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	41.021,28.960
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı (%)	14

Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	30
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	61061.21
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	1752.31
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	2333.66



Şekil 170. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile aylık üretilen enerji grafiği

Tablo 55. İstanbul ili için PVGIS simülasyon programında optimum panel eğimi ile simülasyon girdileri ve simülasyon sonuçları

Sağlanan Girdiler	
Konum (Enlem/Boylam)	41.021,28.960
Kullanılan Veritabanı	PVGIS-SARAH2
PV teknolojisi	Kristalin silikon
Kurulu PV (kWp)	44
Sistem kaybı(%)	14

Simülasyon Sonuçları	
Eğim Açısı (°)	32 (optimum)
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	61097.42
Yıllık Düzlem İçi Işınlama (kWh/m ²)	1752.79
Yıldan yıla değişkenlik(kWh)	2360.12

Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum panel sayısının kullanılması durumunda çatı yüzeyine paralel 30° panel eğim açısı ile yapılan simülasyonda binanın ihtiyacı olan enerji ihtiyacının tümünün karşılanabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat tasarımı yapılan binada ihtiyaç olan 90.23 kWh/m²yıl enerji üretimi için maksimum panel sayısının kullanılması gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 80 adet 550 Wp fotovoltaik panel ile üretilecek 90.46 kWh/m²yıl enerji, tasarımı yapılan ofis binasının ihtiyacı olan 90.23 kWh/m²yıl enerjinin tümünü karşılayacağından tasarımı yapılan bina net sıfır enerjili bina tanımına uymaktadır.

5.1.9. İstanbul İli Enerji Etkin Bina İçin Ekonomik Analiz

Ekonomik analizin yapılmasının temel amacı, tasarlanan ve sunulan çözüm paketlerinin maliyet etkinliğinin ve geri ödeme süresinin hesaplanmasıdır. Maliyeti oluşturan temel bileşenler arasında XPS yalıtım maliyeti, mekanik sistem maliyeti (yerden ısıtma sistemi, ısı pompası ve ısı pompasına entegre sıcak su kazanı sistemi), pencere dış yüzeyinde gölgeleme elemanı maliyeti, aydınlatma ekipmanları maliyeti ve güneş enerjisi için fotovoltaik sistem maliyeti söz konusudur.

Maliyet için kullanılacak birim fiyat listeleri dolar bazında DesignBuilder simülasyon programı ve alanında hizmet veren firmalarla yapılan görüşmelerin ortalamalarından alınmıştır. Elektrik birim fiyatı yetkili elektrik dağıtım firmalarından alınmıştır ve dolar kuru dönüşümünde 2023 yılı yıllık ortalama kur olan 23.29 TL olarak hesaba dahil edilmiştir. Maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi Tablo 56'da gösterilmektedir.

Tablo 56. İstanbul ili maliyetler için kullanılan birim fiyat listesi

Malzeme	Birim Fiyat
Birim Alan İçin (m ²) XPS Yalıtım Uygulama Fiyatı	15 \$
Birim Alan İçin (m ²) Pencere Gölgeleme Elemanı Fiyatı	75 \$
Birim Alan İçin (m ²) HVAC Sistem Kurulum Fiyatı	50 \$
Birim Alan İçin (m ²) Aydınlatma Ekipman Fiyatı	15 \$
1 kWp Fotovoltaik Sistem Kurulum Fiyatı	645 \$
1 kWh Elektrik Fiyatı	0.11 \$

İstanbul ili için tasarımları yapılan binanın tasarlanan sistemler için genel maliyet tablosu Tablo 57’de verilmiştir.

Tablo 57. İstanbul ili için sıfır enerjili bina tasarımı yatırım maliyeti

Malzeme	Birim Fiyat	Uygulama Alanı	Toplam Maliyet
XPS Yalıtım Malzemesi	15 (\$/m ²)	460 (m ²)	6900 \$
Pencere Gölgeleme Elemanları	75 (\$/m ²)	80 (m ²)	6000 \$
HVAC Sistem Kurulumu	50 (\$/m ²)	675 (m ²)	33750 \$
Aydınlatmada Tasarruflu (LED) Ekipmanlar	15 (\$/m ²)	675 (m ²)	10125 \$
Fotovoltaik Sistem Kurulumu	645 (\$/kWp)	44 (kWp)	28380 \$
		Genel Toplam	85155 \$

Sunulan çözümlerde ilk kurulum maliyetinden sonra işletme ve bakım maliyetleri bulunmaktadır. İlgili işletme giderleri ve bakım maliyetleri de İzmir ilinde olduğu gibi alanında hizmet veren firmalardan ortalama olarak alındığında; ısı pompası için yılda iki kez olmak üzere 150\$ birim fiyatı, mekanik tesisatlarda su analizi ve yıkama işlemlerinin yapılması için yılda bir kez olmak üzere 110\$ birim fiyatı, fotovoltaik sistemde yılda iki kez olmak üzere panellerin yıkanması ve elektrik devrelerinin kontrolleri için panel başı 2.5\$ birim fiyatı bulunmaktadır. Bu bilgiler taban alınarak tasarımı yapılan binanın yıllık ortalama işletme ve bakım maliyetleri Tablo 58’de gösterilmiştir.

Tablo 58. İstanbul ili için sıfır enerjili bina işletme ve bakım maliyet yıllık giderleri

Malzeme	Bakım Birim Fiyat	Toplam Maliyet
Isı Pompası bakım giderleri (Yılda iki kez)	150 (\$/sistem)	300 \$
Mekanik tesisat bakım giderleri (Yılda bir kez)	110 (\$/sistem)	110 \$
Fotovoltaik sistem bakım giderleri (Yılda iki kez)	2.5 (\$/Panel)	400 \$
	Genel Toplam	810 \$

Sunulan çözümlerin ve tasarlanan sistemin uygulanmasının rasyonel olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla ekonomik analiz yöntemlerinden Net Bugünkü Değer Yöntemi kullanılarak (Eşitlik 16);

$$NBD = GBD - MBD$$

$$NBD = A (F/A; \%i, n) - C$$

(Eşitlik 16)

Bu eşitlikte;

NBD : Net Bugünkü Değer, \$

GBD : Gelirlerin Bugünkü Değeri, \$

MBD : Malyetlerin Bugünkü Değeri, \$

Projenin kabul edilebilmesi için bulunan değerın sıfırdan büyük (pozitif) olması gerekir.

P : Paranın şimdiki değeri

F : Paranın gelecekteki değeri

A : n dönem devam eden düzgün artan serilerde dönem sonu değeri

i : Faiz Oranı, %

n : Faiz dönem sayısı

C : İlk yatırım maliyeti

İskonto oranı %9 olup, ilk yatırım maliyeti de hesaplandığı üzere denkleme yerleştirildiğinde;

$$NBD = 26384\$$$

Yatırımın ekonomik ömrünün 25 yıl olduğu bilindiğinden Tablo 59’da yatırımın enflasyon bazlı yıllara göre getirisi gösterilmiştir.

Tablo 59. İstanbul ili için sıfır enerjili bina yatırımının yıllara göre enflasyon bazlı getirisi

Yıl	Elektrik Giderleri	Tasarruf	Bakım Giderleri	Toplam Getiri
1	\$12432.00		\$715.00	\$11717.00
2	\$13675.20		\$786.50	\$12888.70
3	\$15042.72		\$865.15	\$14177.57
4	\$16546.99		\$951.67	\$15595.33
5	\$18201.69		\$1046.83	\$17154.86
6	\$20021.86		\$1151.51	\$18870.35
7	\$22024.05		\$1266.67	\$20757.38
8	\$24226.45		\$1393.33	\$22833.12
9	\$26649.10		\$1532.67	\$25116.43
10	\$29314.01		\$1685.93	\$27628.07
11	\$32245.41		\$1854.53	\$30390.88
12	\$35469.95		\$2039.98	\$33429.97
13	\$39016.94		\$2243.98	\$36772.97
14	\$42918.64		\$2468.37	\$40450.26
15	\$47210.50		\$2715.21	\$44495.29
16	\$51931.55		\$2986.73	\$48944.82
17	\$57124.70		\$3285.41	\$53839.30
18	\$62837.17		\$3613.95	\$59223.23
19	\$69120.89		\$3975.34	\$65145.55
20	\$76032.98		\$4372.87	\$71660.11
21	\$83636.28		\$4810.16	\$78826.12
22	\$91999.91		\$5291.18	\$86708.73
23	\$101199.90		\$5820.30	\$95379.60
24	\$111319.89		\$6402.33	\$104917.56
25	\$122451.88		\$7042.56	\$115409.32

Geri Ödeme Süresi (GÖS) kullanılarak sistemin kendini amorti edeceği zaman aralığı ayrıca hesaplanmıştır. Eşitlik 20 ve Eşitlik 21’de belirtildiği üzere;

$$G\ddot{O}S = \dot{I}Y/NA$$

(Eşitlik 20)

GÖS :Yatırım geri ödeme süresi

İY :İlk yatırım

NA :Dönem başına nakit akışı

Eğer nakit akışı düzenli değil ise;

$$G\ddot{O}S = \sum G\ddot{O}S + (YNG\ddot{O}S/TYNA)$$

(Eşitlik 21)

GÖS : Yatırım geri ödeme süresi

YNGÖS : Yılın başında yatırımın geri ödenmemiş geri ödemesi

TYNA : Takip eden yıldaki nakit akışı

Değerler ilgili denklemlerde yerine konulduğunda;

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 85155\$$$

$$\text{Dönem başı nakit akışı} = (113018 \text{ kWh/yıl})(0.11\$/\text{kWh})$$

$$G\ddot{O}S = 78975\$/12432\$$$

$$G\ddot{O}S = 6.35 \text{ yıl}$$

Fakat yıllara göre elektrik tüketim fiyatları ve bakım işletme giderleri sabit olmadığından nakit akışının düzenli olmayacağı bilinmektedir. Geçmiş yıllar TÜİK enflasyon ortalamaları baz alınarak, sonraki yıllar için ortalama enflasyon oranı %10 olarak hesaba dahil edilmiştir.Bu doğrultuda yapılan hesapta;

$$G\ddot{O}S = \sum G\ddot{O}S + (YNG\ddot{O}S/TYNA)$$

(Eşitlik 21)

$$G\ddot{O}S = 5.21 \text{ yıl}$$

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyonlarda ele alınan farklı iklim bölgelerinde bulunan İzmir, Ankara ve İstanbul şehirlerindeki aynı yapısal özelliklere sahip binalar için buldukları iklim bölgelerine özgün çözüm paketleri oluşturulmuştur. Her bölgede öncelikli olarak pasif çözümler değerlendirilmiş ve bu pasif çözümlerle üç şehirde de yıllık enerji tüketimi belirli bir oranda azalmıştır. İklim bölgelerinin özelinde tasarlanan farklı çözüm paketleri için yapılan simülasyonlarda;

- İzmir ilinde bulunan bina için bina kabuğunda duvar iç yüzeyinde bir santimetre kalınlığında faz değiştiren malzeme (FDM) kullanılması, pencere duvar oranının %30 oranından %24 oranına azaltılması, pencere dış yüzeylerinde gölgeleme elemanı kullanılması, HVAC sistemde havadan suya ısı pompası kullanılması, bina sıcak su ihtiyacının ısı pompasından sağlanması ve aydınlatma ekipmanlarında LED armatürler kullanılmasının optimum çözümler olduğu sonucuna varılmıştır. Herhangi bir önlem alınmadan önce yıllık birincil enerji tüketimi 160.41 kWh/m²yıl olan binanın tasarlanan bu çözüm paketi ile %52 oranında azalma ile 83.24 kWh/m²yıl tasarruf yapılarak 77.17 kWh/m²yıl değerine indiği sonucuna ulaşılmıştır. Çatı yüzeyine kurulan fotovoltaik panel sistemi ile toplamda 61 adet panel kullanılarak ihtiyaç olan 77.17 kWh/m²yıl enerjinin tümünün bu sistemden karşılandığı ve binanın net sıfır enerjili bina tanımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan ekonomik analizde İzmir ilinde sıfır enerjili bina tasarımı için toplam ilk yatırım maliyetinin 87565\$ olduğu, işletme ve bakım maliyetlerinin yıllık 715\$ olduğu ve toplam geri ödeme süresinin 6.82 yıl olmakla birlikte net bugünkü değer metoduna göre yirmi beş yıllık ekonomik ömürde sağlayacağı kar miktarının 23.153\$ olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Ankara ilinde bulunan bina için bina kabuğunda duvar dış yüzeyinde üç santimetre kalınlığında XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılması, pencere duvar oranının %30 oranından %15 oranına azaltılması, HVAC sistemde havadan suya ısı pompası kullanılması, bina sıcak su ihtiyacının ısı pompasından sağlanması ve aydınlatma ekipmanlarında LED armatürler kullanılmasının optimum çözümler olduğu sonucuna varılmıştır. Herhangi bir önlem

alınmadan önce yıllık birincil enerji tüketimi 167.43 kWh/m²yıl olan binanın tasarlanan bu çözüm paketi ile %49 oranında azalma ile 81.49 kWh/m²yıl tasarruf yapılarak 85.94 kWh/m²yıl değerine indiği sonucuna ulaşılmıştır. Çatı yüzeyine kurulan fotovoltaik panel sistemi ile toplamda 73 adet panel kullanılarak ihtiyaç olan 85.94 kWh/m²yıl enerjinin tümünün bu sistemden karşılandığı ve binanın net sıfır enerjili bina tanımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan ekonomik analizde Ankara ilinde sıfır enerjili bina tasarımı için toplam ilk yatırım maliyetinin 78975\$ olduğu, işletme ve bakım maliyetlerinin yıllık 775\$ olduğu ve toplam geri ödeme süresinin yirmi beş yıllık ekonomik ömür içerisinde 5.25 yıl olmakla birlikte net bugünkü değer metoduna göre yirmi beş yıllık ekonomik ömürde sağlayacağı kar miktarının 36312\$ olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

- İstanbul ilinde bulunan bina için bina kabuğunda duvar dış yüzeyinde iki santimetre kalınlığında XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılması, pencere duvar oranının %30 oranından %15 oranına azaltılması, pencere dış yüzeylerinde gölgeleme elemanı kullanılması, HVAC sistemde havadan suya ısı pompası kullanılması, bina sıcak su ihtiyacının ısı pompasından sağlanması ve aydınlatma ekipmanlarında LED armatürler kullanılmasının optimum çözümler olduğu sonucuna varılmıştır. Herhangi bir önlem alınmadan önce yıllık birincil enerji tüketimi 162.81 kWh/m²yıl olan binanın tasarlanan bu çözüm paketi ile %45 oranında azalma ile 72.58 kWh/m²yıl tasarruf yapılarak 90.23 kWh/m²yıl değerine indiği sonucuna ulaşılmıştır. Çatı yüzeyine kurulan fotovoltaik panel sistemi ile toplamda 80 adet panel kullanılarak ihtiyaç olan 90.23 kWh/m²yıl enerjinin tümünün bu sistemden karşılandığı ve binanın net sıfır enerjili bina tanımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan ekonomik analizde İstanbul ilinde sıfır enerjili bina tasarımı için toplam ilk yatırım maliyetinin 85155\$ olduğu, işletme ve bakım maliyetlerinin yıllık 810\$ olduğu ve toplam geri ödeme süresinin 5.21 yıl olmakla birlikte net bugünkü değer metoduna göre yirmi beş yıllık ekonomik ömürde sağlayacağı kar miktarının 26384\$ olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan tasarımların enerji etkin olması ile birlikte aynı zamanda maliyet etkin olarak da değerlendirilmesinden ötürü geri ödeme süreleri oldukça iyi sonuçlardır. Ancak binalardaki iyileştirmeler daha da artırılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Gerek ulusal gerek uluslararası yönetmeliklerle sıfır enerjili bina ve yaklaşık sıfır

enerjili bina tasarımları yasal zorunluluk haline gelmeye başladığından bu tasarımlara yönelik teknolojiler de gelişmekte olup bu tasarımlarda kullanılan ürün ve çözümlerin maliyet etkinliği artacaktır. Gelişen teknolojiler ve maliyet etkin çözümlerle dünyadaki sıfır enerjili bina sayısı artacak ve bununla orantılı olarak fosil enerji kaynaklarının tüketimi ve sera gazı salınımı azaltılmış olacaktır.



KAYNAKÇA

- Bayar, U. ve Atılgan, A. İ. (2015). *Yeşil ev tasarımı ve enerji analizi için uygulama örneği*. Mühendis ve Makina, 56(671), 41-52.
- Dal, A. R. ve Yılmaz, F. (2020). Ticari bir yat limanının elektrik ihtiyacının fotovoltaik(PV) teknoloji ile karşılanmasına yönelik bir inceleme. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1189-1204.
- Doğan, V. ve Çalışır, O. (2012). *Döşemeden(yerden) ısıtmada hesap yöntemi*. Bildiri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*(130), 44-50.
- Ekici, N. (2022). *Yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların finansal performans analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1-84.
- Ergün, E. H. (2019). *Bir konut için çift tanklı güneş enerjisi destekli ısı pompası uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1-81.
- Gariba, A. M. M. (2021). *Fonksiyonel derecelendirilmiş ti-b4c kompozit malzemelerin mekanik ve korozyon özellikleri*. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 1-96.
- Holman, J. P. (2012). *Experimental methods for engineers*. McGraw-Hill Book Yayınevi, 8. Baskı.
- İlten, N., Muslu, M. ve Caner, İ. (2019). Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazında kullanılan parametrelerin hata analizleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 53-62.
- Karacavus, B. (2017). Türkiye'nin belirli iklim bölgeleri için güneş enerjili sıcak su sisteminin optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3).
- Keskin, T. ve Ünlü, H. (2010). Türkiye'de enerji verimliliğinin durumu ve yerel yönetimlerin rolü. *Ekoloji Yayın Dizisi*, 1-140.

- Koçaslan, G. (2014). Türkiye'nin enerji verimliliği mevzuatı, Avrupa Birliği'ndeki düzenlemeler ve uluslararası-ulusal öneriler. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15(2), 1-17.
- Konuklu, Y. ve Paksoy, H. (2011). Review on using microencapsulated phase change materials(PCM) in building applications. *Energy and Buildings*, 134-155.
- Kuznik, F. ve Virgone, J. (2009). Experimental assessment of a phase change material for wall building use. *Applied Energy*, 86(10), 2038-2046.
- Okka, O. (2020). Mühendislik ekonomisi prensipler ve uygulamalar. 8. Baskı, Ankara, 2020.
- Öksüz, S. (2014). Güneş enerjisi sistemleri temel prensipler. TMMOB Makina Mühendisleri Odası (MMO). Ankara.
- Özkan, D. B. ve Onan, C. (2010). Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey. *Applied Energy*, 88(2011), 1331-1342.
- Perdahlıyan, E. ve Öztuna, S. (2021). Endüstriyel bir tesis çatısına fotovoltaik sistem kurulumu için tasarım ve hesaplamaları edirne örneği. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 1-206.
- PVGIS, Overview of PVGIS Data sources and calculation methods, European Commission-Photovoltaic Geographical Information System.
- Sağlam, B. (2015). *Farklı iklim tipleri için sıfır enerjili bina tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-77.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik(PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3(26), 90-106.
- Sattari, M. (2021). *Yaklaşık sıfır enerjili binaların(nSEB) Türkiye'de uygulanabilirliği üzerine bir inceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1-178.
- Tıkız, İ., Pehlivan, H. ve Mermer, M. (2018). Bina ısı yalıtım sistemlerinin incelenmesi ve optimizasyonu. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 8(2), 106-135.

- Tokuç, A. (2013). *Faz değişim malzemelerinin ısı enerji depolama amacıyla yapı elemanlarında kullanılması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-142.
- Topal, O. (2009). *Binalarda enerji verimliliği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-79.
- TS 825. (2009). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uyarel, A. Y. ve Öz, E. S. (1987). Güneş enerjisi ve uygulamaları. Birsen Kitabevi.
- URL-1, <https://www.buildingdoctors.com/service/net-zero>
- URL-2, <https://www.durusolarenerji.com.tr/urun-kategori/1/duru-solar-gunes-panelleri>
- URL-3, <https://www.smartsolar.com.tr/gunespanelleri.html>
- URL-4, <https://kalyonpv.com/Products/tr/m10-144-glass-glass.html>
- URL-5, <https://www.arcelik.com.tr/arcelik-solar-enerji>
- Ünal, Ö. Z. (2012). Use of the greenhouse system in aquaculture. *Aquaculture Studies*, 12(3), 024-030.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, I., Kaynaklı, O., Coskun, S. ve Yamankaradeniz, N. (2009). Refrigeration techniques and heat pump applications. Dora Company, Bursa, Turkey.
- YEGM (2014). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası.
- Yıldırım, E. ve Yeşilata, B. (2013). Düşük sıcaklıkta ısı kaynağı kullanan bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin termoekonomik optimizasyonu. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2), 111-117.
- Yıldız, Ö. F. (2017). *Erzurum Havaalanı Terminal Binasının enerji analizi ve net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmesinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1-184.

ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden ve eş zamanlı olarak Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi'nden mezun oldu. Üniversite döneminde Croydon, Londra'da İngilizce yabancı dil eğitimi aldı. Lisans programından mezun olduktan sonra Ford Otosan A.Ş.'de proses mühendisi olarak, Fortes Mühendislik A.Ş.'de şube müdürü olarak görev aldı. Şube müdürlüğü görevini yürüttüğü süreçte Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans Programına başladı. 2022 yılından itibaren Mitsubishi Electric Türkiye Elektrik Ürünleri A.Ş.'de ticari işletmelerde bakım, işletme süreçleri ve enerji çözümleri yöneticisi olarak çalışmaktadır.