

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM TİPLERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu SAĞLAM

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

AĞUSTOS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM TİPLERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burcu SAĞLAM
(503111104)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ARISOY

AĞUSTOS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111104 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burcu SAĞLAM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**FARKLI İKLİM TİPLERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet ARISOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hasan HEPERKAN**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erhan BÖKE
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Ağustos 2015**
Savunma Tarihi : **26 Ağustos 2015**

Aileme ve Arkadaşılarırma,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, çalışmanın her aşamasında yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen, değerli hocam Prof.Dr. Ahmet ARISOY'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme ve arkadaşlarıma tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ağustos 2015

Burcu Sağlam
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Metodoloji	5
2. ÖRNEK BİNALARIN ORTAK ÖZELLİKLERİ	7
2.1 Ortak Yapısal Özellikler.....	7
2.2 Ortak İç Yükler.....	8
2.2.1 Bina kullanımı ve kişi sayısı	8
2.2.2 Aydınlatma ve Elektrikli Ekipman Kullanımı	9
2.2.3 Sıcak su kullanımı	10
2.2.4 Bina ısıtma ve soğutma sistemi çalışma prensibi.....	11
2.2.5 Taze hava sistemi	12
3. TASARIM VE SİMÜLASYON İÇİN KULLANILAN PROGRAMLAR.....	13
3.1 EnergyPlus	14
3.2 OpenStudio.....	15
3.3 SketchUp	16
4. PASİF ÇÖZÜMLER.....	17
4.1 Bina Formu.....	17
4.2 Bina Kabuğunu Oluşturan Elemanlar	18
4.2.1 Dış duvar	19
4.2.1.1 Yalıtım malzemesinin belirlenmesi.....	21
4.2.1.2 Dış duvar yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	23
4.2.1.3 Yalıtım konumunun etkisi.....	26
4.2.2 Çatı	27
4.2.3 Döşeme.....	28
4.2.4 Pencere	29
4.2.4.1 Pencere duvar oranı.....	29
4.2.4.2 Pencere yönü	33
4.2.4.3 Pencere büyüklüğü ve tipi.....	33
4.2.4.4 Gölgeleme elemanlarının kullanımı	37
5. AKTİF ÇÖZÜMLER.....	41
5.1 Lokasyon ve İklim Özellikleri.....	43
5.2 VRF Sistemi	44
5.2.1 VRF sisteminin çalışma prensibi	45

5.2.2 VRF sisteminin avantajları ve dezavantajları.....	47
5.2.3 VRF ısı pompası sistemi ve örnek binalara uygulandışı	47
5.3 Fan coil Sistemi	49
5.3.1 Fan coil sisteminin çalışma prensibi	49
5.3.2 Fan coil sisteminin avantajları ve dezavantajları	49
5.3.3 Fan coil sisteminin örnek binalara uygulandışı	50
5.3.3.1 Çiller ve soğutma kulesinin seçimi	51
6. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	53
7. YENİLEBİLİR ENERJİ KULLANIMI.....	61
7.1 Proje Tasarımı	61
8. MALİYET ANALİZİ.....	67
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

SEMBOLLER

E_{aydınlatma}	: Binada aydınlatma için harcanan yıllık toplam elektrik tüketimi
E_{birincil}	: Binanın yıllık birincil enerji ihtiyacı
E_{birincil_elk}	: Binanın yıllık birincil elektrik tüketimi
E_{cihaz}	: Binadaki elektrikli ekipmanların yıllık toplam elektrik tüketimi
E_{doğalgaz}	: Binanın ısıtma yükü için yıllık toplam ısı ihtiyacı
E_{elektrik}	: Binanın birim alanda yıllık toplam elektrik ihtiyacı
E_{fan}	: Mekanik sistemdeki fanların yıllık toplam elektrik tüketimi
E_{soğutma}	: Binanın soğutma yükü için yıllık toplam elektrik ihtiyacı
E_{pompa}	: Mekanik sistemdeki pompaların yıllık toplam elektrik tüketimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1	: İzmir için dış duvar bileşenleri.	25
Çizelge 4.2	: Berlin için dış duvar bileşenleri.	25
Çizelge 4.3	: Yalıtım konumunun yıllık enerji ihtiyacındaki azalmaya etkisi.	26
Çizelge 4.4	: İzmir için çatı konstrüksiyonu.	27
Çizelge 4.5	: Berlin için çatı konstrüksiyonu.	27
Çizelge 4.6	: İzmir için döşeme konstrüksiyonu.	28
Çizelge 4.7	: Berlin için döşeme konstrüksiyonu.	28
Çizelge 4.8	: Berlin şehri için pencere duvar oranı.	31
Çizelge 4.9	: İzmir şehri için pencere duvar oranı.	32
Çizelge 4.10	: Berlin'deki bina tasarımında kullanılan camın özellikleri.	36
Çizelge 4.11	: İzmir'deki bina tasarımında kullanılan camın özellikleri.	36
Çizelge 5.1	: Kanak bazlı yıllık enerji tüketimi karşılaştırılması.	42
Çizelge 5.2	: Berlin ve İzmir şehirlerinin iklim özellikleri.	44
Çizelge 6.1	: Ortak yükler için yıllık enerji tüketimi.	53
Çizelge 6.2	: İzmir için fan coil sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.	54
Çizelge 6.3	: Site-kaynak enerji dönüşüm katsayıları.	54
Çizelge 6.4	: İzmir için fan coil sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.	54
Çizelge 6.5	: İzmir için VRF sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.	54
Çizelge 6.6	: İzmir için VRF sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.	55
Çizelge 6.7	: Berlin için VRF sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.	56
Çizelge 6.8	: Berlin için VRF sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.	56
Çizelge 6.9	: Berlin için fan coil sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.	57
Çizelge 6.10	: Berlin için fan coil sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.	57
Çizelge 6.11	: Berlin için fan coil sistemi ve yoğuşmalı kazan kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.	57
Çizelge 7.1	: Fotovoltaik panel özellikleri.	63
Çizelge 7.2	: İnverter özellikleri.	63
Çizelge 7.3	: Berlin ve İzmir için sistem tasarımı değerleri.	64
Çizelge 7.4	: Berlin için aylara ve yıllara gelen ışınlam, panel yüzey sıcaklığı ve üretilen enerji değerleri.	64
Çizelge 7.5	: İzmir için aylara ve yıllara gelen ışınlam, panel yüzey sıcaklığı ve üretilen enerji değerleri.	65
Çizelge 8.1	: Örnek binalar için yalıtım maliyeti.	67
Çizelge 8.2	: Fan coil sistemi maliyeti.	67
Çizelge 8.3	: Güneş enerjisi ilk yatırım maliyeti.	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: İzmir ili için simülasyonda temel alınan bina formu.	8
Şekil 2.2	: Bina doluluk oranı çizelgesi.	8
Şekil 2.3	: Aydınlatma yerleşimi seçenekleri.	9
Şekil 2.4	: Binadaki aydınlatma kullanım çizelgesi.	9
Şekil 2.5	: Binadaki elektrikli ekipman kullanım çizelgesi.	10
Şekil 2.6	: Hafta içi sıcak su kullanımı.	10
Şekil 2.7	: Hafta sonu sıcak su kullanımı.	11
Şekil 2.8	: Isıtma sistemi kış dönemi çizelgesi.	11
Şekil 2.9	: Soğutma sistemi yaz dönemi çizelgesi.	12
Şekil 3.1	: EnergyPlus program yapısı.	14
Şekil 3.2	: Simülasyon yöneticisi ve simülasyon prosesleri.	15
Şekil 3.3	: OpenStudio HVAC ara yüzü.	16
Şekil 3.4	: SketchUp ile çizilen bir bina ve programın ara yüzü.	16
Şekil 4.1	: Bina formlarına göre ısı kayıp oranları.	18
Şekil 4.2	: Duvar malzemelerinin yoğunlukları ve ısı iletkenlik değerleri.	20
Şekil 4.3	: Farklı duvar tiplerine göre yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketim miktarı.	20
Şekil 4.4	: XPS yalıtım malzemesi ve uygulaması.	22
Şekil 4.5	: EPS yalıtım malzemesi ve uygulaması.	22
Şekil 4.6	: İzmir için yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.	24
Şekil 4.7	: Berlin için yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.	24
Şekil 4.8	: İzmir ili için yalıtım-maaliyet analizi.	25
Şekil 4.9	: İzmir ve Berlin şehirleri için duvar kesiti.	26
Şekil 4.10	: İzmir ve Berlin şehirleri için çatı kesiti.	28
Şekil 4.11	: İzmir ve Berlin şehirleri için döşeme kesiti.	29
Şekil 4.12	: Berlin şehri için farklı pencere duvar oranına göre yıllık toplam enerji tüketimi.	30
Şekil 4.13	: İzmir şehri için farklı pencere duvar oranına göre yıllık toplam enerji tüketimi.	31
Şekil 4.14	: Berlin şehrindeki enerji etkin binanın dış görünümü (Doğu-Kuzey Cepheleri).	32
Şekil 4.15	: İzmir şehrindeki enerji etkin binanın dış görünümü (Doğu-Kuzey Cepheleri).	33
Şekil 4.16	: Berlin için farklı pencere tiplerine göre yıllık enerji tüketimi tüketimi.	35
Şekil 4.17	: İzmir için farklı pencere tiplerine göre yıllık enerji tüketimi tüketimi.	36
Şekil 4.18	: Pencereler için kullanılan çeşitli gölgelendirme elemanları.	37
Şekil 4.19	: Fotovoltik gölgelendirme elemanı kullanımı örneği.	38
Şekil 4.20	: Örnek binalar için kullanılan gölgelendirme elemanı tipi.	39
Şekil 4.21	: İzmir için gölgeleme elemanının konumuna göre yıllık enerji tüketimi.	39

Şekil 4.22	: Berlin için gölgeleme elemanın farklı cephelerdeki yerleşimine göre yıllık enerji tüketimi.....	40
Şekil 5.1	: Avrupa'daki konut binalarında enerji tüketimi dağılımı.....	41
Şekil 5.2	: Kaynak bazlı yıllık maliyet karşılaştırması.....	42
Şekil 5.3	: Tipik bir ısı geri kazanımlı VRF sistemi.....	45
Şekil 5.4	: İnverterli sistemlerde istenen sıcaklığa ulaşma süresi ve ayar sıcaklık tolaransı.....	46
Şekil 5.5	: VRF ısı pompası ile ısıtma ve soğutma yöntemi.	48
Şekil 5.6	: DX üniteli VRF sistemi.....	48
Şekil 5.7	: Fan coil sisteminde ısıtma ve soğutma grubu.	50
Şekil 5.8	: Fan coil sistemi soğutma grubu elemanları.....	52
Şekil 6.1	: İzmir şehri için VRF ve fan coil sistemlerinin karşılaştırılması.	55
Şekil 6.2	: Berlin şehri için VRF ve fan coil sistemlerinin karşılaştırılması.	57
Şekil 6.3	: Berlin şehri için iyileştirme yapılmış fan coil sistemine ait yıllık birincil enerji tüketimi.	59
Şekil 7.1	: En verimli güneş paneli açısı.	62
Şekil 7.2	: Örnek panel yerleşimi.	62
Şekil 8.1	: Berlin ve İzmir için maliyet karşılatırılması.	68

FARKLI İKLİM TİPLERİ İÇİN SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIMI

ÖZET

Dünyadaki enerji tüketiminin son yıllarda hızla artması ve fosil tabanlı enerji kaynaklarının giderek azalması nedeniyle enerji tüketiminde yapılması gereken tasarruf kaçınılmaz bir hal almıştır. Enerji tüketimindeki tasarruf öncelikle enerji ihtiyacını azaltmak sonra ise enerjiyi tüketecek olan sistemlerin yüksek verimli sistemler olması ile sağlanabilir.

Dünya üzerindeki enerji tüketiminin büyük kısmı, yaklaşık %35-%40'lık bölümü, yaşam alanlarındaki konfor şartlarının sağlanabilmesi için harcanmaktadır. Bu nedenle, binalardaki enerji tüketimini düşürebilmek için yüksek verimli bina tasarımları günümüzden büyük önem kazanmıştır.

Birçok ülkede hedef binaların tasarım parametrelerini oluşturabilmek için bir takım standartlar ve düzenlemeler yapılmaya başlanmıştır. Bu uygulamanın en önemli örneklerinden biri ise, yürürlüğe giren ve Avrupa Birliği ülkelerinin sorumluluğu tutulduğu Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'dir. Yönetmeliğin temel hedefi binalardaki enerji tüketimi azaltmak ve küresel ısınmanın etkisini indirgeyebilmek için sera gazlarının salınımını azaltmaktır. Bu bağlamda, yönetmelikte yüksek verimli bina olarak bahsedilen Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tanımı ile Avrupa ülkelerine bir referans oluşturulmuş ve 31 Aralık 2020 tarihi itibarıyla sorumlu olan her Avrupa ülkesindeki yeni yapılan her binanın Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina olması zorunluluğunu getirmiştir.

Bu tez çalışmasında, yönetmelikteki açıklamalar referans alınarak, geleneksel bir konut binasının yüksek verimli Net Sıfır Enerjili Bina veya Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina olabilmesi için pasif ve aktif çözümler kullanarak farklı çözüm paketleri oluşturulmaktadır. Çalışmadaki temel amaç olarak ise binanın bulunduğu iklim koşullarının önemini vurgulanmıştır. Bu nedenle, çözüm paketleri aynı bina kabuğu soğuk ve sıcak iklim bölgesinde ele alınarak tasarım yapılmıştır.

Soğuk iklim bölgesindeki incelemeyi gerçekleştirebilmek için Berlin, sıcak iklim bölgesindeki çalışma için ise İzmir pilot şehir olarak seçilmiştir. Oluşturulan çözümler veya alınan önlemler iklime özgün çözümler olduğundan, bir iklim kuşağında bulunan bina için geçerli olan tasarım kısıtları farklı bir iklim kuşağında bulunan bina için geçerli olmadığı hesaplamalar ile gösterilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada iklim etkeninin üzerinde durulmuş ve oluşturulan çözüm paketlerinin maliyet etkin olması için bir maliyet analizi yapılmıştır.

Çalışmada, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina için azami yıllık birincil enerji tüketimi 60 kWh/m² ve Net Sıfır Enerjili Bina için azami yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m² olarak tanımlanmıştır. Bu hedeflere ulaşabilmek için öncelikle pasif önlemler ile bina kabuğunun yapısı değiştirilmiştir. Bu aşamada bina için bulunduğu iklim koşullarına uygun çözümler üretilmiş ve bu çözümlerin kıyaslamaları sunulmuştur. Bu önlemler bina kabuğunun en önemli birleşenleri olan dış duvar ve pencereler başta olmak üzere diğer bileşenlerde de alınmıştır. Pasif önlemler incelenirken bina içerisinde

iklimlendirme sistemleri olmadığı kabul edilmiştir. Bu sayede binadaki enerji ihtiyacında meydana gelebilecek herhangi bir değişiklik daha kolay fark edilerek her bir parametrelerin önemi ortaya konulmuştur.

Binadaki tüketilmesi beklenen yıllık birincil enerji tüketimi optimum pasif çözümler ile birlikte en aza indirgendikten sonra binanın kullanım tipi, bulunduğu iklim koşulları ve yıllık tüketimleri göz önüne alınarak en uygun mekanik sistemler seçilmiştir. Bu seçim aşamasında ise her iki bina için fan coil ve VRF sistemleri değerlendirilmiş ve sistemler hakkında bilgiler verilmiştir. Her iki binada ısı pompalı VRF istemi ele alınmıştır. Fan coil sisteminde ise öncelikli olarak su soğutma grubu ve normal kazan kullanılmıştır. Su soğutma grubunun analizi için EnergyPlus programındaki veriler kullanılarak binaların soğutma yüklerine uygun su soğutmalı çiller ve soğutma kulesi seçimleri yapılmıştır. Soğuk iklim etkisi altında olan Berlin şehrindeki binanın simülasyonunda ısıtma için harcanan yıllık enerji tüketiminin fazla olması nedeniyle enerji tasarrufu yapabilmek için yoğunlaşmalı kazan seçeneği değerlendirilmiş ve sistemler arasındaki kıyaslamalar ilgili bölümlerde sunulmuştur.

Son aşamada ise, yenilenebilir enerji kaynağı olarak her iki binanın da rahatlıkla yararlanabileceği güneş enerjisi kullanılmış ve elektrik üretimi yapılmıştır. PVsyst programı ile her iki binanın aylık ve yıllık güneş ışıyım miktarları belirlenmiş ve optimum panel açıları saptanmıştır. Bu değerlere sadık kalarak panel yerleşimi için en uygun yer olan bina çatılarına yerleştirilebilecek maksimum panel sayıları bulunmuştur. Belirlenen miktarlar her bir bina için maliyet de göz önünde bulundurularak gözden geçirilerek iyileştirmeler yapılmıştır. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi ile her bir bina için Yaklaşık Sıfır Enerjili ve Net Sıfır Enerjili Bina hedefine ulaşılmıştır.

Ancak İzmir şehrindeki bina için üretilen güneş enerjisi yeterli oluyorken, iklim koşulları nedeniyle Berlin'deki elektrik üretiminin yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle Berlin'deki binanın Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina olabilmesi için geriye dönük iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler için öncelikli olarak bina dış kabuğundaki iyileştirmeler düşünülmüştür. Dış duvar, döşeme ve çatı konstrüksiyonundaki yalıtım kalınlığı artırılarak istenen hedefe ulaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında, örnek binalarının üç boyutlu modellemesi SketchUp programı ile hazırlanmıştır. Çalışmanın sayısal analiz kısmı için ise, Yıllık birincil enerji tüketimlerini hesaplama ve örnek binalarını simülasyonu, günümüzde mimar ve mühendisler tarafından sıklıkla tercih edilen EnergyPlus ve yardımcı ara yüzü olan OpenStudio programları kullanılmıştır. OpenStudio programında bina konstrüksiyon ayrıntıları, malzeme özellikleri, iklimlendirme sistemleri ve bunlara ait zaman çizelgeleri girilmiştir. Bunun dışında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilmesi için tasarımda PVsyst yazılımı kullanılmıştır.

ZERO ENERGY BUILDING DESIGN FOR DIFFERENT TYPES OF CLIMATES

SUMMARY

In recent years, due to increasing energy consumption and decreasing fossil fuel based energy resources, reducing energy consumption has become inevitable. Buildings consume 35% to 40% of the energy generated in the world to provide heating, ventilating, air conditioning and lighting. For this reason designing high efficiency buildings is essential to reduce the energy consumption in buildings. In order to reduce energy consumption the buildings' mechanical systems should be selected from high efficiency mechanical systems.

In many countries standards and regulations require the design of high efficiency buildings. One of the most important of these regulations is Energy Performance of Buildings Directive Recast (EPBD Recast) in the European Union. The main object of this regulation is to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions in order to reduce their effect on global warming. The Nearly Zero Energy Buildings regulation applies to all EU countries as of 31 December 2020. Starting on the 1st of January 2021 all new buildings must be constructed as Nearly Zero Energy Building to meet the requirements of very high energy performance buildings.

In this thesis, by taking the instructions in the regulations as a reference, the aim is to form solution packages for two sample buildings. Using one building example in a cold climate and one building example in a warm climate and then making passive designs and using active solutions in construction and mechanical systems in order to make traditional residence buildings Net Zero Energy Building or Nearly Zero Energy Building. Also, the instructions and examples in REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air-Conditioning Associations) were taken into consideration. Another important point of this study is to emphasize the importance of the climate conditions. The solution packages were formed by using optimum design solutions according to cold and warm climate conditions.

In order to analyse the cold climate zone and design the building for these conditions, the pilot city selected was Berlin, Germany. For the pilot city in warm climate Izmir, Turkey was selected. The reason for solution packages and precautions taken are specific to climate zones, it is shown by calculations and simulation results that design criteria cannot be suitable with the other climate conditions. Hence, this study emphasizes that the climate conditions have a major effect on the design conditions and to show the solution packages must be cost effective.

In the first chapter, aim and scope of this study was given. Studies by others and their results were included in a literature review. These studies are of energy analysis for building in different climates, building envelopes in Turkey's climate zones. Methodology of the study was also introduced in the chapter.

In the study, for Nearly Zero Building design, the annual primary energy consumption 60 kWh/m² is a maximum limit reference and 0 kWh/m² is taken as the annual primary energy consumption for Net Zero Energy Building design.

In order to achieve these results, firstly the building envelope was modified by using passive solutions. In the second chapter, the common properties of the buildings in different climates were given in detail; number of people, maximum power densities of lights and electric equipment and other loads. These values are compatible with the ASHRAE standards.

In the fourth chapter, firstly, a TS825 standard validated building was modelled and its heating and cooling energy demands were evaluated by using EnergyPlus. Calculations were made with weather data for Izmir and Berlin which can be considered as a sample location for cooling-weighted Mediterranean climate and for heating-weighted cold climate.

Then the passive solutions options were evaluated one by one through building energy simulation software. The precautions were taken in the building envelope especially in external walls and windows which are the primary components for a building envelope. First, the construction materials in walls, ground and floor were determined according to the cold and warm climates. Second solution is the insulation thickness of the construction. For external walls, roof and ground the insulation thickness was studied parametrically up to 30 cm. The external wall insulation thicknesses were taken 8 cm for Izmir and 15 cm for Berlin in order to design cost effective building.

By using insulation as mentioned before for the building in Izmir, the annual heating energy demand was reduced but annual cooling energy demand increased 6%. Also in Berlin, the annual heating energy demand was reduced substantially but, decrease in annual cooling energy demand increased approximately 17%. The analysis results show that any improvement on cooling energy demand in warm climate will have a substantial impact on total energy efficiency and any improvement on heating energy demand in cold climate will have a substantial impact on total energy efficiency.

The window-wall ratio was determined by using the standards (TS825) and results of the analysis. In order to reduce the heating energy demand in Berlin and cooling energy demand in Izmir window-wall ratios are taken 12% for Berlin and 24% for Izmir.

Following the window properties were determined for each climate zones by simulating different window type's data was selected from the EnergyPlus software library. Also, in Izmir, a film coated double pane window was used to decrease the effect of the sun's radiation. In Berlin triple pane window was used to benefit from the sun radiation.

Window shading was used to reduce the cooling energy demand in summer or springs. To determine the optimum solution the shading with the same shape at different angles were analysed through EnergyPlus. For both buildings, 90 degrees shading was used. In Izmir, all windows have a shading. In Berlin all windows have a shading except north side.

At this stage, optimum solutions were created according to the climate zone which building is affected. The simulation results and comparison studies were given in the related sections. During the analysis for passive solutions to observe the effects on annual energy consumption of the buildings, HVAC system of the building was deactivated. Thus, any changes in annual energy requirement of the buildings can be noticed easily and the importance of every parameter is shown by the results.

The estimated initial annual primary energy consumptions were reduced substantially by passive design and active solutions. In the fifth chapter, optimum HVAC systems were selected and applied for each building. As HVAC systems VRF heat pump and fan coil system were applied to the buildings. In fan coil systems water cooled chiller systems and boilers were used for both HVAC system templates and data was selected from the EnergyPlus software library. In Berlin, under the influence of cold climate conditions, the energy consumption for heating is too high and to reduce this number a condensing boiler was used.

In Berlin, by using VRF heat pump system, the annual primary energy consumption 136.17 kWh/m² while the annual primary energy consumption is saving 22.4% by using fan coil system. In Izmir, by using a fan coil system, the annual primary energy consumption is 94,86 kWh/m² while the annual primary energy consumption is saving 33,2% by using VRF heat pump system. The detailed comparison part was given in the sections of the fifth chapter.

In the final stage, solar energy which is widely used as renewable energy, was used for both climate zones, electricity was generated to decrease the annual primary energy requirement. The solar radiation data and optimum tilt angles for both climate zones were evaluated by using PVsyst software.

By considering these values, optimum places were selected on the roof to get the solar radiation with minimum loss and the maximum number of panels was calculated. By taking into considerations the determined results, some improvements were made to design a cost effective system. By generating energy as electricity from solar panels, Net Zero Energy Building or Nearly Zero Energy Building design was achieved in the study.

The annual solar energy production for Izmir satisfies the annual energy requirement of the building because of the climate conditions in Berlin the annual solar energy production was not sufficient to generate the annual energy requirement. In order to make the building in Berlin as Nearly Zero Building, some improvements were made retrospectively. Improvements to the building envelope including adding gradual insulation thicknesses to the external wall, roof and ground.

Finally, the aim of this study is achieved by the solution packages used. The annual primary energy consumption 0 kWh/m² for Izmir and 59,57 kWh/m² for Berlin by using solar energy. It's possible to improve this result by optimizing the using fan coil heat pump system for Berlin. Also using VRF heat recovery system for Izmir the annual energy requirement of the building can be reduced by providing cooling and heating as needed. Also, with the advance of technology better window type can be used for Berlin to gain more benefit from the solar radiation for heating in winter and to reduce the consumption for lighting. The high efficiency buildings are still too expensive and not cost affective but with the advance of technology the prices will drop and the high efficiency buildings numbers will increase.

In this thesis study, three dimensional modelling of the building was generated in SkeethUp. For the numerical solution part to evaluate the annual primary energy consumption was made in EnergyPlus software which is preferred by engineers and architectures in building energy analysis. The OpenStudio program was used for construction details, building envelope material properties and HVAC systems basics. In addition PVsyst software was used to calculate energy produced for each climate zones. Meteornorm data was used as meteorological reference.

1. GİRİŞ

Gelişen dünya nüfusu ile birlikte birincil enerji kaynaklarının giderek tükeniyor olması, ekolojinin olumsuz yönde etkilenmesine ve canlı türlerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Çağın en önemli sorunlarından biri olan enerji kullanımı, insanlığı enerji kaynaklarını çeşitlendirmek üzerine yeni kaynaklar aramaya ve yaratmaya yöneltmiştir.

Dünyadaki enerji tüketiminin hızlı bir biçimde artması sonucunda, hızla artan nüfus doğal enerji kaynaklarının tükenmesi sorunu ile karşı karşıyadır. Enerji kaynaklarının bilinçsizce tüketilmesi, kaynakların azalmasına, tüketim sonrası oluşan çevre kirliliğine ve maddi kayıplara neden olmaktadır. Enerji tüketiminin önemli bir kısmı yapıların ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır.

Son yıllardaki ekonomik büyüme, yeryüzündeki sanayileşme ve kentleşmenin giderek artmasına, dolayısı ile yeryüzündeki doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebin de artmasına sebep olmaktadır. Dünya’da ve ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık %35-40’ı binalarda kullanılmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012). Bu ihtiyaç ile beraber Net Sıfır Enerjili Bina ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina kavramları ortaya çıkmış, yapılarda bina dış kabuğunun yapısal özelliklerinin, verimli iklimlendirme sistemlerinin kullanımının, enerji geri kazanımının sağlanmasının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin büyük olduğu görülmüştür.

1.1 Tezin Amacı

Net Sıfır Enerjili Bina (net ZEB), fosil tabanlı enerji tüketimi yıllık 0 kWh/m^2 olan, tükettiği enerjinin büyük çoğunluğunu bina sınırlarında ya da çevresinde üretilen yenilenebilir enerji kaynağından elde eden ve enerji verimliliği yüksek olan binalardır. Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (nZEB) ise, yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m^2 ’den fazla olan binalardır. Birincil enerji binanın dışarıdan aldığı ve kullandığı enerjidir.

Binadaki ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, elektrikli ekipman ve sıcak su kullanımı için tüketilen enerji dikkate alınmaktadır.

Bilimsel literatür taramasında Net Sıfır Enerjili Bina'ya yönelik kesin tanımlamalar bulunmasına rağmen, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina kavramında, coğrafi konum vb. farklı etkenlerden dolayı net bir tanım bulunmadığı tespit edilmiştir. Yaklaşık sıfır enerjili bina verimlilik seviyesi ülke koşullarına bağlıdır (REHVA nZEB Raporu, 2013). Ülkeler, bulunduğu iklim koşullarına göre yıllık fosil enerji tüketiminin 0 kWh/m²'nin ne kadar üzerinde kalacağını gösteren üst sınır değerleri belirlemiştir.

Bu tez çalışmasında da, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina için azami yıllık birincil enerji tüketimi 60 kWh/m² ve Net Sıfır Enerjili Bina için azami yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m² olarak tanımlanmıştır. Sınır değerler belirlenirken, literatür çalışmalarda elde edilen değerler, enerji etkin binalardaki kullanılan enerjilerin dağılım yüzdeleri ve çekirdek bir ailenin yıllık elektrik tüketimi referans değer olarak alınmıştır. Çalışmada, belirtilen sınır değerleri sağlayabilmek için, farklı iki iklim kuşağında bulunan binanın yapısal özellikleri, kullanılan mekanik sistemler ve yenilenebilir enerji kaynaklarında değişiklikler yapılmış ve optimum olanlar seçilerek birbirinden farklı iki enerji etkin bina tasarımı elde edilmiştir. İklim tipleri açısından, soğuk ve sıcak iklim türleri değerlendirmeye alınmıştır. Soğuk iklim bölgesindeki incelemeyi gerçekleştirebilmek için Berlin, sıcak iklim bölgesindeki çalışma için ise İzmir pilot şehir olarak seçilmiştir.

Enerji etken bina tasarımında belirlenen hedef değerini sağlayabilmek için tasarım sırasında ele alınan önlemler söz konusudur. Bu önlemler dört ana başlık altında toplanabilir:

1. Bina kabuğunda alınabilecek önlemler
2. Yüksek verimli HVAC sistemlerin kullanılması
3. Enerji geri kazanımı sağlanması ve doğal güçlerden yararlanılması
4. Yenilebilir enerji kaynaklarını kullanması

Belirtilen dört farklı strateji ile farklı iklim kuşağında bulunan binalar için farklı çözüm demetleri söz konusudur. Bu çalışmanın bir başka özelliği de maliyet etkin olmasıdır. Buna paralel olarak, çalışma içerisinde bir maliyet mukayesesi yapılmış, var olan

Çözümlerin içinden uygun olanları seçilerek, uygun maliyetli Net Sıfır Enerjili Bina tasarımları oluşturulmuştur.

Literatüre bakıldığında, Net Sıfır Enerjili Bina ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina ile ilgili hem Türkiye’de hem de uluslara arası birçok araştırma yapılmıştır. Ancak konuyla ilgili, Türkiye’de çoğu Avrupa ülkesinde olduğu gibi net bir tanımlama yapılmamış, sınır değerler ve tasarım parametreleri açıkça ortaya koyulmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada incelenen şehirlerden biri Türkiye’den seçilmiştir.

Bu tezin amacı, pasif tasarım ve aktif çözümlerden yararlanarak, farklı iklim kuşağında bulunan aynı binanın bulunduğu koşullara göre Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina olabilmesi için bir çözüm paketi oluşturmaktır. Oluşturulan çözümler özgün çözümler olduğundan, bir iklim kuşağında bulunan bina için geçerli olan tasarım kıstasları farklı bir iklim kuşağında bulunan bina için geçerli değildir. Bu nedenle, bu çalışmada iklim etkeninin üzerinde durulmuş ve oluşturulan çözümlerin sadece yapılabilirliğinin değil maliyet etkin olması da göz önünde tutulmuştur.

1.2 Literatür Araştırması

Net Sıfır Enerjili ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Binaların tasarım stratejileri ile ilgili olarak yapılan araştırmalara ilişkin literatürde yer alan aşağıdaki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların bir kısmı niversiteler tarafından yürütülen tez çalışmaları, bir kısmı da uluslararası raporlardır.

Konuyla ilgili olarak, REHVA’nın (Avrupa Isıtma, Havalandırma ve Klima Dernekleri Federasyonu) raporu bulunmaktadır. Bu raporda, ülkelerin Net Sıfır Enerjili Bina tanımlarını ya da yaklaşımlarını, ilgili sistem için gelecek planlarını ve sistem sınırlarını oluşturan tasarım parametrelerinden bahsedilmektedir. 2013 yılında yayımlanan rapor ile uygun yöntem ile ulusların birincil enerji tüketimlerini hesaplayabilmeleri için nZEB için teknik tanımı güncellemiştir. 2006 Yılında NREL tarafından yayınlanan bir çalışmada ise, nZEB’in tanımlaması, kesin sınır ve değerlere ihtiyaç duyulmasının nedenleri ve Net Sıfır Enerjili Bina’yı hedeflemek için nasıl bir yol izlenmesi gerektiğinden bahsedilmiştir.

zkan ve Onan (2010) Türkiye’deki farklı iklim bölgelerinde optimum yalıtım kalınlığının değeri üzerine maliyet hesabı içeren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu alışma sonucunda, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda 1.Bölge’de

bulunan bir yapı için optimum yalıtım kalınlığının taş yünü için 3,488 cm ve XPS için 4,024 cm olduğunu hesaplamıştır. Bununla beraber, ilgili malzemeler kullanıldığında birim alan başına 9,9 \$ ve %15 enerji tasarrufu yapılabildiğini vurgulamıştır.

Ünlü (2010) çalışmasında enerji etken ofis binalarında mekanik sistemlerin seçimi sırasında enerji tüketimi etkilen parametreler üzerinde durmuş ve bunu yaparken Türkiye'deki yasal zorunlulukları da ele almıştır. Kurnitski ve diğ. (2011) Estonya'daki bir konut binasının yıllık birincil enerji tüketiminin 180 kWh/m²'den 110 kWh/m²'ye kadar indirilebileceğini göstermiştir.

Ünsal (2012) çalışmasında farklı pasif çözümler kullanarak, Türkiye'nin beş farklı ilinde bulunan TOKİ konut binasına ait yıllık ısıtma ve soğutma enerjilerindeki değişimleri sunmuştur. Bu çalışmada Türkiye iklimi farklı 5 iklim bölgesine bölünmüş pilot şehirlerin arasında İzmir, İstanbul ve Erzurum da ele alınmıştır. Kapsalaki ve diğ. (2012) dünyanın herhangi bir yerinde herhangi bir sıfır enerjili konut için uygulanabilecek, yerel iklim, enerji kaynaklarının ve ekonomik şartların etkilerinin incelendiği ve göz önüne alındığı bir çözüm yöntemi oluşturmuştur.

Oliveria Panão ve diğ. (2013) ise Akdeniz Bölgesi içerisinde Yaklaşık Sıfır Enerjili bir binanın yıllık birincil enerji tüketiminin alt sınırının ne olması gerektiği konusu üzerinde durmuştur. Thalfeldt ve diğ. (2013) Paris'te bulunan binanın enerji simülasyonunu yaparak farklı senaryo ve tasarım çözümleri için yıllık birincil enerji tüketimlerini elde etmiştir. Gallo ve diğ. (2013) ise incelemelerinde Net Sıfır Enerjili bir Bina tasarımında Güneş Enerjisinin farklı kullanımlarının etkilerinden bahsetmiştir.

Feldmann (REHVA Dergi, 2013) tasarım parametrelerini de belirterek, Fransa için yıllık birincil enerji tüketimi üst sınırının 50 kWh/m² olduğunu dile getirmiştir. Barthelmes ve diğ. (2014) EnergyPlus programını kullanılarak, EPBD (Avrupa Birliği Binalarda Enerji Performansı Direktifi) ile uyumlu yaklaşık sıfır enerjili konut binalarını modelleyerek İtalya için referans değerler elde etmiştir. Bunun yanı sıra, çalışma içerisinde maliyet analizi yaparak ülke ekonomik koşullarının tasarım üzerindeki etkilerini vurgulamışlardır. Bu çalışmada, yıllık birincil enerji tüketimi belirli bir değerin üzerinde olan ve kullanılan 16 senaryo sonrasında, şehir şebekesine enerji sağlayarak yıllık tüketimini düşüren bina tasarımları üzerinde durulmuştur.

1.3 Metodoloji

Çalışmada ilk olarak TS825'e göre örnek bir bina ele alınmıştır. Binanın soğuk iklim ve sıcak iklim koşullarına göre yıllık toplam birincil enerji tüketimi, belirlenmiştir. Enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için EnergyPlus programı kullanılmıştır. EnergyPlus programında öncelikli olarak pasif çözümler değerlendirilerek en uygun olanları kullanılmış, binanın mimari tasarımında değişiklikler yapılmış ve enerji ihtiyaçları en aza indirilmiştir. Sonraki aşamada ise, binanın mimari özellikleri ve kullanım tipi göz önüne alınarak ısı geri kazanımlı uygun mekanik sistemler seçilmiştir. Son bölümde ise binanın enerji üretimi olmadan yıllık tüketeceği birincil enerji miktarı belirlendikten sonra uygun yenilebilir enerji sistemi seçilerek yıllık tüketiminin ne kadar düşürülebileceği gösterilmiştir.

2. ÖRNEK BİNALARIN ORTAK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, farklı iki iklim kuşağı olan soğuk ve sıcak iklim için farklı iki bina simüle edilmiştir. İki binaya ait yıllık birincil enerji tüketimlerini hedef değerin altında kalabilmesi için pencere duvar oranı, duvar malzemeleri, pencere konstrüksiyonu, duvar yalıtım kalınlığı gibi birçok özellik yönünden birbirinden ayrılmaktadır.

Ancak binanın toplam alanı, kat sayısı ve daire sayısı gibi mimari özelliklerinin ve insan yoğunluğu, aydınlatma ve elektrikli ekipman yükü, sıcak su kullanımı gibi iç yüklerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

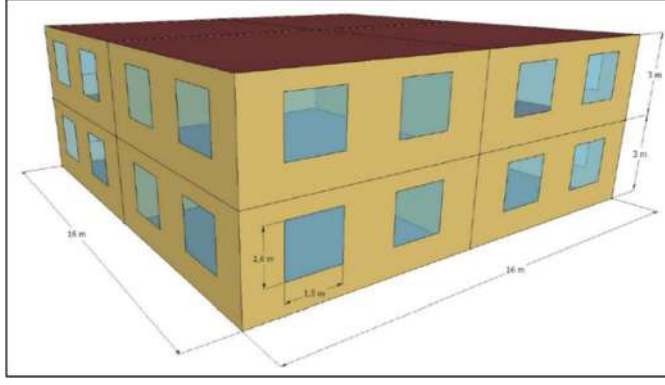
Binalara ait pencere duvar oranı, konstrüksiyon özellikleri ve cephelerdeki pencere dağılımı, binanın bulunduğu iklim kuşağına göre tasarlandığı için bu özelliklerden Bölüm 4'te bahsedilmiştir.

2.1 Ortak Yapısal Özellikler

Seçilen bina tipi dünyanın her iklim bölgesinde inşa edilebilecek iki katlı konut binasıdır. Bina 16 m eninde, 16 m boyunda ve 6 m yüksekliğindedir. Toplam 2 kat olan binanın her bir katı 256 m² olup toplam alan 512 m²'dir. Her bir katta 4 daire bulunmakta ve her bir dairenin işgal ettiği alan 64 m²'dir. Döşemeden döşemeye olan kat yüksekliği 300 cm olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışmada yönlere bağlı olan değişikliklerin daha açık bir biçimde ortaya konulması için binanın dört farklı yöndeki cepheleri birbirine simetrik olarak düşünülmüş olup dış duvar ve pencere alanları cephelere göre farklılık göstermemektedir. Bina çatı tipi teras çatı tipidir. Bununla beraber çatı arası kat ve bodrum kat bulunmamaktadır.

Şekil 2.1'de İzmir için simülasyonda kullanılan binanın farklı iki cepheden görünüşü görülmektedir.



Şekil 2.1 : İzmir ili için simülasyonda temel alınan bina formu.

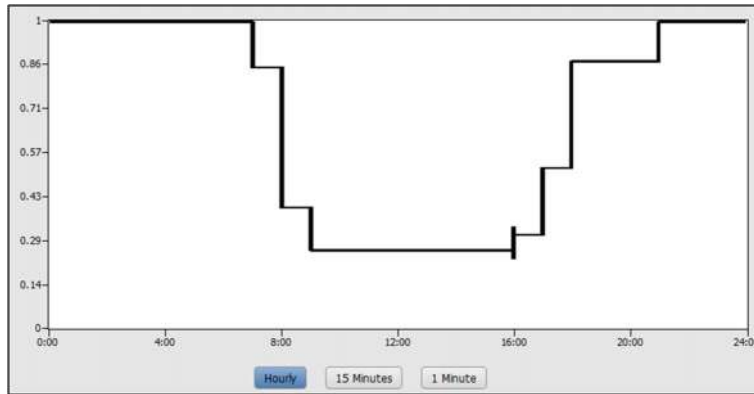
2.2 Ortak İç Yükler

Uygulama çalışmasında tüm hesaplamalar, ASHRAE veri dosyasının EnergyPlus simülasyon programına aktarılmasıyla yapılmıştır. Girilen verilerin aksi belirtilmedikçe tüm sistem değerleri ASHRAE 90.1 ve 189.1 ile uyumludur. Dış iklim verileri seçilen şehirlere göre EnergyPlus programının veri tabanından alınmıştır.

2.2.1 Bina kullanımı ve kişi sayısı

Bina konut binası olduğu insan yoğunluğu $0,0283 \text{ insan/m}^2$ olarak belirlenmiş ve her bir dairede 2 kişi yaşadığı kabul edilerek binadaki toplam kişi sayısı 16 olarak alınmıştır.

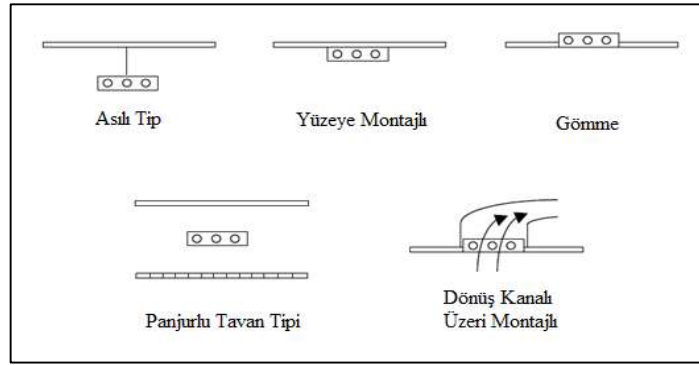
Buna ek olarak, bina kullanım tipinin yine konut binası olduğu düşünülmüş ve gün içerisindeki kullanım çizelgesi girilerek, en az 0 en fazla 1 olmak üzere katsayı değerleri ile bina kullanımı tanımlanmıştır. Şekil 2.2’de gün içerisinde bina doluluk oranı çizelgesi sunulmuştur.



Şekil 2.2 : Bina doluluk oranı çizelgesi.

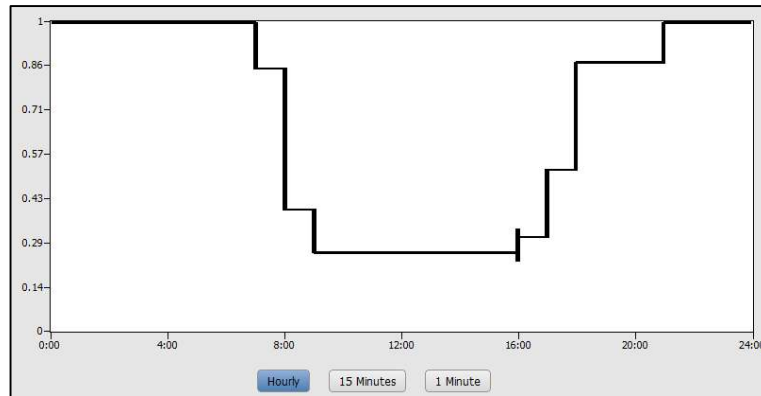
2.2.2 Aydınlatma ve Elektrikli Ekipman Kullanımı

Net Sıfır Enerjili ya da Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tasarımında aydınlatma ve elektrikli ekipman yüklerinin önemi büyüktür. Bunun nedeni, enerji tüketimi sadece aydınlatma işinin yapılması ve elektrikli ekipmanların çalışması için kullanılan enerji değildir. Bu yükler ile beraber aydınlatma ve ekipmanlardan yayılan ısıнын soğutma yükünün artmasına sebep olmasındır. Bu nedenle aydınlatma armatürlerinde ısı yaymayan armatürlerin seçildiği düşünülmüştür. Ayrıca, EnergyPlus programında aydınlatmadan yayılan ısıнын en aza indirgenebilmesi için tavanda yapılabilecek farklı aydınlatma yerleşimleri bulunmaktadır. Her iki örnek binadaki aydınlatma yerleşimi için Şekil 2.3'teki asılı tip yerleşimi kullanmıştır.

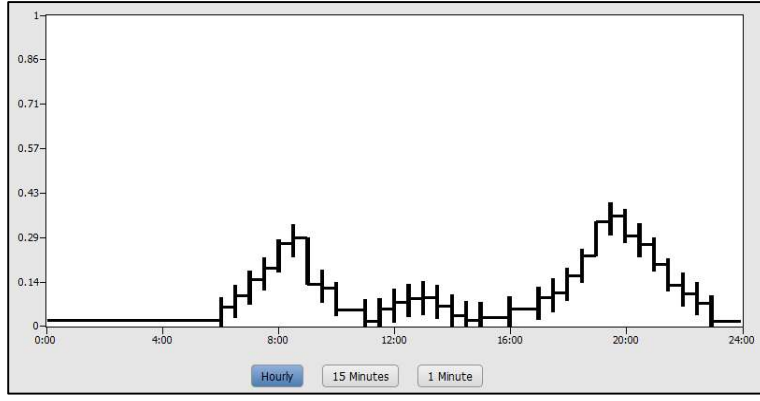


Şekil 2.3 : Aydınlatma yerleşimi seçenekleri.

Binanın gün ışığından belirli saatlerde verimli biçimde yararlanabileceği düşünülerek aydınlatma yükü $4,5 \text{ W/m}^2$ elektrikli ekipman yükü ise $2,98 \text{ W/m}^2$ olarak alınmıştır (Barthelmes ve diğ., 2014). Bu değerler ile birlikte, gün içerisinde binadaki aydınlatma ve elektrikli ekipman kullanımını gösteren çizelgeler Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te sunulmuştur. Çizelgeler hazırlanırken, çekirdek bir ailenin yıllık elektrik tüketimi dikkate alınmıştır.



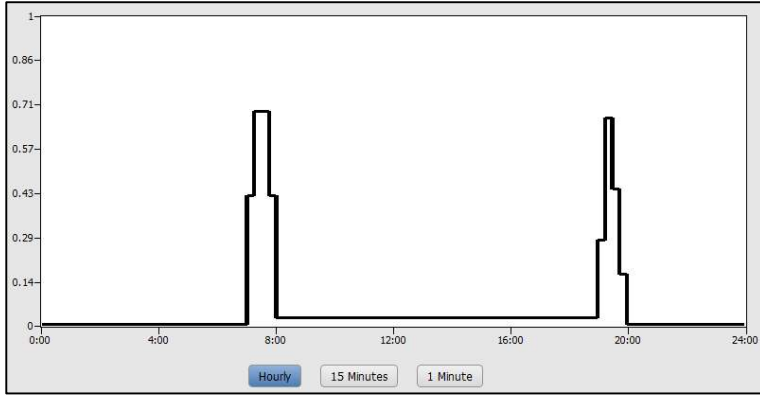
Şekil 2.4 : Binadaki aydınlatma kullanım çizelgesi.



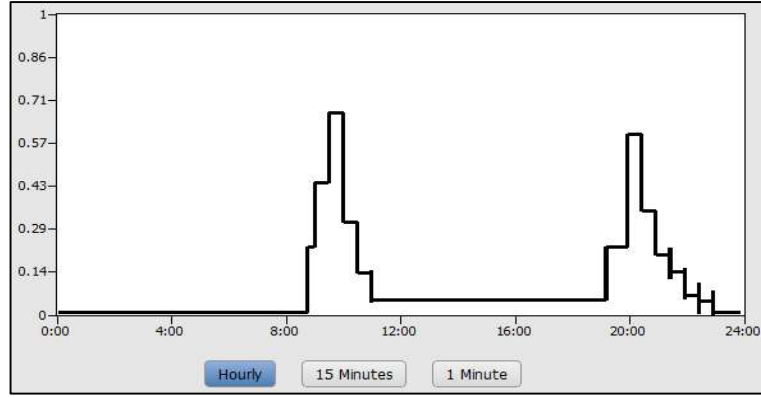
Şekil 2.5 : Binadaki elektrikli ekipman kullanım çizelgesi.

2.2.3 Sıcak su kullanımı

Binada toplam, 1 adet duş ve 2 adet eviye bulunmaktadır. Sıcak su kullanımının sabah ve akşam saatlerinde azami yük olacağı kabul edilmiştir. Duş kullanımı için belirlenen yük 7,6 L/dk alınırken eviye için belirlenen kullanım yükü ise 5,7 L/dk'dır. Ek olarak, gün içerisinde binadaki hafta içi ve tatil günleri olan hafta sonu için sıcak su kullanımını gösteren çizelgeler Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de sunulmuştur. Çizelgeler hazırlanırken, çekirdek bir ailenin yıllık sıcak su tüketimi dikkate alınmıştır.



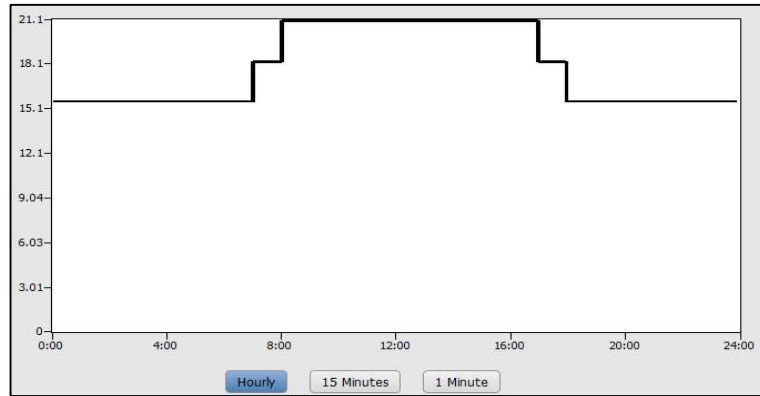
Şekil 2.6 : Hafta içi sıcak su kullanımı.



Şekil 2.7 : Hafta sonu sıcak su kullanımı.

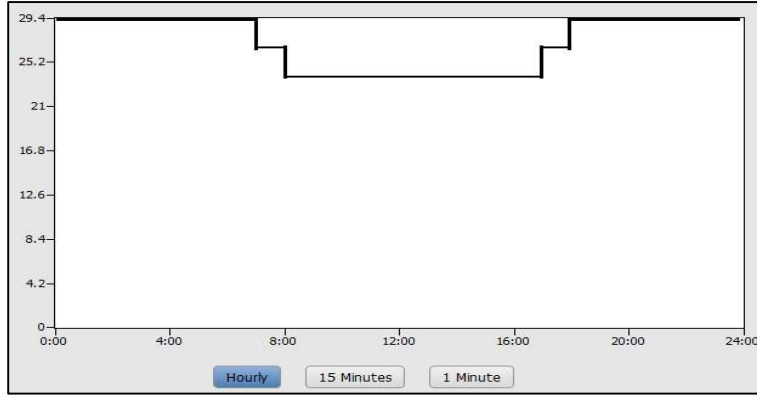
2.2.4 Bina ısıtma ve soğutma sistemi çalışma prensibi

Isıtma ve soğutma sistemlerinin çalışma düzeni, Türkiye ve Almanya'daki iklim koşulları dikkate alınarak EnergyPlus programının verileri doğrultusunda oluşturulmuştur. Isıtma sistemi, kışın mahal sıcaklığı gündüz 21°C 'nin ve gece $15,6^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmesi durumunda devreye girecektir. Isıtma sisteminin kış dönemi çizelgesi Şekil 2.8'de sunulmuştur.



Şekil 2.8: Isıtma sistemi kış dönemi çizelgesi.

Soğutma sistemi ise yazın gündüz mahal sıcaklığı gündüz 24°C 'nin ve gece $29,4^{\circ}\text{C}$ 'nin üstüne çıkması durumunda devreye girecek biçimde ayarlanmıştır. Soğutma Sistemi'nin yaz dönemi ait çizelgesi Şekil 2.9'da sunulmuştur.



Şekil 2.9 : Soğutma sistemi yaz dönemi çizelgesi.

2.2.5 Taze hava sistemi

Binadaki havalandırma tesisatı ASHRAE 90.1 standartına uygun olarak tasarlanmıştır. Standarta göre konut binalarında kişi başına havalandırma ihtiyacı dikkate alınarak $0,0236 \text{ m}^3/\text{s.kişi}$ kabul edilmiştir. Buna ek olarak, mahaldeki hava değişimini sağlayabilmek için ise $0,0003 \text{ m/s}$ taze hava beslemesi öngörülmüştür. Binadaki bu hava değişimi soğuk iklim ve sıcak iklimde kullanılan mekanik sisteme uygun farklı hava şartlandırma üniteleri kullanılarak kıyaslamaları sunulmuştur.

3. TASARIM VE SİMÜLASYON İÇİN KULLANILAN PROGRAMLAR

Binalardaki enerji tüketimi ve enerji tasarrufunun ekonomiye etkisi, sürdürülebilirlik ve doğal kaynakların hızla yok olması nedeniyle simülasyon programlarının önemi artmıştır. 1960'lı Yıllarda geliştirilmeye başlanan simülasyon programları günümüzde oldukça hassas duyarlılıklarla, çok çeşitli parametreleri göz önüne alarak ve sistem etkileşimlerini hesaba katarak farklı durumları simule edebilen programlar haline gelmiştir. Programların birçoğu binanın mimari tasarımındaki en ufak ayrıntıdan, binanın işletme yaşamı boyunca karşılaşıacağı enerji, çevresel ve ekonomik açılarda durumunun incelemesini sağlayabilecek nitelikte bilgisayar tabanlı programlardır.

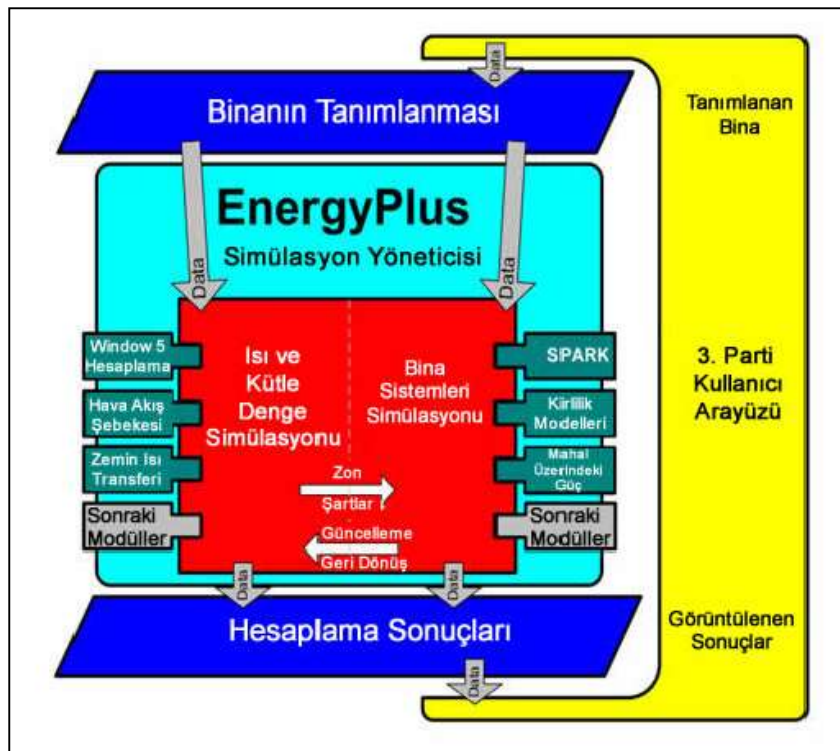
Simülasyon programlarındaki en sık karşılaşılan problemler arasında programın ara yüzünün kullanışlı olmaması, ihtiyaç duyulan verilerin elde edilerek programa aktarılması ve programların kullanıcıya getirdiği kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu nedenle, binanın gerçek performansının belirlenebilmesi için, kullanılması planlanan programların seçiminde bu ayrıntılar göz önünde bulundurulmalıdır.

En sık tercih edilen programlar arasında Design Builder, HAP, Trnsys, Ecotect ve EnergyPlus bulunmaktadır. Ecotect programı daha çok mimarların kullanımı için tasarlanmış, Trnsys ise yeni başlayan kullanıcılar yerine bu alandan belli bir uzmanlığı olan kullanıcılar için tasarlanmıştır (Aktacir ve diğ., 2011). HAP ise projelendirme aşamasında genel olarak minimum koşullarıyla fazlasıyla sağlayan ve ülkemizde TTMD tarafından da yeni kullanıcıları bilgilendirmek tecrübeli kullanıcıları ise yeni bilgi ve güncellemelerden haberdar etmek için eğitimleri düzenlenen bir yazılımdır.

Bu çalışmada, binanın enerji simülasyonu için Amerika Birleşik Devletleri tarafından desteklenen ve oldukça yaygın kullanılan EnergyPlus programı, binanın fiziksel verilerinin aktarılabilmesi için EnergyPlus programının ara yüzü niteliğinde olan OpenStudio programı ve binanın mimari tasarımı için SketchUp programı kullanılmıştır. Programlar ücretsiz olarak resmi sitelerden herhangi bir ücret ödenmeden indirilebilir.

3.1 EnergyPlus

EnergyPlus programı binaların enerji simülasyonunun yapılabilmesi için ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarına ait sistemlerin modellenmesini sağlayan ve çok yaygın kullanılan bir yazılımdır. EnergyPlus, DOE-2 ve BLAST programları temel alınarak geliştirilmiş, yüksek hesaplama kapasiteli bir bina enerji simülasyon programıdır. Öyle ki, 15 dakikalık zaman dilimleri ile adım adım hassas hesaplamalar yapabilir. Bir başka önemli özelliği ise, programın dünya genelinde 550 noktaya ait iklim verilerini kullanıcıya sağlayabilmektedir. Yazılımın program yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : EnergyPlus program yapısı.

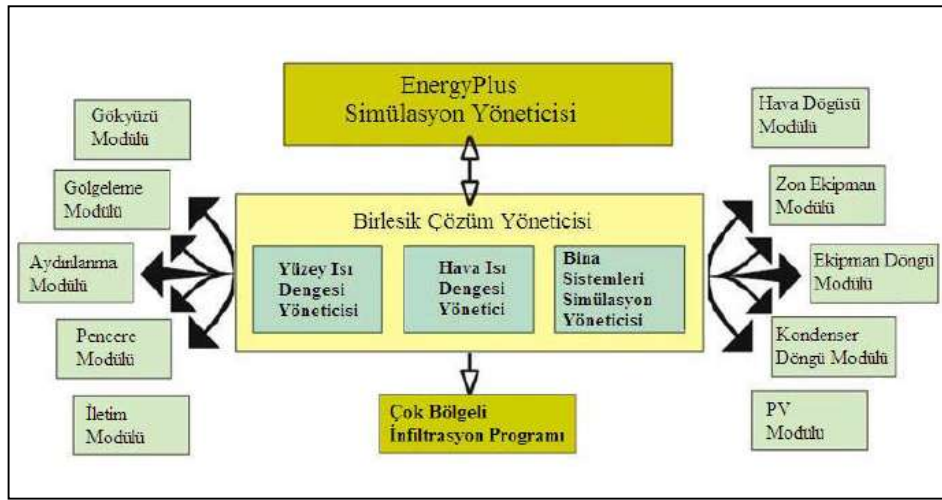
EnergyPlus sayesinde tasarım aşamasında olan yeni binaların veya iyileştirme yapılması gereken mevcut binaların enerji performansı yapılabilmektedir. Bu bağlamda, sistemler test edilebilmekte ve uygulamaya geçilmeden önce bina için optimum olan çözüm seçilebilmektedir.

Ancak, EnergyPlus programının diğer yazılımlar gibi geliştirilmiş gerçek anlamda bir ara yüzü bulunmamaktadır. Program girdi ve çıktıları basit metin dosyalarından oluşmaktadır. Bu durum diğer ticari firmalar tarafından geliştirilen ara yüzler sayesinde çözülmüştür. Program veri girişi IDF adı verilen metin dosyası sayesinde

yapılabilmektedir. Bu işlemde bütün HVAC donanım ve verimlerini tek tek IDF-Editor'a girmek ve sistemleri birbirleriyle ilişkilendirmek gerekir.

Program aynı zamanda, LEED (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik) sertifikasyonu için gerekli bina enerji modellemesi için çıktı verebilmektedir. Programın en güncel özellikleri arasında çok zonlu sistemlerin hava akışı, yakıt pilleri ve elektrik enerjisi dağıtımının simülasyonları yer alabilir (Aktacir ve diğ., 2011).

EnergyPlus üç temel yapıdan oluşur; simülasyon yöneticisi, ısı ve kütle denge simülasyon modülü ve bina sistem simülasyon modülü (Crawley ve diğ., 2001). Simülasyon yöneticisi ve simülasyon prosesleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



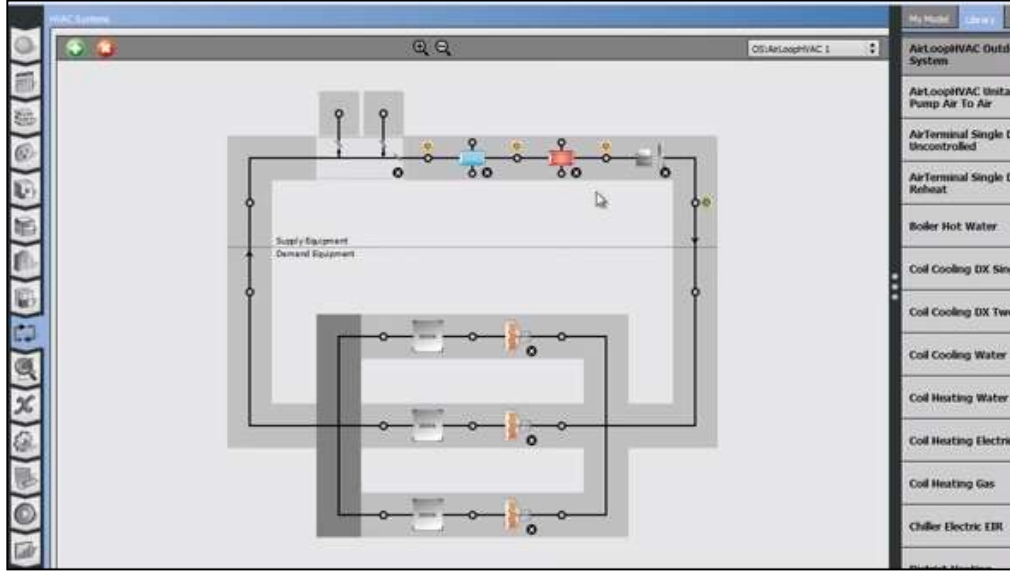
Şekil 3.2: Simülasyon yöneticisi ve simülasyon prosesleri.

3.2 OpenStudio

EnergyPlus programında IDF-Editor'a veri girişlerinin çok uzun zaman alması nedeniyle, program için ticari şirketlerce ara yüz programları geliştirilmiştir. Ara yüz olarak çok sık kullanılan programlar arasında OpenStudio programı bulunmaktadır. OpenStudio programı EnergyPlus programı için IDF dosyasını oluşturmaktadır. Ashrae standartlarını dikkate alan programın kullanımı basit ve etkili bir programdır. Program, bina dış kabuğunun fiziksel olarak oluşturulmasına, bina kullanımının ve içindeki sistemlerin çizelgelerinin kullanıcı ve standartlar doğrultusunda oluşturulmasına, HVAC sistemlerinin seçilmesine izi vermektedir.

Ancak, programın bazı getirdiği kısıtlamalar sonucu, bazı HVAC sistemlerinin seçilememesi veya eksik kalması nedeniyle, programın çalıştırılmasının sonucu olarak verilen output dosyası olan IDF metin dosyasına, EnergyPlus programında eklemeler

yapılması gerekmektedir. Şekil 3.3’de OpenStudio programındaki HVAC seçimi için kullanılan ara yüz görülmektedir.



Şekil 3.3: OpenStudio HVAC ara yüzü.

3.3 SketchUp

OpenStudio programı ile birlikte kullanılabilen SketchUp programı birçok alanda kullanılmaktadır. Geniş kullanıcı kitlesi arasında kullanım alanı ve özelliğine göre mimarlar, mühendisler, film yapımcıları, oyun geliştiricileri ve 3 boyutlu modelleme gerektiren hemen her alandaki kullanıcılar için tasarlanmış bir yazılımdır. Şekil 3.4’de SketchUp programı ile oluşturulan bir bina tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : SketchUp ile çizilen bir bina ve programın ara yüzü.

4. PASİF ÇÖZÜMLER

Net Sıfır Enerjili ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Binaların tasarımı sırasında dikkate alınması gereken öncelikli kıstas binanın bulunduğu iklim koşullarıdır. Bölgede etkin olan iklim şartlarından sonra ise binadaki enerji tüketiminde tasarruf sağlayabilecek farklı çözümler bulunmaktadır. Bu çözümler pasif tasarım ve aktif çözümler olmak üzere ikiye ayrılır.

Çalışmanın bu bölümde, binanın mimari yapısından yola çıkılarak farklı çözüm seçenekleri ile binadaki yıllık birincil enerji tüketimini en az indirmek için pasif çözümleri tanıtılacak ve uygun olanlar kullanılacaktır. Pasif Çözüm, binanın mimari biçimi ve yapısal özelliklerinin bulunduğu iklim koşullarına göre değiştirilerek enerji tasarrufu sağlayabilmek oluşturan çözüm paketlerinin tümüdür.

Bunun dışında, mimari tasarım sırasında binanın arazideki coğrafi konumu, bulunduğu yer yani mevcut doku ile ilişkisi ve binanın yönlendirilmesi gibi diğer etkenlerinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin, binanın arazideki konumuna göre güneş ya da rüzgar enerjisinden yararlanabilir, bulunduğu yere göre rüzgarlı olması ya da güneş ışınımının fazla olması binanın konfor şartlarını etkileyebilir.

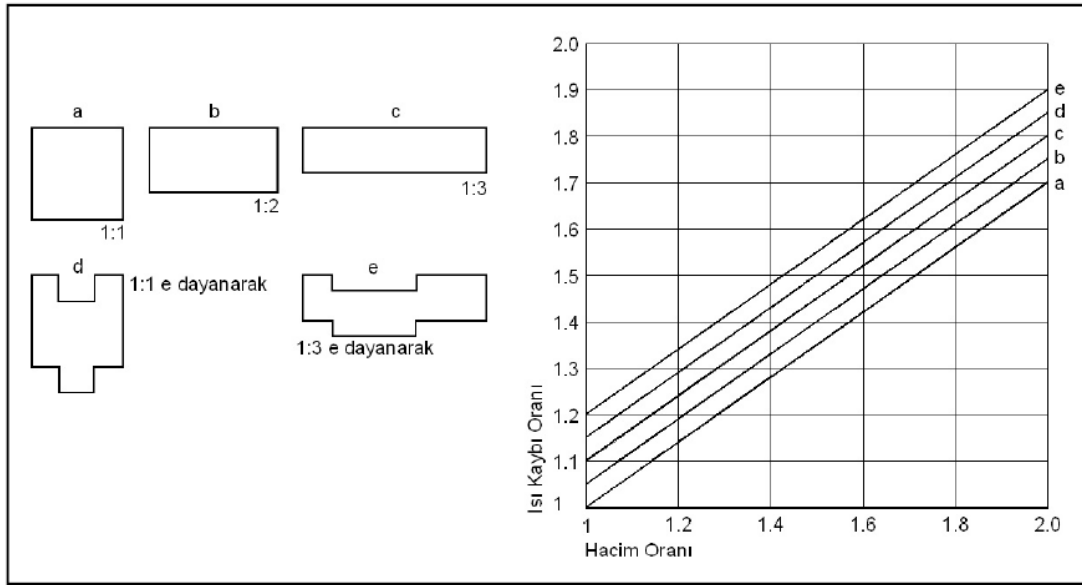
Ancak bu çalışmada bu parametreler dikkate alınmamış, çalışmada tüm cepheler özellik olarak birbirinin simetriği olduğundan yukarıda belirtilen etkenler bu simülasyonda göz ardı edilmiştir. Bu nedenle, uygulamaya geçilmesi durumunda bu parametreler dikkate alınması durumunda yıllık birincil enerji tüketimi beklenenden az bir enerji etken bina tasarlanmış olacaktır.

4.1 Bina Formu

Bina formu biçim faktörü, bina yüksekliği, çatı türü, çatı eğimi ve cephe eğimi gibi binaya ilişkin geometrik değişkenler aracılığıyla tanımlanmaktadır (Ünsal, 2012). Hacmin yatay ve düşey boyutları, hacmi çevreleyen elemanların ve dolayısıyla kabuk elemanının yüzey alanı, farklı yönlerde ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı alanları ile

çatı-cephe yüzeyleri arasındaki oranlara bağlı olarak bina formu değişiklikler göstermektedir (Yılmaz, 2006).

Binanın taban alanı aynı olsa bina formunun yani genişliğin derinliğe oranının değişmesi durumunda binada oluşan ısı kayıp ve ısı kazanç oranı değişmektedir. Bunun nedeni bina formu değiştikçe artan ya da azalan kabuk yüzeyidir. Şekil 4.1’de aynı hacim ve aynı yüksekliğe sahip binaların farkları formlarına göre ısı kayıp oranları gösterilmektedir (Burberry, 1979).



Şekil 4.1 : Bina formlarına göre ısı kayıp oranları.

Basit geometrik yapılarda binanın ısı kayıp ve ısı kazanç yükleri daha az olmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında, simülasyon için kullanılan örnek binaların bina formu en basit bina formu olan 1:1 form seçilmiş, bir kenarının ölçüsü 16 m olan kare tabanı olan ve yüksekliği 6m olan bina kullanılmıştır.

4.2 Bina Kabuğunu Oluşturan Elemanlar

Çağımızda enerji tasarrufu enerjiyi verimli kullanmak ile mümkündür. Enerjiyi verimli kullanmak ise gerekli konfor koşullarını sağlayan, az enerji tüketen yapıların üretilmesi, verimli sistemlerin kurulması ve işletilmesi ile sağlanabilmektedir. Minimum enerji tüketen yapıların üretilmesinde tasarım sırasında verilen kararlar büyük ölçüde etkilidir. Bu nedenle, enerji etkin bina tasarımında, bina kabuğu ve bina kabuğunu oluşturan elemanların, yapının bulunduğu coğrafi konum ve yapı türüne göre tasarımı istenilen enerji tasarrufunu sağlamakta önemli bir adımdır.

Bir yapı tasarımında ısıtma ve soğutma enerjisini etkileyen faktörler genele olarak; dış çevreye topoğrafik özellikleri, iklim koşulları, binanın konumu, rüzgar ve güneşe maruz kalıp kalmadığı, bina formu, konstrüksiyon yapısı, bina kabuğunu oluşturan malzemelerin termofiziksel ve optik özelliklerinden oluşmaktadır (Ünsal, 2012).

Bu bağlamda, sıcak iklim ve soğuk iklimde enerji etkin bina tasarımlarının birbirinden farklı olması gerektiği düşüncesi ortaya çıkmaktadır. Konstrüksiyon yapısındaki temel farklılıklardan en önemli olanlar, oluşturduğu yüzey alanının büyüklüğü nedeniyle, dış duvar ve pencere yapısıdır.

Çünkü binalardaki ısı kayıp ve ısı kazanç yüklerinin büyük bir bölümü bu yüzeylerden oluşmaktadır. Binanın bu bölümlerde kullanılan malzemelerin uygunluğu ve yeterliliği binaya ait ısı kayıp ve kazanç ile ters orantılıdır. Bu nedenle, Yapısal elemanların oluşturulmasında seçilen malzemelerin termal kapasitesi ve iletkenlik özelliği çok önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, sıcak ve soğuk iklim kuşağının etkisi altında olan İzmir ve Berlin şehirlerindeki binaları bulunduğu koşullara uygun tasarlayarak, enerji etkin binada dikkat edilmesi gereken tasarım kriterleri değerlendirilecektir.

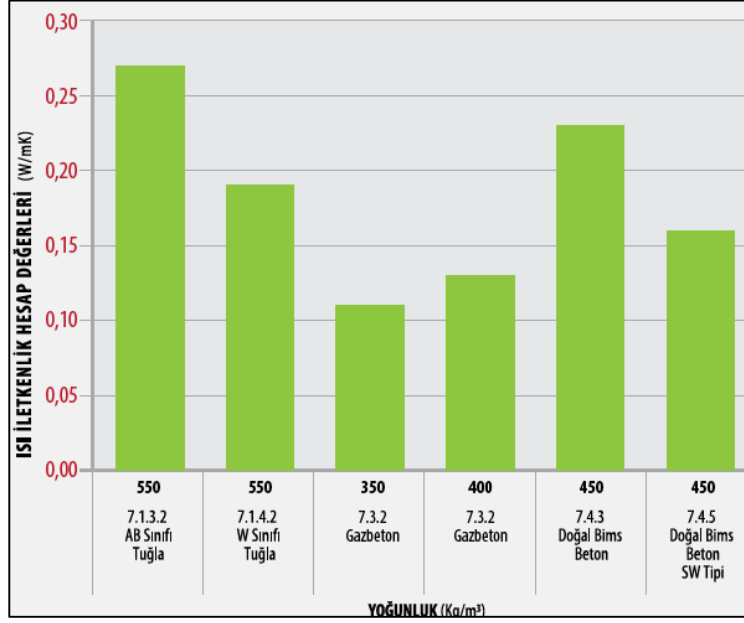
4.2.1 Dış duvar

Bir binaya ait ısı kayıplarının büyük çoğunluğu yüzey alanı nedeniyle dış duvarlardan olmaktadır. Bu nedenle dış duvar için alınacak konstrüktif önlemler binadaki yıllık harcanan enerji miktarını önemli oranda etkilemektedir.

Bu konudaki önemli güncel çalışmalardan biri, duvarın termal kapasitesinin arttırılabilmesi için gizli ısı deposu olan duvarlar oluşturmaktır. Başka bir ifadeyle, hafif beton duvarlara faz değiştiren malzeme (phase change material, PCM) akıtılması işlemidir. Kuznik ve Virgone (2009) deneysel çalışmalarında faz değiştiren malzeme kullanmış ve deney sonucunda bu yöntemle mahal içerisindeki en yüksek sıcaklığının 4,2°C düşürülebileceğini göstermişlerdir.

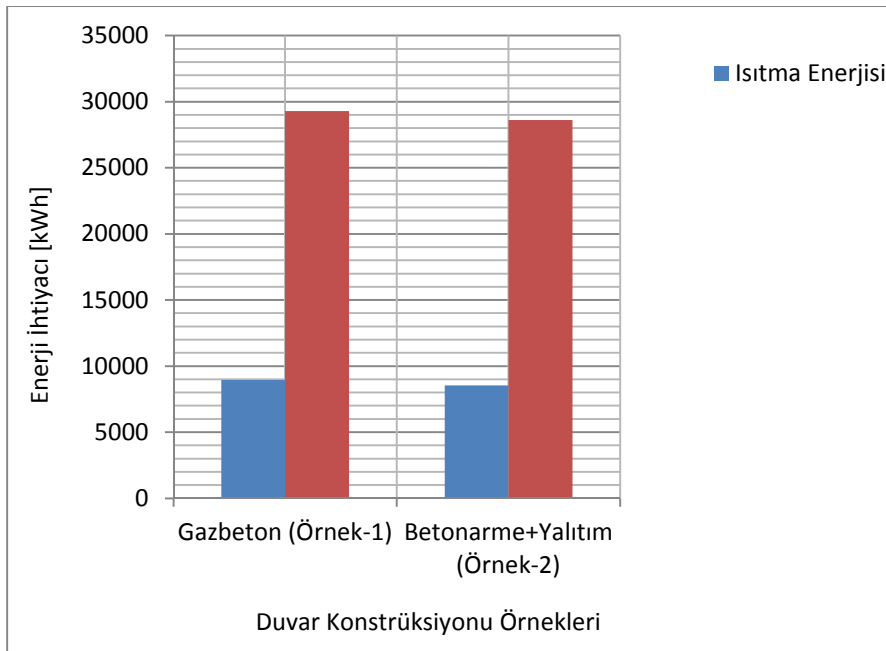
Şekil 4.2’de farklı duvar malzemelerinin yoğunluk ve ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Görülmektedir ki, malzemelerin ısı iletkenlik değeri ile binanın ısı kayıp oranı ters orantılıdır. Ancak iletkenlik değeri düşük olan hafif beton malzemesi kullanıldığında, duvarlarda ısı iletimin azaltılmasıyla beraber yoğunluğun da azalması söz konusu olmaktadır. Bu durum sıcak iklim bölgelerindeki yapılar için

istenmeyen bir sonuçtur çünkü duvarın ısı depolama kapasitesinin de azalmasına sebep olmakta ve mahal sıcaklığının artmasına neden olur.



Şekil 4.2 : Duvar malzemelerinin yoğunlukları ve ısı iletkenlik değerleri.

Termal kapasitesinin bina tasarımında önemini gösterebilmek için, sıcak iklim bölgesinde bulunan İzmir ili için tasarlanan binanın duvar yapısı için farklı iki seçenek değerlendirilmiştir. Şekil 4.3'te termal kapasiteleri farklı olan iki duvar konstrüksiyonun karşılaştırılması sunulmuştur.



Şekil 4.3 : Farklı duvar tiplerine göre yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketim miktarı.

İki duvar yapısının da ısı geçirme katsayı aynıdır. Ancak termal kapasitesi yüksek olan duvarda beton ve yalıtım malzemesi kullanılmış, termal kapasitesi düşük olan yapıda ise sadece gaz beton kullanılmıştır. Bu hesaplamada, Örnek-1 ve Örnek-2'deki iki binanın çatı ve döşemesi adyabatik yüzey kabul edilmiş olduğundan, ısı geçişi sadece duvar yüzeylerinden ve pencereden olmaktadır.

Sonuçlara göre, ısıtma ihtiyacının az ve soğutma yükünün fazla olması beklenen İzmir ilinde bulunan binanın dış hava koşullarından etkilenmesi azaltabilmek için termal kapasitesinin yüksek olması gerektiği görülmektedir. Bu sayede binanın dış hava koşullarından etkilenmesi ve etkilenme süresi azaltılmış olur.

İki bina arasında, ısıtma ve soğutma yükleri arasında farklılıklar gözükmemektedir. Termal kapasitesi düşük olan Örnek-1'e göre Örnek-2'deki binaya ait ısıtma yükünde %4,4, soğutma yükünde ise %2,3 azalma olmuştur. Toplam binadaki enerji tüketimi ise %2,8 azalmıştır.

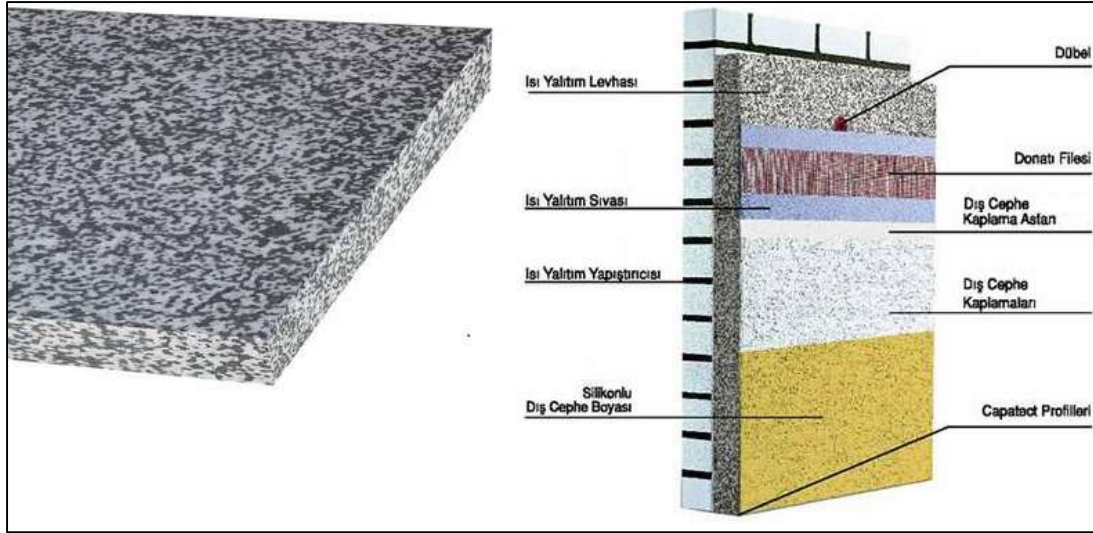
Bu nedenle tasarım yapılırken, soğutma yükünün fazla olduğu İzmir ilinde bulunan bina konstrüksiyonunda termal kapasitesi yüksek olan malzemeler seçilmiş, ısıtma yükünün fazla olması beklenen Berlin şehrinde ise maliyet de göz önüne alınarak duvardaki yalıtım kalınlığını en aza indirmek için iletim katsayısı düşük hafif malzemeler seçilmiştir.

4.2.1.1 Yalıtım malzemesinin belirlenmesi

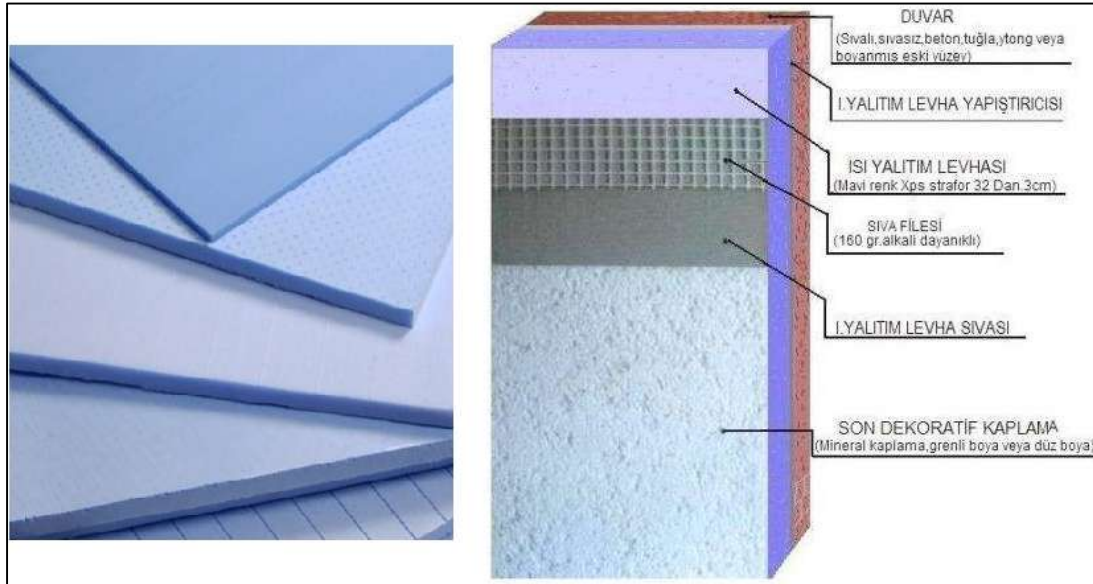
Enerji etken binalarda duvar konstrüksiyonu tasarımı ve yalıtım malzemesinin seçiminin önemi çok büyüktür. Enerji verimliliği en aza indirmek, Net Sıfır Enerjili Bina veya Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tasarımını gerçekleştirebilmek için yalıtım önemli bir gerekliliktir.

Yalıtım malzemesi seçiminde, malzemeye ait ısı iletim katsayısının küçük olmasına, ısıl direncinin ise büyük olmasına ve malzemenin sürdürülebilir olmasına dikkat edilmelidir. Günümüzde inşaat sektöründe sık tercih edilen iki malzeme vardır. Bu malzemeler; XPS (Haddeden Çekilmiş Polistiren Sert Köpük) ve EPS (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük)'dir.

Şekil 4.4'te XPS malzemesi örneği ve uygulamasını, Şekil 4.5'de ise EPS yalıtım malzemesini örneğini ve uygulaması sunulmuştur.



Şekil 4.4 : XPS yalıtım malzemesi ve uygulaması.



Şekil 4.5 : EPS yalıtım malzemesi ve uygulaması.

XPS ve EPS yalıtım malzemeleri homojen hücre yapısına sahip olan köpük yalıtım malzemeleridir. XPS, ısı yalıtım sektörünün en eski ürünlerinden olmasına karşın EPS daha yeni bir üründür.

EPS petrol türevli, termoplastik hammaddenin su buharı ile şişirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Bünyesindeki pentan gazı sayesinde şişen ve birbirine sımsıkı yapışan tanecikler aynı zamanda içinde bulundukları kalıbında şeklini alırlar. Dinleme sürecinde taneciklerin içindeki petan gazı, hava ile yer değiştirerek ortamdaki uzaklaşır. Kapalı gözenekli EPS malzeme ise bünyesinde bulunan ve hacminin %98'ini oluşturan hareketsiz ve kuru hava ile mükemmel yalıtım özelliğine kavuşur.

Değerlendirme sırasında dikkate alınan başka bir özellik ise maliyettir. Aynı yoğunluktaki EPS ve XPS malzemelerinin ısı yalıtım özelliği çok yakındır ancak aynı yoğunluktaki EPS, XPS'e göre daha az maliyetlidir. EPS, XPS'ye göre ekonomik yönden daha uygun bir malzemedir.

Bir başka kıyaslama ise malzemelerin çevre dostu malzemeler olup olmadığı konusudur. EPS de şişirme işlemi için kullanılan gaz sadece "Pentan" iken, XPS de çok çeşitli gazlar kullanılır ki bu gazların birçoğu ozon tabakasına zarar veren gazlardır. EPS çevre dostu bir malzeme olması da tercih edilme sebeplerinden biridir.

Ek olarak, XPS yalıtım malzemesi EPS'ye göre zaman içerisinde yıpranmakta ve yalıtım özelliğini kaybetmektedir. EPS'in ısı iletkenliği yoğunluğuna bağlıdır. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği azalır. EPS'in ısı iletkenliği, yoğunluğun 10-30 kg/m³ arasında değerler alması halinde, 0,034 W/mK ile 0,045 W/mK arasında değerler alır ve kullanım ömrü boyunca sabit kalır.

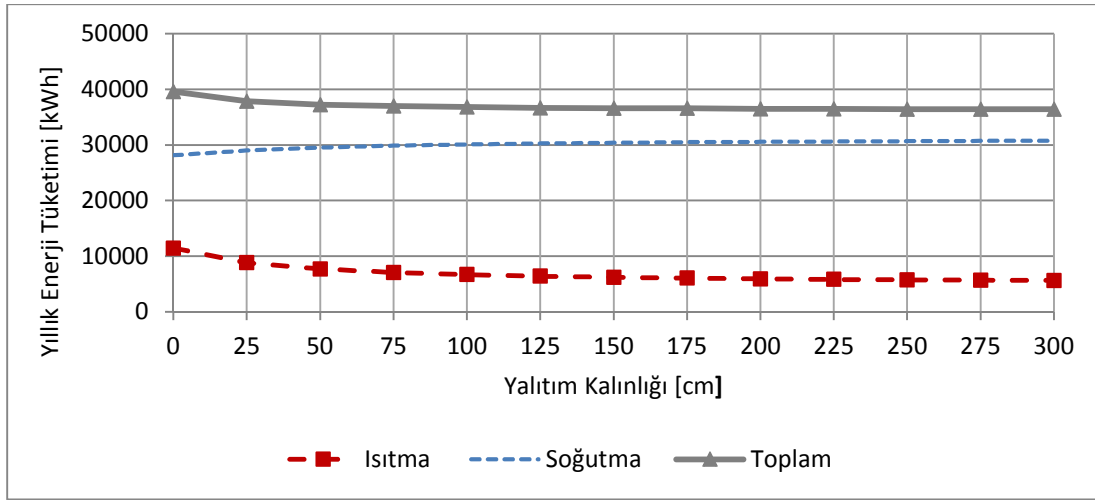
Değerlendirme sonucunda bu çalışmada, her iki bina için de duvar yalıtımı tasarımında EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır.

4.2.1.2 Dış duvar yalıtım kalınlığının belirlenmesi

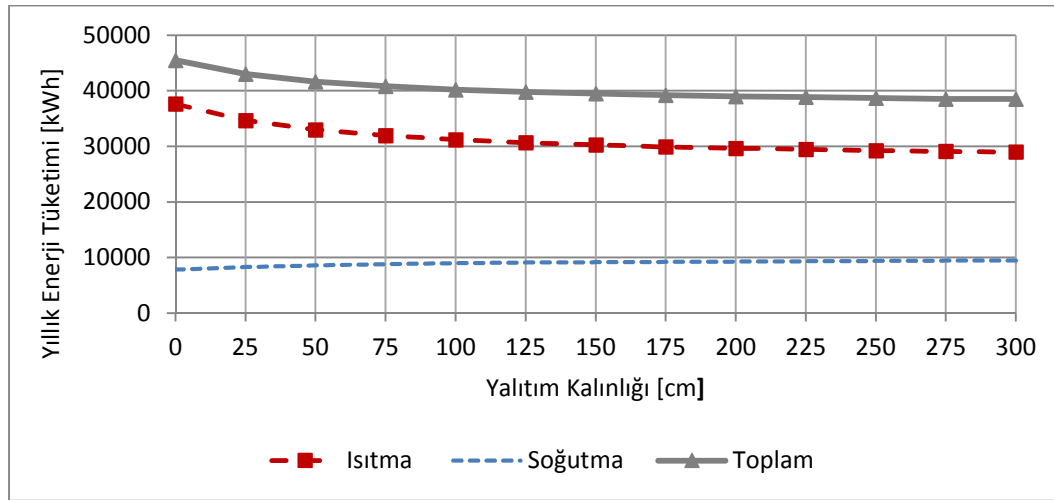
Bina kabuğundan kaynaklanan ısıtma ve soğutma yüklerinin en az indirgenebilmesi için bulunduğu iklimin ve yapı özelliklerine göre uygun kalınlıkta yalıtım kullanılmalıdır.

Yalıtım kalınlığı belirlenirken kullanılan yöntem iki şehir içinde 0 mm ile 300 mm kalınlıkları arasında 25 mm aralıklarla değerler verilerek duvarlardan geçen ısı miktarları belirlenmiştir.

Bu işlem, EnergyPlus programı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplanan yıllık enerji tüketimlerinde, çatı ve döşemenin adyabatik alındığı ve hiçbir iç yükün dikkate alınmadığı göz önüne alınmalıdır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de İzmir ve Berlin şehirleri için duvardaki yalıtım kalınlığının artışına göre yıllık enerji tüketiminin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : İzmir için yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.



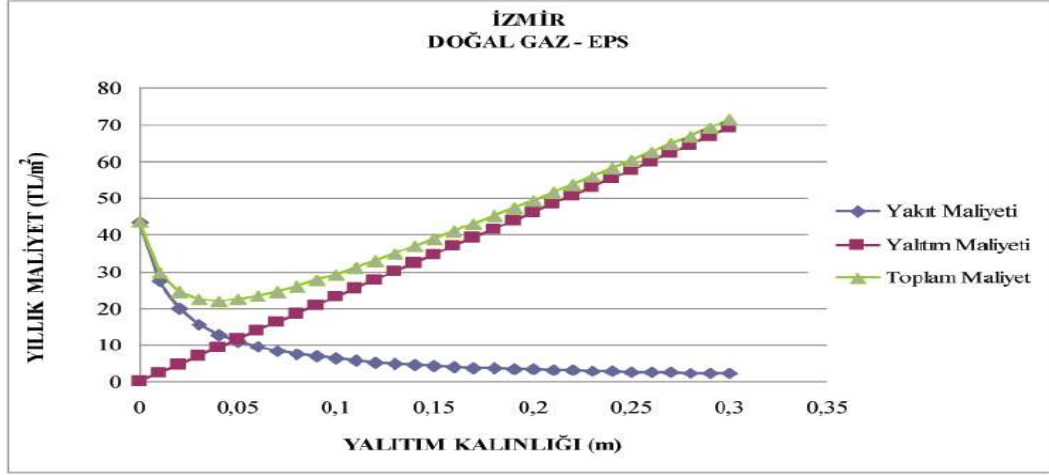
Şekil 4.7 : Berlin için yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.

Yalıtım kalınlığı belirlenirken, fayda-maliyet eğrisi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, grafiğe bakıldığında belirli bir yalıtım kalınlığına ulaşıldıktan sonra geçen ısı miktarındaki düşüşün yüzde olarak ciddi bir azalmaya başladığı gözlemlenmiştir.

Bunun sonucu olarak tasarım kararları alınırken maliyeti de göz önünde bulundurduğumuzda optimum kalınlığın altında kalındığında ısı geçişinin fazla olması nedeniyle enerji tüketiminin artmasına ya da optimum kalınlığın üzerinde bir yalıtım kalınlığı seçildiğinde malzeme tüketiminin artması nedeniyle bir mali kayıp söz konusu olacağına dikkat edilmelidir.

Bunun yanı sıra, MMO yayımladığı bir çalışmada ise yalıtım kalınlığı-maliyet analizi yapılmış ve çalışmada Türkiye 1.İklim Bölgesi'nde bulunan İzmir ili için yakıt olarak

doğalgaz kullanıldığında elde edilen veriler ile Şekil 4.8'deki grafik elde edilmiş ve optimum kalınlık 5 cm olarak belirlenmiştir (Kürekçi ve diğ., 2012).



Şekil 4.8 : İzmir ili için yalıtım-maliyet analizi.

EUMEPS, sıfır ve düşük enerji verimli binalar için yalıtım kalınlığını 180-225 mm olarak tavsiye edilmektedir. Bu nedenle, belirlenen yalıtım kalınlığı maliyette göz önüne alınarak bu değerler de dikkate alınmalıdır.

Değerlendirme sonucu, İzmir'deki enerji etken bina için dış duvar yalıtım kalınlığı 8 cm, Berlin şehrindeki binanın dış duvar yalıtım kalınlığı ise 15 cm olarak belirlenmiştir. İzmir ve Berlin için dış duvara ait konstrüksiyon özellikleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

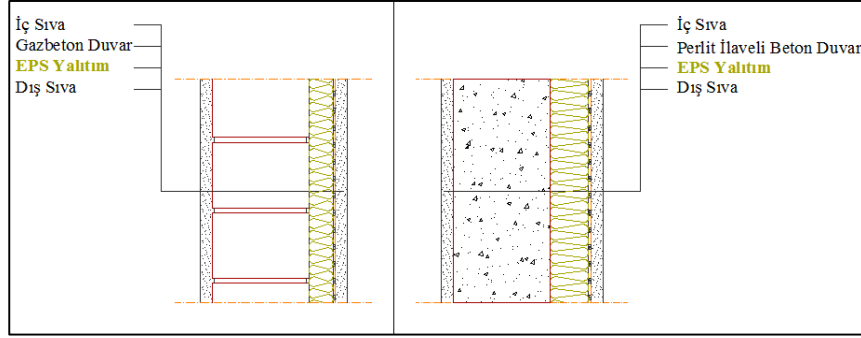
Çizelge 4.1 : İzmir için dış duvar bileşenleri.

Malzeme	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m³]	İletim Katsayısı [W/mK]
Dış Sıva	0,02	900	0,35
EPS Yalıtım Levhası	0,08	30	0,035
Perlit İlaveli Beton	0,20	800	0,24
İç sıva	0,02	1.800	0,87

Çizelge 4.2 : Berlin için dış duvar bileşenleri.

Malzeme	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m³]	İletim Katsayısı [W/mK]
Dış Sıva	0,02	900	0,35
EPS Yalıtım Levhası	0,15	30	0,035
Gaz beton	0,20	400	0,13
İç sıva	0,02	1.800	0,87

Dış duvar yapı bileşenleri verilen şekilde seçilip, iç ve dış taşınım katsayıları dahil edildiğinde, sırasıyla duvarlara ait toplam ısı geçiş katsayısı 0,299 W/m²K ve 0,165 W/m²K olarak hesaplanmaktadır. Şehirlere ait duvar kesitleri ise Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 : İzmir ve Berlin şehirleri için duvar kesiti.

4.2.1.3 Yalıtım konumunun etkisi

Dış duvarların her iki yüzünün de yalıtımla kaplanması binanın yıllık tüketiminde tasarruf sağlamasına rağmen, maksimum ısıtma ve soğutma enerji miktarları düşünüldüğünde, yalıtımın iç yüzeyde olması halinde enerji miktarlarındaki azalmanın daha fazla olduğu görülmektedir (Eskin, 2011).

Eskin çalışmasında, EnergyPlus programından yararlanarak konut dışı binalarındaki yıllık enerji ihtiyaçları en aza indirmek için yapı üzerinde farklı mimari çözümler kullanarak ısıtma ve soğutma yüklerindeki değişimi incelemiştir.

Yalıtımın etkisini irdeleyebilmek amacıyla yalıtım malzemesini binanın dış kabuğunda duvarın iç yüzeyine (W11) ya da binanın dış kabuğunda dış yüzeyine (W12) yerleştirilerek farklı iki hal için binanın yıllık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacındaki azalmayı hesaplamıştır. Çizelge 4.3, ilgili çalışmada yer alan İzmir ili için yalıtım malzemesinin konumuna göre ısıtma ve soğutma enerji yüklerindeki değişimi göstermektedir.

Çizelge 4.3 : Yalıtım konumunun yıllık enerji ihtiyacındaki azalmaya etkisi.

Yalıtım Kalınlığı [mm]	Yıllık Soğutma [%]		Yıllık Isıtma [%]	
	WI1	WI2	WI1	WI2
25	16,59	14,81	24,36	24,04
50	19,29	18,73	26,00	25,66
75	21,06	20,04	26,82	26,47

Yalıtımın dış duvarın iç yüzeyine yapıldığında aynı duvarın dış yüzeyine yapılması durumuna göre daha etkili olduğunu ve enerji tasarrufunu sağladığını ortaya koymuştur.

4.2.2 Çatı

Çatılar, binadaki bulunduğu konum nedeniyle yazı yüksek oranda güneş ışınlamına kışın ise ciddi oranlarda kısa kaybına neden olurlar. Bu nedenle, çatı konstrüksiyonunda alınacak pasif önlemler yapılması planlanan enerji tasarrufuna büyük oranda katkı sağlamaktadır. Örnek binaların çatı malzemeleri ve yalıtımı kalınlığını belirlenirken dış duvar konstrüksiyonunu belirlerken kullanılan yöntem kullanılmıştır. Değerlendirme sonucu, İzmir’deki enerji etken bina için çatı yalıtım kalınlığı 10 cm, Berlin şehrindeki binanın çatı yalıtım kalınlığı ise 17 cm olarak belirlenmiştir. İzmir ve Berlin için çatı konstrüksiyon özellikleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’te verilmiştir.

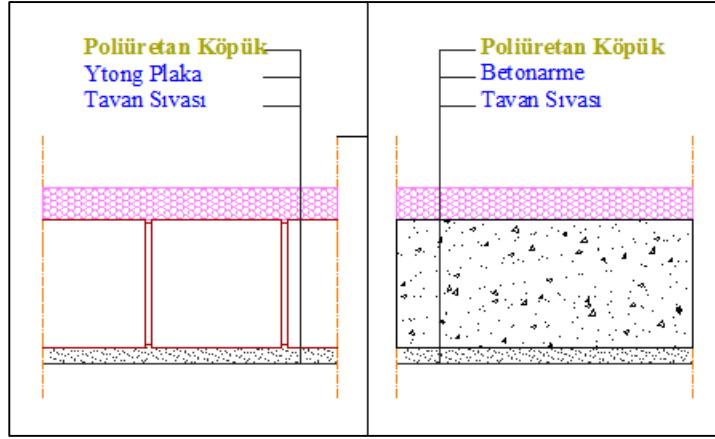
Çizelge 4.4 : İzmir için çatı konstrüksiyonu.

Malzeme	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m ³]	İletim Katsayısı [W/mK]
Poliüretan Köpük	0,1	35	0,026
Betonarme	0,2	800	0,24
İç sıva	0,02	1.800	0,87

Çizelge 4.5 : Berlin için çatı konstrüksiyonu.

Malzeme	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m ³]	İletim Katsayısı [W/mK]
Poliüretan Köpük	0,17	1.400	0,026
Ytong Plaka	0,2	500	0,15
İç sıva	0,02	1.800	0,87

Çatı bileşenleri verilen şekilde seçilip, taşınım katsayıları dahil edildiğinde, sırasıyla çatılara ait toplam ısı geçiş katsayısı 0,207 W/m²K ve 0,124 W/m²K olarak hesaplanmaktadır. Şehirlere ait çatı kesitleri ise Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 : İzmir ve Berlin şehirleri için çatı kesiti.

4.2.3 Döşeme

Döşeme binalarda özellikle kış aylarında ısı kaybının yüksek oranda olduğu yapılardır. Bu nedenle, yapılacak yalıtım ve döşemedeki kullanılması planlanan döşeme kaplama malzemeleri önemlidir. Bu çalışmada soğuk iklimde bulunan Berlin şehrindeki bina döşemesinin kaplaması için ahşap parke kullanılmış, İzmir’deki yer alan enerji etken bina için ise termal kapasitesi nedeniyle seramik kullanılmıştır.

Değerlendirme sonucu, İzmir’deki enerji etken bina için döşeme yalıtım kalınlığı 10 cm, Berlin şehrindeki binanın döşeme yalıtım kalınlığı ise 17 cm olarak belirlenmiştir. İzmir ve Berlin için döşeme konstrüksiyon özellikleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

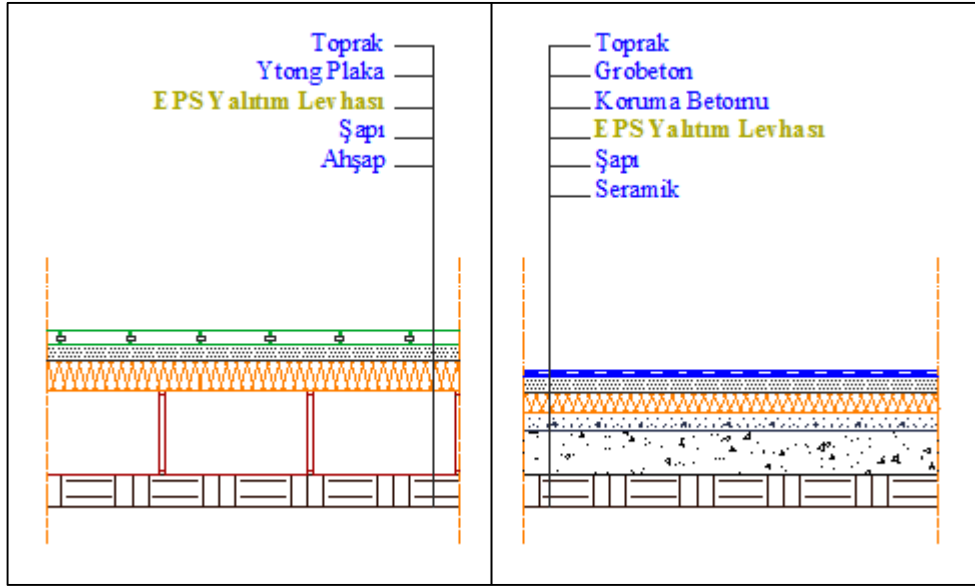
Çizelge 4.6 : İzmir için döşeme konstrüksiyonu.

Malzeme	Kalınlık[m]	Yoğunluk[kg/m ³]	İletim Katsayısı[W/mK]
Toprak	0,10	1.460	1,28
Grobeton	0,15	1.200	0,38
Koruma Betonu	0,05	1.200	0,38
EPS Yalıtım Levhası	0,10	30	0,035
Şap	0,03	2.000	1,4
Seramik	0,02	2.200	1,2

Çizelge 4.7 : Berlin için döşeme konstrüksiyonu.

Malzeme	Kalınlık[m]	Yoğunluk[kg/m ³]	İletim Katsayısı[W/mK]
Toprak	0,10	1.460	1,28
Ytong Plaka	0,25	500	0,15
EPS Yalıtım Levhası	0,17	30	0,035
Şap	0,03	2.000	1,4
Ahşap	0,02	800	0,20

Döşeme bileşenleri verilen şekilde seçilip, taşınım katsayıları dahil edildiğinde, sırasıyla döşemelere ait toplam ısı geçiş katsayısı 0,273 W/m²K ve 0,146 W/m²K olarak hesaplanmaktadır. Şehirlere ait döşeme kesitleri ise Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : İzmir ve Berlin şehirleri için döşeme kesiti.

4.2.4 Pencere

4.2.4.1 Pencere duvar oranı

Binaya ait soğutma ve ısıtma yükünün büyük bir bölümü bina kabuğundan oluşmaktadır. Bina kabuğunu oluşturan bileşenler arasında duvar, pencere, tavan, taban ve kapı bulunmaktadır. Buradaki en önemli iki yapı elemanı dış duvar ve pencerelerdir. Dış duvarın yüzey alanı nedeniyle soğutma ve ısıtma yükü üzerinde etkisi varken, pencerelerin iletim katsayısı ve yekpare olmayan yapısı nedeniyle ısı kayıp ve ısı kazanç yükünün artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle dış duvar ve pencere konstrüksiyonunda alınacak önlemler binanın yıllık enerji tüketiminde ciddi oranlarda tasarruf sağlanmasını sağlar.

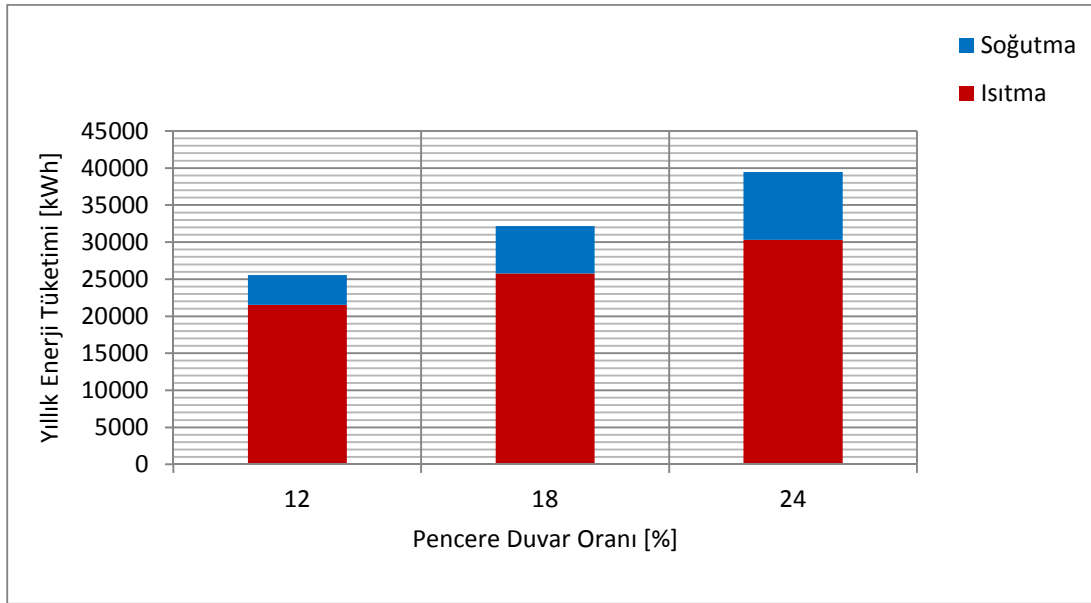
Soğuk iklim kuşağındaki yapılarda binadaki ısı kayıp oranının ve sıcak iklimlerde ısı kazanç oranının yüksek olmasını engellemek için yapılan tasarımlardaki en büyük etkenlerden biri pencere duvar oranının optimum olmasıdır. Yapıdaki pencere alanı duvar alanına oranla azaldıkça ısı kayıp ve ısı kazanç oranı da doğru orantılı değişmektedir.

Ancak mimari bir yapıda, konut ya da ticari binalarda, hiç pencere olmaması mümkün değildir. Bunun sebebi pencerelerin aynı zamanda doğal havalandırma ve aydınlatma kaynağı olmasıdır. Bunun yanı sıra, mimari açıdan insan yaşamındaki önemi nedeniyle pencerelerin tamamen kaldırılması yaşam koşulları açısından uygun bulunmamaktadır.

Bunun yanı sıra, pencerelerin tamamının kaldırılması, iç ortamın gün ışığından yeterince yararlanmaması nedeniyle karanlık kalmasına ve aydınlatma yükünün artmasına sebep olmakla sonuçlanmaktadır. Bu durumda, azalan pencere oranı ile binanın ısıtma yükü azalması sağlarken, aynı binanın sıcak mevsimlerde ya da geçiş mevsimlerinde aydınlatma yükünün yüksek olmasından kaynaklı soğutma yükünün artmasına sebep olmaktadır.

Tüm bu bilgilere ek olarak, sıcak ve soğuk iklim bölgesinde bulunan İzmir ve Berlin şehirleri için pencere oranını belirlerken TS825 Standardında yer alan açıklamalardan da yararlanılmıştır. Standartına pencere duvar oranı %12 ya da altında olan binalar için ısı yalıtımı uygulamasına gerek duyulmamaktadır.

Şekil 4.12’de soğuk iklim etkisi altındaki Berlin şehrinde bulunan enerji etkin bina için farklı pencere duvar oranlarının kıyaslanması sunulmuştur.



Şekil 4.12 : Berlin şehri için farklı pencere duvar oranına göre yıllık toplam enerji tüketimi.

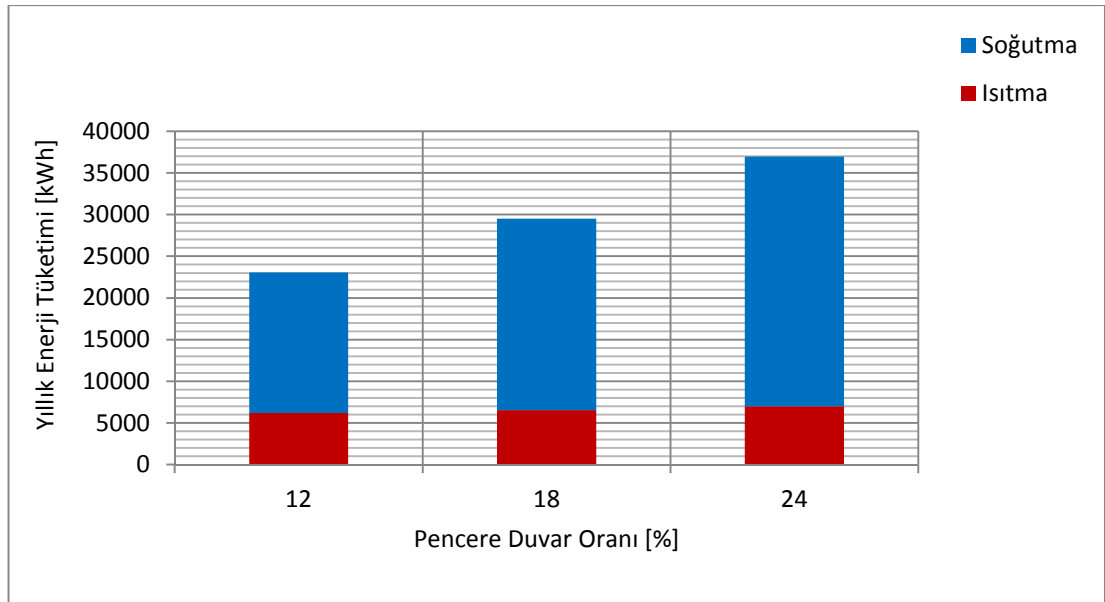
Çizelge 4.8’de, Berlin şehrinde bulunan enerji etkin binanın her bir cephesindeki pencere duvar oranları verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Berlin şehri için pencere duvar oranı.

	Toplam	Kuzey	Doğu	Güney	Batı
Brüt Duvar Alanı [m ²]	384	96	96	96	96
Pencere Açık Alanı [m ²]	46,08	11,52	11,52	11,52	11,52
Brüt Pencere-Duvar Oranı [%]	12	12	12	12	12

Pencere/duvar alt sınır değeri TS825'e ve Şekil 4.12'ye göre belirlenmiş, mimari kıstaslar ve artan aydınlatma yükü de göz önüne alınarak Berlin şehri içi pencere duvar oranı %12 olarak kabul edilmiştir.

Pencere duvar oranının azalması ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak sıcak iklimlerde, pencere oranının belirli bir değerin altına inmesi durumunda aydınlatma yükünün artmasına ve dolaylı olarak soğutma yükünün beklenenden daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Buna bağlamda, sıcak iklim bölgelerinde, pencere oranının azaltılması hem soğutma yükünün ve hem de aydınlatma için ayrıca harcanacak enerjinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 4.13'de sıcak iklim etkisi altındaki İzmir şehrinde bulunan enerji etkin bina için farklı pencere duvar oranlarının kıyaslanması sunulmuştur.



Şekil 4.13 : İzmir şehri için farklı pencere duvar oranına göre yıllık toplam enerji tüketimi.

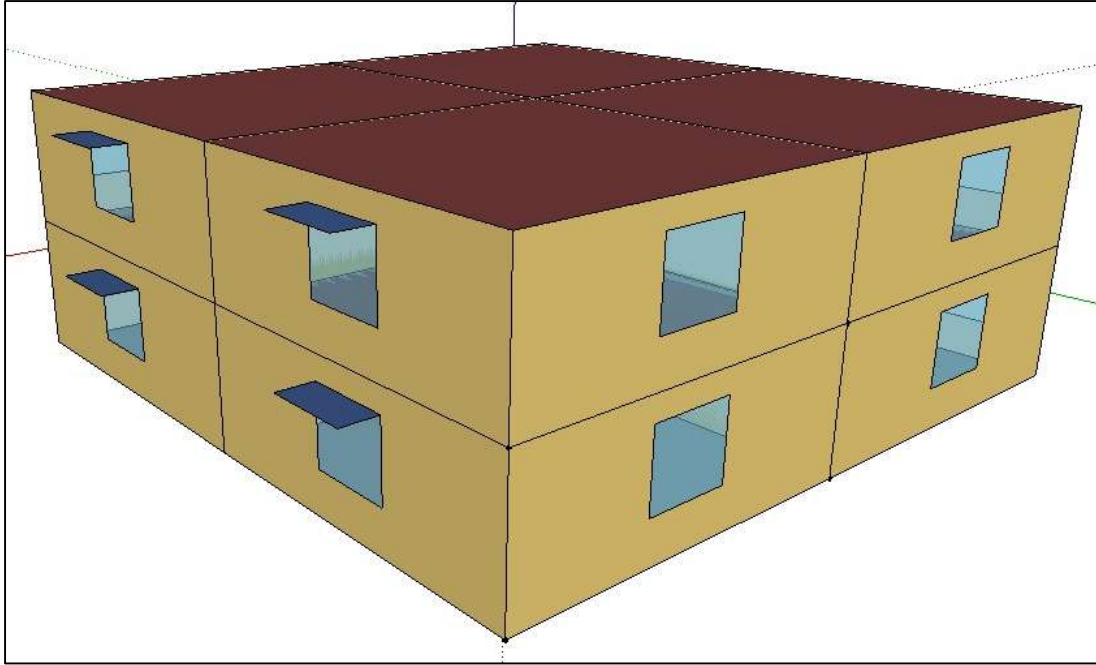
Çizelge 4.9'da, Berlin şehrinde bulunan enerji etkin binanın her bir cephesindeki pencere duvar oranları verilmiştir.

Çizelge 4.9 : İzmir şehri için pencere duvar oranı.

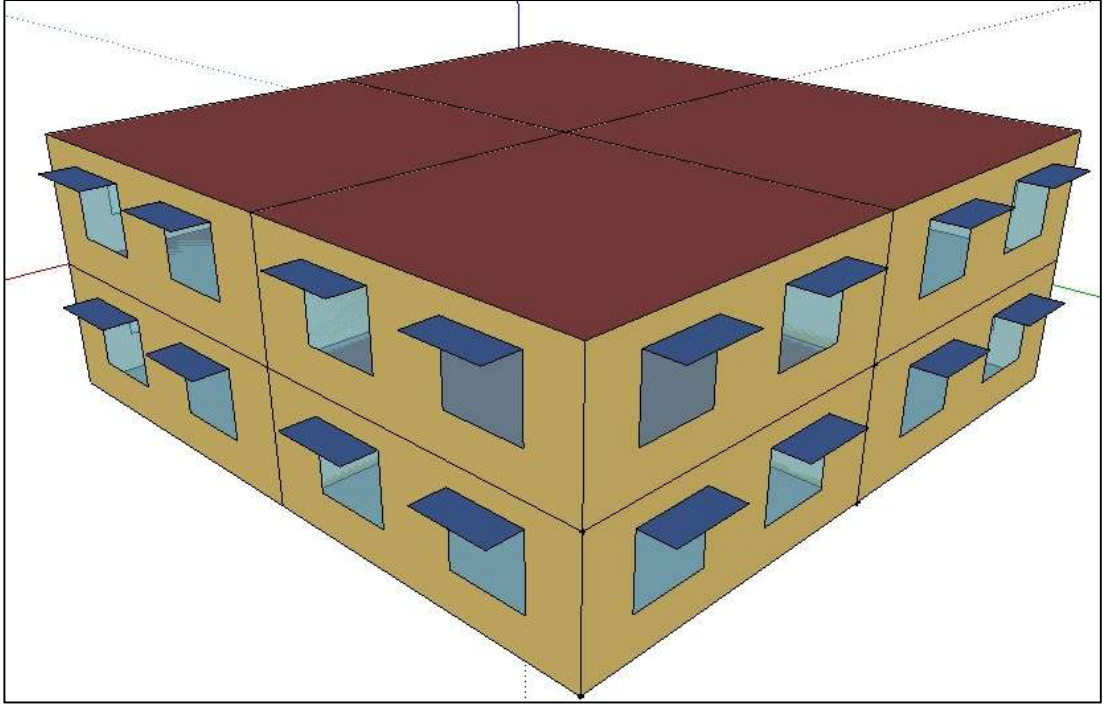
	Toplam	Kuzey	Doğu	Güney	Batı
Brüt Duvar Alanı [m ²]	384	96	96	96	96
Pencere Açık Alanı [m ²]	92,16	23,04	23,04	23,04	23,04
Brüt Pencere-Duvar Oranı [%]	24	24	24	24	24

Değerlendirme sonucu, sıcak iklim etkisi altında olan İzmir ili için gün ışığından yararlanabilmek için daha yüksek bir değer tercih edilmiştir. Soğuk iklim etkisi altında olan Berlin için bu değer alt sınır değer olan %12 olarak kabul ediliyorken İzmir şehri için ise bu değer %24 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te Berlin ve İzmir'deki binalarına ait pencere oranları görsel olarak kıyaslanması sunulmuştur.



Şekil 4.14 : Berlin şehrindeki enerji etkin binanın dış görünümü (Doğu-Kuzey Cepheleri).



Şekil 4.15 : İzmir şehrindeki enerji etkin binanın dış görünümü (Doğu-Kuzey Cepheleri).

4.2.4.2 Pencere yönü

Binalardaki yıllık toplam enerji tüketimindeki tasarruf pencere özellikleri, pencere duvar oranı ve son olarak binadaki pencerelerin yönü değiştirilerek sağlanabilir. Örneğin, güney yönüne bakan pencereler sayesinde gün ışığından daha fazla yararlanılabilirken, fazla güneş enerjisi kazanımı nedeniyle bu cephedeki odalarda ısı kazancı daha yüksek olduğundan soğutma yükünü olumsuz etkilemektedir.

Bu nedenle soğuk iklim kuşağında bulunan binalarda pencerelerin çoğunun güney cephede olması güneş enerjisi kazanımının artması ve enerji kullanımının azalması ile sonuçlanacaktır. Sıcak iklim etkisi altındaki şehirlerde ise bu durumun tersi geçerlidir.

Ancak bu çalışmada, her iki binanın da tüm cephelerindeki pencere oranı ve yerleşimi aynı kabul edilmiştir. Bu nedenle istenen tasarruf pencere ile ilgili diğer özelliklerden sağlanmıştır.

4.2.4.3 Pencere büyüklüğü ve tipi

Pencereler, binalarda doğal havalandırma, aydınlatma ve aynı zamanda konfor koşullarının sağlanabilmesi için önemli bir yapı elemanıdır. Pencere iletim katsayısı, bulunduğu cephe, pencere profilinin büyüklüğü, kullanılan cam ve çerçeve yapısı Net Sıfır Enerjili Bina veya Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tasarımında önemli kısıtlardır.

Pencereler ısı iletim katsayıları nedeniyle yüksek ısı kaybının yanı sıra, infiltrasyon nedeniyle de ısı kaybına sebep olmaktadır. Sıcak mevsimlerde ise güneş ışıını nedeniyle mahal içindeki ısı kazancının artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, pencereler ait olduğu binaların bulunduğu iklim koşullarına seçilmeli veya tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada, pencerelerin profil yapısı için güncel uygulamalarda en çok karşılaşılan ölçülerden biri olan 160x180 cm'lik profil çerçeveler kullanılmıştır. Profillerin büyük bir bölümünün cam olması nedeniyle, kullanılması planlanan camın özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle pencere için seçilen camın, bulunduğu iklim şartlarına göre uyumlu olması sağlanmalıdır. Bu sayede yüksek performanslar elde edilerek enerji etkin bina tasarımında bir basamak daha tamamlanmış olur.

Sıcak iklim koşullarında bulunan bir binanın camları için ısı kazancı kontrolü özelliğine dikkat edilirken, soğuk iklimde bulunan bir binada kullanılması planlanan cam için ısı iletim katsayısı ve sızdırmazlık özellikleri daha önemlidir. Cam yapısının iyileştirilmesinde değiştirilen ölçütlerden ikisi konstrüksiyonda kaç cam olduğu ve camların arasındaki boşluğu dolduran malzemenin özellikleridir.

İki veya daha fazla cam arasındaki bu boşluk bazen hava bazen ise, iletim katsayısının önemli olduğu koşullarda, argon veya kripton gibi malzemelerin tercih edilmesiyle doldurulur. İletim kat sayısının düşürmeye yönelik uygulamalar bahsedildiği üzere genelde soğuk iklim koşullarında kullanılması planlanan camlar için düşünülmektedir.

Sıcak iklimin etkin olduğu bir çevrede ise güneş ışıınından kaynaklanan ısı kazancını azaltmak esas hedeftir. Bunun için soğuk iklim bölgelerinde SHGC (Güneş Isısı Kazanım Katsayısı) değeri yüksek olan yani güneş ışıınıın mahal içine geçmesine izin veren cam konstrüksiyonları tercih edilirken, sıcak iklim bölgelerinde SHGC değeri düşük olan film kaplamalı camlar tercih edilmektedir.

Ancak SHGC değeri yüksek olan kaplamalı camların görülebilir ışığı da engellemesi nedeniyle doğal aydınlatma sağlayan gün ışığından yararlanılmasını engellemektedir. Tasarım kararları alırken tüm bu ölçütler dikkate alınmalıdır.

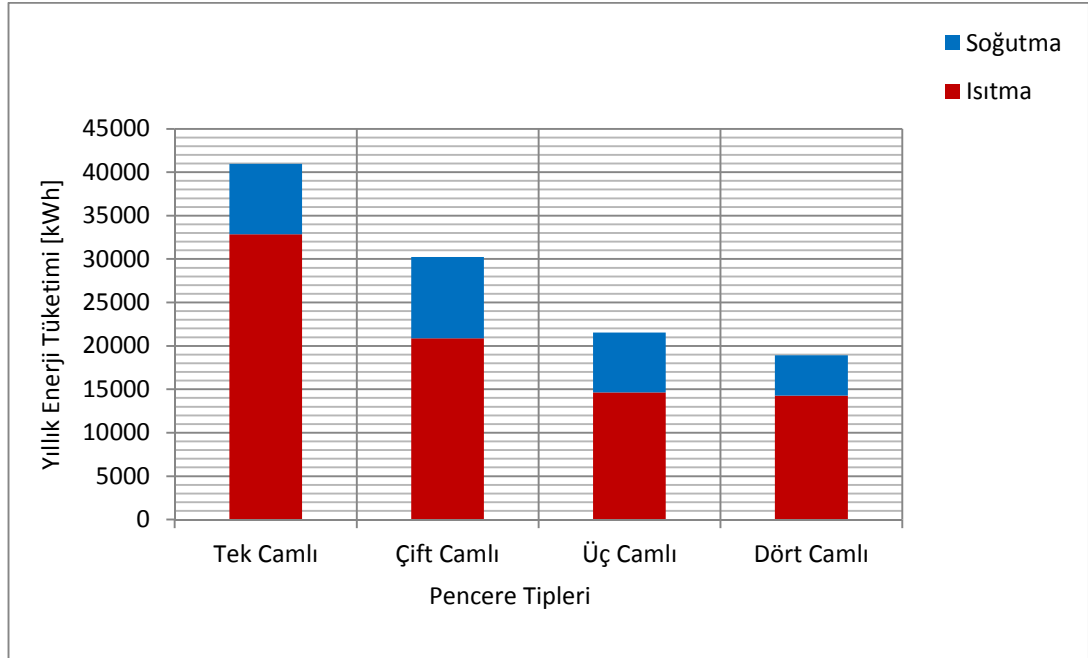
Uluslararası Enerji Ajansı ve OECD ortaklığında çalışan CADDET yüksek performanslı pencereleri U değeri 1,5 W/m²K'dan küçük pencereler olarak tanımlar (Bedir, 2006). Yüksek performanslı pencerler soğuk ve sıcak iklimlere göre değişmektedir. Soğuk iklim bölgelerindeki enerji etkin bir bina için üç ya da dört

katmanlı ve arası argon kripton ile doldurulmuş iletim katsayısı düşük camlar kullanılırken, sıcak iklim bölgelerindeki binalar için SHGC'si düşük film kaplı çift camlar yeterli olmaktadır.

Bunun bir örneği olarak, Amerika Bileşik Devletleri Florida'da ve EERE'nin Bina Teknolojileri Programı çerçevesinde yapılan Sıfır Enerjili Bina denemesinde spektrum seçicili çift camlı pencereler kullanılmıştır (Path ve NREL, 2006).

Eskin (2011) ise gerçekleştirdiği çalışmasında üç farklı cam tipinin farklı iklim bölgelerinde uygulandığında her bir binanın yıllık enerji tüketiminin üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda, şeffaf çift cam yerine düşük yayma katsayılı film kaplı çift cam kullanmak, maksimum soğutma yükünü Ankara için %15,1, Antalya için %13,5, İstanbul için %14,21, İzmir için %15,94 oranında azalttığını göstermiştir.

Bu tez çalışmasında ise, hem Berlin için hem de İzmir şehri için dört farklı cam tipi incelenmiştir; a) film kaplamasız tek cam, b) düşük yayma oranlı film kaplı çift cam, c) kaplamasız üçlü cam, c) kaplamasız dörtlü cam. Şekil 4.16'da Berlin için farklı cam tipleri kullanıldığında yıllık enerji tüketimlerinin değişimi gözlenmiştir.



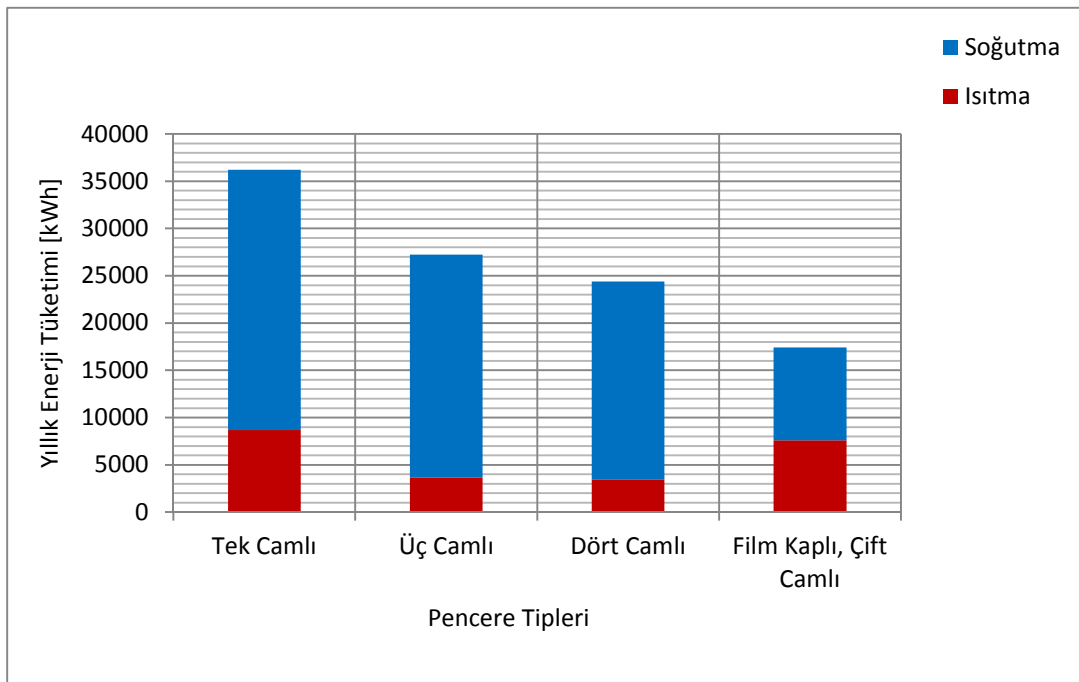
Şekil 4.16 : Berlin için farklı pencere tiplerine göre yıllık enerji tüketimi tüketimi.

Çizelge 4.10'da ise değerlendirme sonucu Berlin şehrindeki enerji etkin bina için kullanılan pencere camının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Berlin’deki bina tasarımında kullanılan camın özellikleri.

Kaplamasız üç cam özellikleri	
Boyut [mm]	3-13-3-13-3
İki cam arası malzeme	Argon
Güneş ısısı kazanç katsayısı	0,579
Işık geçirgenliği	0,698
Film kaplama	Yok
U değeri [W/m^2K]	1,062

Şekil 4.17’de İzmir için farklı cam tipleri kullanıldığında yıllık enerji tüketimlerinin değişimi gözlenmektedir.



Şekil 4.17 : İzmir için farklı pencere tiplerine göre yıllık enerji tüketimi tüketimi.

Çizelge 4.11’de ise değerlendirme sonucu Berlin şehrindeki enerji etkin bina için kullanılan pencere camının özellikleri verilmiştir.

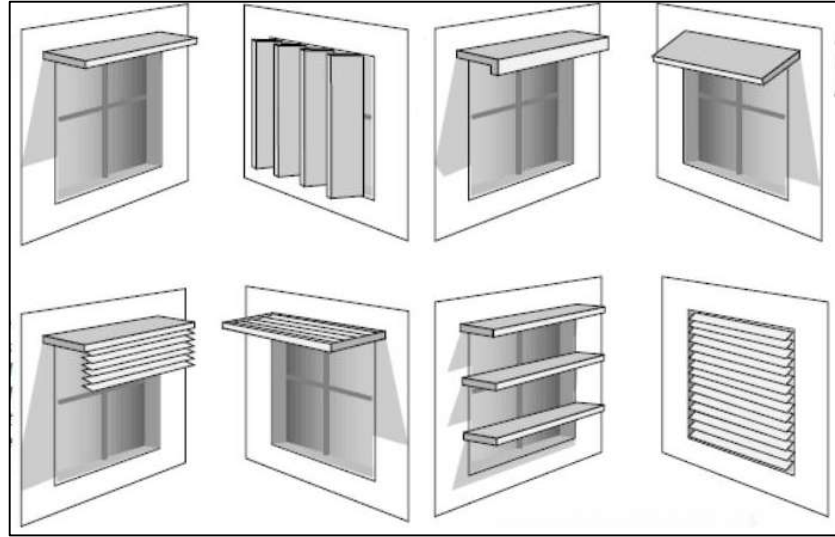
Çizelge 4.11 : İzmir’deki bina tasarımında kullanılan camın özellikleri.

Film kaplı çift cam özellikleri	
Boyut [mm]	6-13-6
İki cam arası malzeme	Argon
Güneş ısısı kazanç katsayısı	0,283
Işık geçirgenliği	0,408
Film kaplama	Var
U değeri [W/m^2K]	1,333

4.2.4.4 Gölgeleme elemanlarının kullanımı

Enerji etkin bina tasarımında bina kabuğunun tasarımı sırasında alınan kararlar ve alınan önlemler çok önemlidir. Bu çözümün bir parçası olan gölgeleme elemanları, pencerenin konumuna göre, iç mekanlardaki güneş ışımasını denetleyen bir yapı elemanıdır. Binanın güneş alma süresinin ve güneş ışımasının yüksek olduğu bölgelerdeki binalarda özellikle güney cephelerde mahal sıcaklığının artması söz konusu olmaktadır.

Gölgelendirme elemanları sayesinde özellikle soğutma yükünün yüksek olduğu sıcak iklim bölgelerinde soğutma yükleri ciddi oranlarda düşürülebilir. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi farklı tip gölgeleme elemanları kullanımı ile pencereden içeri giren güneş ışığından olan ısı kazanımını azaltmak mümkündür.



Şekil 4.18 : Pencere için kullanılan çeşitli gölgelendirme elemanları.

Gölge elemanının seçiminde veya tasarımında pencere profil ölçüsü, binanın bulunduğu iklim koşulları ve güneş geometrisi bir arada değerlendirilmelidir. Gölgeleme elemanı pencerelerden iç ortama giren güneş ısı kazancını engellendiği için sıcak iklimlerde bina soğutma yükünü azaltmaktadır. Bu nedenle soğuk iklim bölgelerinde kış aylarında ve mevsim geçişlerinde güneş ışımasını engellediği için bina ısıtma yükü artacağından, kısmi olarak güney cephede uygulanabilir ya da hiç uygulanmaz.

Yüceer (2010) çalışmasında, Adana’da ve 37° enlemde yer alan enerji etkin binalara uygulanabilecek gölge elemanları incelenmiş ve yaptığı tasarım ile uygun olan gölgelendirme elemanını seçmiştir. Ek olarak, dış gölgeleme elemanı kullanmıştır.

Bunun sebebi, iç gölgeleme elemanının güneş ışınımının mahale ulaşmasına engel olması ancak mahaldeki ısı artışına engel olamamasıdır. İçeride gölge elemanı olan perde, jaluzi vb. malzemeler güneş ışığının ısınıncı emer ve hava yoluyla bu ısıyı mahal içine aktarır ve mahale ait soğutma yükünün artmasına sebep olur.

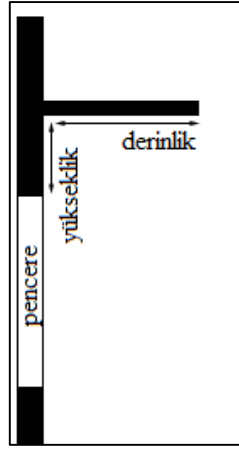
İncelemede, gölgeleme elemanlarının farklı boyut seçeneklerine göre uygun gölgeleme yüzdesini elde etmiştir. Farklı açı, uzunluk ve derinliklerdeki gölgeleme elemanlarında optimum bir çözüm elde etmiştir. İnceleme sonucunda, -30 derecelik açının yaz aylarında gölge verimi düşürdüğünü, 30 derecelik açının ise hem yaz ve hem de kış aylarında gün içindeki gölgeleme süresini genişletmekte olduğunu bu nedenle kış aylarında istenmeyen gölgelemeye neden olması yönüyle dikkat edilmesi gerektiğini eklemiştir (Yüceer, 2010).

Günümüzde, çeşitli gölgelendirme elemanlarıyla hem binanın gölgelenme süresini azaltarak ve gölgelemeyi sağlayarak soğutma enerjisi tüketimi azalırken aynı zamanda enerji üretilmektedir (Hagemann, 2005). Şekil 4.19’da bu uygulamanın bir örneği sunulmuştur.



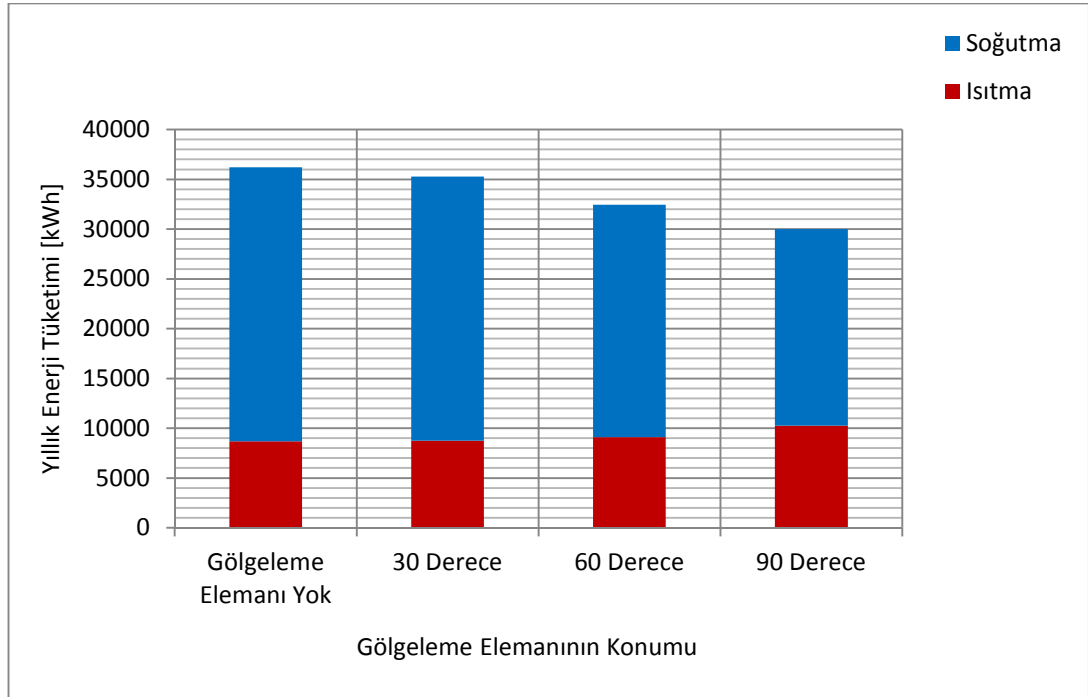
Şekil 4.19: Fotovoltik gölgelendirme elemanı kullanımı örneği.

Bu tez çalışmasında ise her iki bina içinde dış gölgeleme elemanı kullanılmıştır. Tercih edilen gölgeleme elemanının tipi Şekil 4.20’de verilmiştir. Bu elemanın derinliği 50 cm olup, pencere profiline göre sağ ve sol taraf uzunlukları 20 cm’dir. Pencere profili ile gölgeleme elemanı arasındaki dikeyde boşluk yoktur. Her bir pencere için ise bir adet gölgeleme elemanı kullanılmıştır.



Şekil 4.20 : Örnek binalar için kullanılan gölgelendirme elemanı tipi.

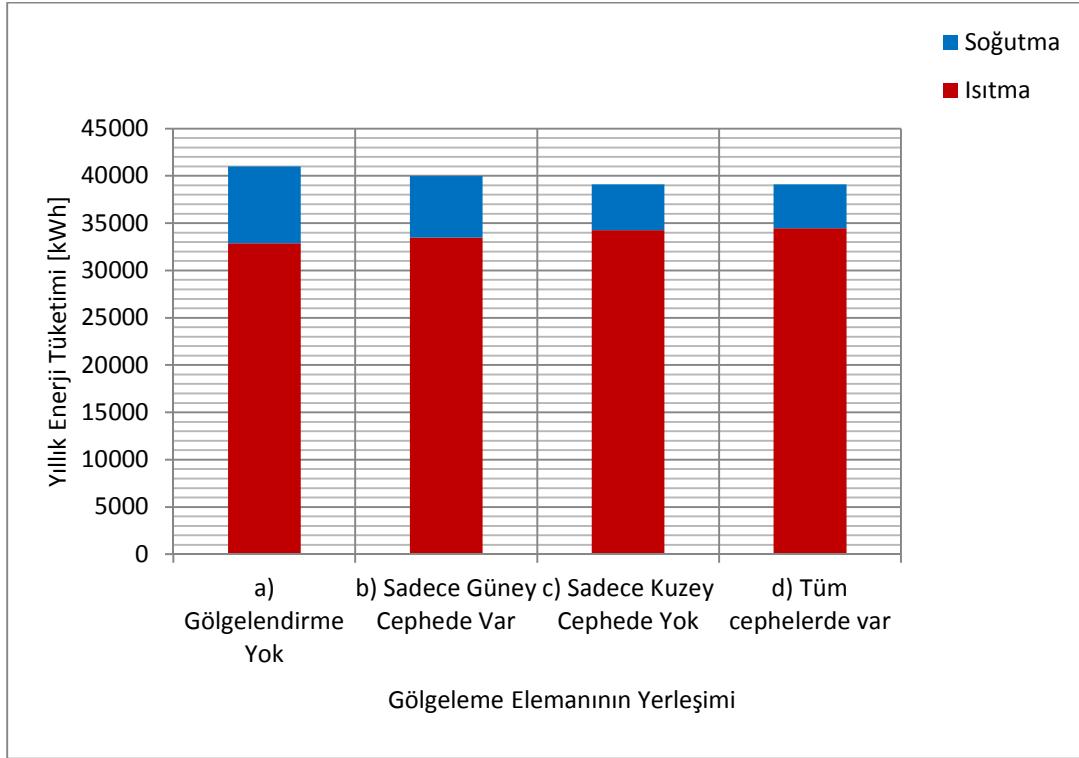
Şekil 4.21’de, İzmir için seçilen gölgeleme elemanı farklı açı ve konumlarda verimliliği kıyaslanmıştır. Değerlendirme sonucunda İzmir’deki enerji etkin bina için 90 derecelik dış gölgelendirme elemanının tüm cephelerde kullanılması uygun bulunmuştur.



Şekil 4.21 : İzmir için gölgeleme elemanının konumuna göre yıllık enerji tüketimi.

Berlin şehri içinse, bina soğuk iklim etkisi altında olduğu ve binanın güneşlenme süresi az olması nedeniyle gölgeleme elemanları cephelerdeki yerleşimlerine dikkat edilmiştir. Bu incelemede kıyaslanan gölgeleme elemanları; a) gölgelendirme elemanı yok b) sadece güney cephesinde gölgeleme elemanı var, c) sadece kuzey cephesinde gölgeleme elemanı yok, d) tüm cephelerde gölgeleme elemanı var.

Şekil 4.22’de görülmektedir ki, gölgelendirme elemanının kullanım yoğunluğuna göre ısıtma yükü artarken soğutma yükü azalmaktadır. Ancak c ve d seçeneklerinde soğutma yükünde büyük bir değişiklik olmadığı görülmüş ve maliyet de göz önünde bulundurularak, Berlin’deki enerji etkin bina için kuzey cephe hariç tüm cephelerde dış gölgelendirme elemanı kullanılması uygun bulunmuştur. Bunun durum, kuzey cephede gölgelendirme elemanının etkisinin az olmasında kaynaklanmaktadır.

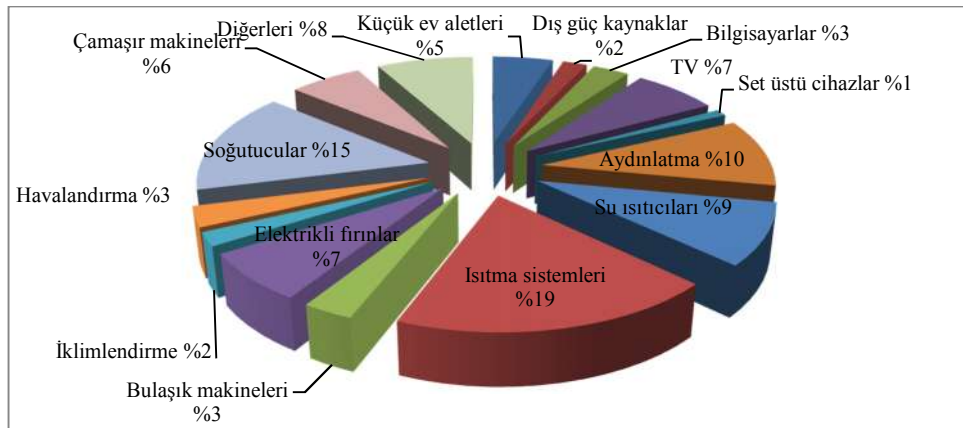


Şekil 4.22 : Berlin için gölgeleme elemanının farklı cephelerdeki yerleşimine göre yıllık enerji tüketimi.

5. AKTİF ÇÖZÜMLER

Net Sıfır Enerjili ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalarda, enerji verimliliği geleneksel binalara göre çok daha önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bütünleşmiş bina tasarımına ve binanın çevre ile daha uyumlu bir duruma getirilmesine ihtiyaç vardır. Etkin enerjili bina tasarımında en önemli özellikler; binaya ait ısıtma yükünün azalması için bina yalıtımının iyi yapılması, binanın soğutma yükünü düşürülmesi için bulunduğu iklim koşullarına göre gölgelendirme elemanı vb. çeşitli mimari bileşenlerin kullanılması, kullanılan yapı elamanlarının ve tesisatların sızdırmazlığının en aza indirgenmesidir. Bu sayede, binaya ait öngörülen yıllık enerji tüketiminde ciddi oranda tasarruf olur.

Bir sonraki adım ise, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırılması işlemleri yine iklim koşullarına ve bina yapısına uygun çözümler içeren yüksek verimli mekanik bir sistem ile karşılamaktır. Son olarak, bu binaların tasarımında binadaki mekanik sistemler, aydınlatma vb. sistemlere ait net enerji yükleri için ise yenilebilir enerji kaynaklarını kullanılmalı ve yıllık birincil enerji tüketimini yani fosil yakıt tüketimini en aza indirmek mümkünse sıfır yapmak asıl hedeftir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi Avrupa’daki binalara ait enerji tüketiminin dağılımı gözükmemektedir (Avrupa Komisyonu - Joint Araştırma Merkezi, 2007). Bu dağılımın yaklaşık %33’ü iklimlendirme (HVAC) sistemleri için harcanmaktadır.



Şekil 5.1 : Avrupa'daki konut binalarında enerji tüketimi dağılımı.

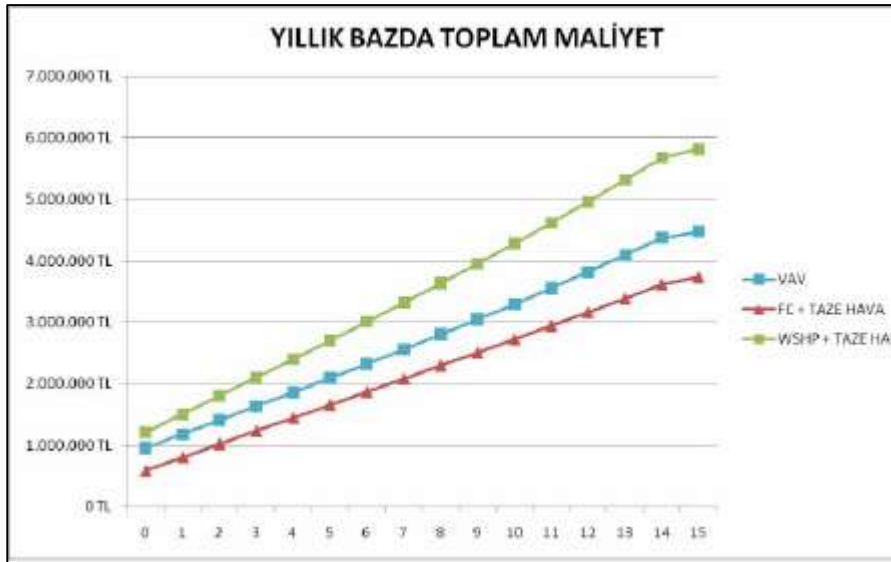
Enerji etkin binalarda her türlü iklim koşulunda ısı konforu sağlanması için iklimlendirme sistemlerinin yüksek verimli sistemlerden seçilmeli ve ileri düzey bir kontrol sistemi ile seçilen HVAC sisteminin kontrolünü sağlamalıdır. Etkin bir bina yönetim sistemi ise beraberinde verimli sistemleri daha da verimli çalışmasını getirmektedir.

HVAC sistemleri belirlenirken, binanın bulunduğu iklim bölgesi ve bölgeye özel iklim koşullarına uygunluğu, bunun yanı sıra binanın kullanım tipi ile uyumlu olması çok önemlidir. Ünlü (2010) çalışmasında, Türkiye'nin 3.İklim Bölgesi'nde bulunan Ankara'da inşa edilmesi planlanan bir ofis binası için farklı HVAC sistemlerini incelemiş ve yıllık tüketimleri gösteren kıyaslama Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kanak bazlı yıllık enerji tüketimi karşılaştırılması.

Kaynak	VAV	Fan coil & Taze Hava	Isı Pompası
Elektrik (kWh)	160.059	159.791	225.514
Doğal Gaz (m ³)	14.746	29.100	16.761

Ünlü, ayrıca bu incelemesine maliyet analizini de ekleyerek Şekil 5.2'de kıyaslama ile aradaki farkı vurgulanmıştır (Ünlü, 2010).



Şekil 5.2 : Kaynak bazlı yıllık maliyet karşılaştırması.

Develi (1999) ise “Kanal Tipi Split Klima Sistemleri ile VRV Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Optimum Çalışma Şartlarının Belirlenmesi” çalışmasında her iki sistemin İstanbul, İzmir ve Antalya illeri için yatırım ve işletme maliyeti analizini yapmış, VRF sisteminin İzmir ve Antalya illeri için kanallı sisteme göre %20-25,

İstanbul için %37 daha maliyetli olduğunu bulmuştur. Ancak bu maliyetin yatırım maliyetinin yüksekliğinden kaynaklandığını söyleyen Develi, çalışmasında, Ege ve Akdeniz kıyıları için VRF sisteminin elektrik sarfiyatında %28'e varan kazanç sağladığını ortaya koymuştur.

Bir başka çalışmada ise Siyahhan (1999) tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada, VRF ile VAV, fan coil ve split sistemleri genel olarak karşılaştırılmıştır. Benzer bir çalışmada Etem (2002) fan coil sistemi ile VRF sistemini karşılaştırmış ve fan-coil sisteminin ilk yatırım maliyetinin daha düşük olduğundan bahsetmiş ancak her yıl harcanan elektrik ve yakıt tüketiminin daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Çalışmasının devamında ise, her iki sistemin maliyet analizi yapmıştır. Analiz sonucu VRF sisteminin hem yatırım hem işletme maliyetinin fan-coil sisteminden daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Şahin (2003) ise, ilk yatırım ve işletme masrafları dikkate alındığında VRF sisteminin, ilk kurulumda ve takip eden birkaç sene içinde, merkezi fan coil sistemine göre daha pahalı olduğunu ancak 4-5 yıl içinde ondan daha ekonomik hale geçtiğini göstermiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, benzer bir yaklaşım ile önceki bölümlerde mimari olarak tasarımı tamamlanan İzmir ve Berlin'deki enerji etken binalar için en uygun ve optimum maliyetli mekanik sistemlerin seçilmesindeki önemli adımlar ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

İzmir ve Berlin için fan coil ve VRF sistemleri incelenmiştir. Belirtilen iki sistemin çalışma prensipleri, sistem özellikleri, sistemlerin avantaj ve dezavantajları ve binaya uygulamışlarından ele alınmıştır.

5.1 Lokasyon ve İklim Özellikleri

Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina ve Net Sıfır Enerjili Bina tasarımında iklim koşulları dikkat edilmesi gereken en önemli tasarım hususudur. Mekanik sistemlerdeki fan, pompa, kazan, soğutma grubu vb. bileşenler için gerekli enerji miktarı iklim şartlarına göre büyük farklılıklar göstermektedir. Örnek binalarda biri İzmir, Türkiye'de diğer bina ise Berlin, Almanya'da bulunmaktadır. İzmir şehri ASHRAE iklim bölgesine göre 3A'da, Berlin ise 5C bölgesinde bulunmaktadır.

İzmir Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Don olayı ve kar yağışı kıyı kuşağında nadir görülür. En soğuk ay 6.4°C ortalama ile

Ocak ayı, en sıcak ay 26.8°C ortalama ile Temmuz ayıdır. Yıllık ortalama sıcaklık 16.3°C'dir. Yıllık bağıl nem ortalaması ise %63.2'dir. Tasarımda dikkat edilmesi gereken özellikler, iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferi, pencerelerden geçen güneş enerjisi miktarı ve havalandırma, hava sızıntısı gibi sebeplerden dolayı ortama geçen yüksek miktardaki nemin iklimlendirmesi yapılan ortamdan uzaklaştırılması için gereken soğutma yüküdür.

Berlin şehrinde ise yıllık ortalama sıcaklık 8.9°C'dir. Genel olarak en sıcak ay Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubat aylarıdır. Berlin'de kış ayları oldukça sert geçerken, yaz aylarında serin ve zaman zaman yağışlı bir hava hakimiyeti görülmektedir. Kış aylarında sıcaklık ortalaması 0 ile 3°C arasında değişirken, yaz aylarında sıcaklık yaklaşık 17-20 derece arasında değişmektedir. Bu bölgede tasarımda dikkat edilmesi gereken en önemli etken ısıtma yükünün yüksek olması beklendiğinden dolayı kış aylarında pencerelerden geçen güneş enerjisi ısı miktarının mümkün olduğunca yüksek seviyelerde tutulması amaçlanmalıdır. Bu nedenle, kullanılması planlanan cam tipine göre yazın soğutma yükünün artması söz konusu olabilir ve bu durumu önleyici tedbirler alınmalıdır. Şehirlere ait tasarım sıcaklıkları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

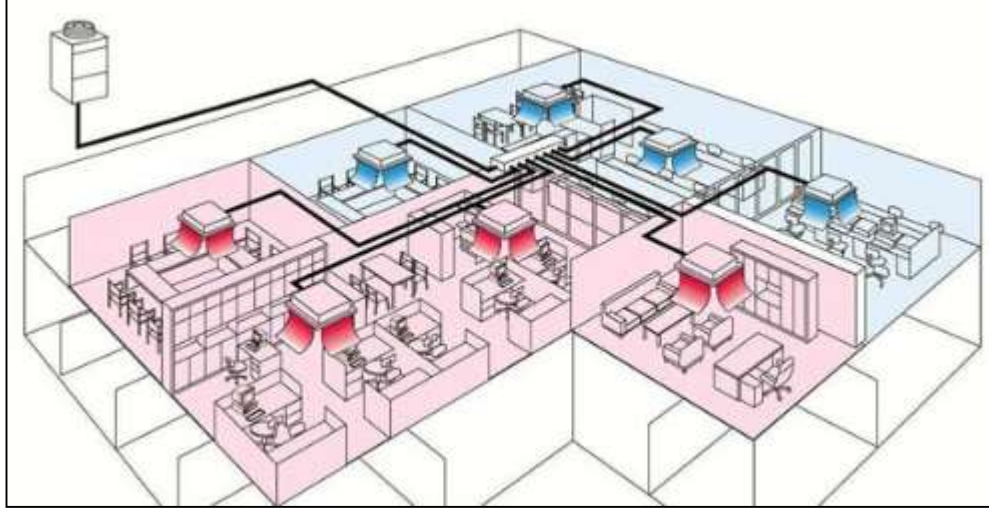
Çizelge 5.2: Berlin ve İzmir şehirlerinin iklim özellikleri.

	Berlin	İzmir
Yükseklik [m]	49	5
Enlem [°]	52.47	38.50
Boylam [°]	13.40	27.02
Isıtma tasarım sıcaklığı %99,6 [°C]	-11,8	-1,8
Soğutma tasarım sıcaklığı %0,4 [°C]	30	36,2
En düşük kuru termometre sıcaklığı [°C]	-9,1	-3,2
En yüksek kuru termometre sıcaklığı [°C]	32,8	41

5.2 VRF Sistemi

VRF “Variable Refrigerant Flow” kelimelerinin baş harflerinden oluşan VRF; Değişken Debili Soğutucu Akışkan klima sistemi anlamında kullanılmaktadır. Birçok iç ünitenin tek bir dış üniteye veya dış ünite grubuna bağlanması, bireysel veya merkezi bir sistem ile kontrol sistemleri ile edilebilen iklimlendirme sistemidir. Bu sistemler, dış ünite ile gaz akış dağıtıcıları yardımıyla birden çok iç ünitenin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebildiği direkt genleşmeli klima sistemleridir.

Sisteme ait teknolojinin gelişmesiyle beraber ileri düzeydeki kontrol sistemi sayesinde enerji tasarrufu yaparak eş zamanlı ısıtma ve soğutma yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 5.3'te tipik bir ısı geri kazanımlı VRF sistemine ait şema sunulmuştur.



Şekil 5.3 : Tipik bir ısı geri kazanımlı VRF sistemi.

5.2.1 VRF sisteminin çalışma prensibi

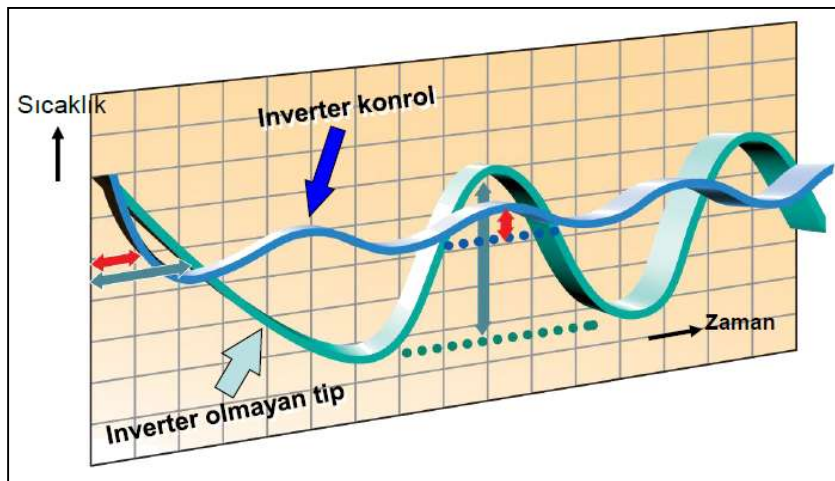
VRF sistemleri birbirinden bağımsız iklimlendirme ve havalandırma uygulamasına ihtiyaç duyulan ve yük ihtiyacının sürekli değiştiği lüks apartman, villa, ofis, otel, restoran vb. binalarda başarıyla uygulanan ve tercih edilen bir sistemdir. Bu uygulamaların başarılı olmasının en önemli sebeplerinden biri gelişmiş bir kontrol mekanizmasını ve akış denetimini sağlayan ünitelerinin olmasıdır.

Bu sayede, ihtiyaç duyulan miktardaki soğutucu akışkan doğru zamanda gönderilerek ilgili mahalde ısıtma veya soğutma yapılarak istenen konfor şartları sağlanmaktadır. Ayrıca bu özelliği ile yüksek verimle ısıtma ve soğutma yaparak önemli düzeyde enerji tasarrufu elde edilmektedir. VRF sistemleri, gelişen inverter teknolojisi ve değişken gaz debisi sayesinde alışagelmış ısıtma ve soğutma sistemlerinin yerini hızla almış ve pazar payı hızlı bir şekilde artmıştır.

VRV sistemi çalışma prensibi en çok bilinen basit soğutma çevrimi ile aynıdır. Soğutma Çevrimi, bir akışkanın bir ortamdan emdiği ısıyı geri yayması sonucu oluşan ısı değişiklikleridir. Ancak VRF sisteminin adından da anlaşılacağı üzere, bilinen sistemden farklı olarak, ısıtma veya soğutma ihtiyacı duyulan mahale gönderilen soğutucu akışkanın debisinin iyi bir kontrol sistemi ile ayarlayabilmesi söz konusudur.

Tipik bir soğutma çevriminde olduğu üzere, sistemdeki soğutucu akışkan kompresöre düşük basınçta ve doymuş buhar olarak girmektedir. Soğutucu akışkan burada kompresör yardımıyla sıkıştırılarak yüksek basınca çıkarılır ve akışkanın sıcaklığı ortam sıcaklığının üzerinde olur. Kompresörden kızgın buhar olarak çıkan soğutucu akışkan yoğusturucuya gider ve bulunduğu ortama ısı vererek yoğusturucudan doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğusturucudan ayrılan doymuş sıvı fazındaki soğutucu akışkan genleşme vanasına gelir. Burada soğutucu akışkanın basıncı düşürülerek sıcaklığı ortam sıcaklığından düşük hale getirilir. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya doymuş sıvı-buhar karışımı olarak girer ve burada ortamdaki ısı alarak buharlaşır. Çevrim doymuş buharın yeniden kompresöre girmesiyle tekrarlanarak devam eder.

Sistemdeki iç ünitelerde bulunan sensörleri ile istenen mahal sıcaklığı değerleri mikro işlemcide toplamaktadır. Mikro işlemci tarafından kontrol edilen bu sıcaklıklara göre elektronik genleşme vanası ile soğutucu akışkan miktarı ayarlanır. Belirlenen debi miktarına göre de dış ünitadaki inverter kompresör devri ayarlanır. Bu özelliğin sağlanabilmesi için inverter kompresörler kullanılmaktadır. İnverter teknoloji sayesinde standart klimalara göre %50, elektrikli ısıtıcılara göre ise %400 tasarruf sağlanabilmektedir. Şekil 5.4’de görüldüğü üzere inverter kompresörlerin kullanılması durumunda normal kompresörlere göre istenilen sıcaklığa daha çabuk ulaşılır ve bu sistemin enerji tasarrufu yapmasını sağlamaktadır. Ayrıca konvansiyonel sistemlere göre sıcaklık ayarı toleransı çok daha düşüktür. Gelişen teknoloji ile bu tolerans $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ’yi bulabilmektedir.



Şekil 5.4 : İnverterli sistemlerde istenen sıcaklığa ulaşma süresi ve ayar sıcaklık toleransı.

Sistem verimin yüksek olması inverterli kompresör kullanımının yanı sıra, frekans kontrol dış ünite fanlarının olması, ileri düzey genleşme valfi kullanımının da etkisi vardır. Bunlara ek olarak bazı marka ve modellerde yazılımın daha gelişmiş olması ve özel tasarımı yüzey alanı arttırılmış kondenserler sayesinde sistem COP'si daha da artış göstermektedir.

5.2.2 VRF sisteminin avantajları ve dezavantajları

Hem ısıtmayı hem soğutmayı aynı binada yüksek bir verimle sağlaması sayesinde farklı mahallerde farklı konfor koşullarının talep edildiği yapılarda (özel mülk, otel, ofis vb.) kullanılması en önemli özelliğidir. Kurulum koşulları ve tesisat yerleşimi sayesinde, mimarinin yani görseelliğin ön planda olduğu yapılarda dış cepheye müdahale gerektirmeyen bir sistem olması nedeniyle restorasyon projelerinde de tercih edilmektedir.

Aynı zamanda, kullanılan soğutucu akışkanın yüksek kapasitede ısı transferi özelliği sayesinde su ve havanın kullanıldığı sistemlere göre sisteme ait boru çapları daha küçük olur. Bir başka özelliği ise, alışveriş merkezleri, plaza vb. yapılarda mülk sahibi ya da kiracıların özel faturalandırmanın yapılması gerektiği durumlarda harcanan enerjinin kontrolünün sağlanması sayesinde tercih edilmektedir.

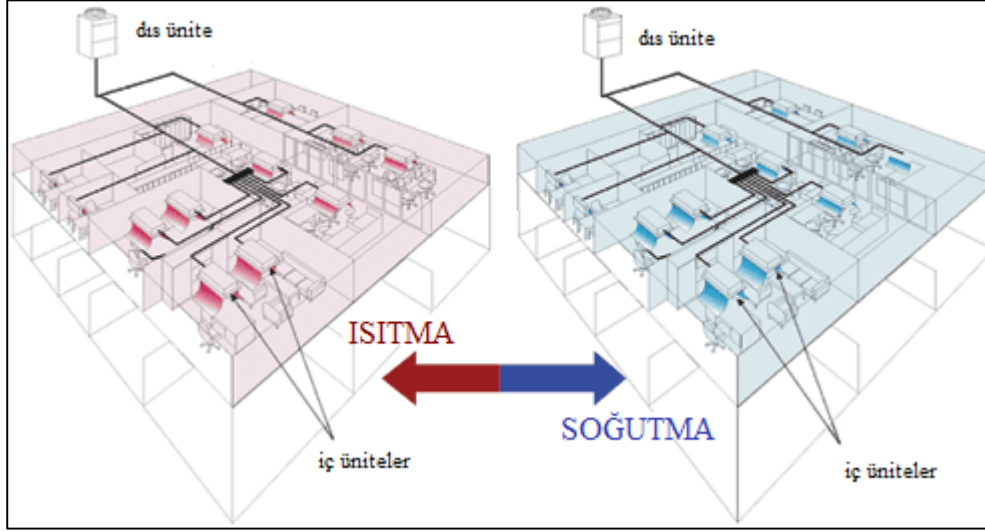
Merkezi sistemdeki bir arıza binanın tümünde klima cihazlarının kullanılmasını engelleyebilir. VRF sisteminde ise arıza yapan cihazın bulunduğu küçük bir kısım etkilenir. Cihaz sayısının az ve küçük boyutlu olması nedeniyle, tasarım yönünden esnek, montaj ve kurulum yönünden ise daha kolay bir sistemdir. Tüm bu özelliklerinin dışında gece çalışma modunda dış ünite için 50 dB, iç ünite için ise 22 dB'i sağlayabilen düşük ses seviyesi, yüksek güvenilirlik, düşük işletme maliyeti ve kısa süredeki sistem geri kazanımı sayesinde önemli bir pazar payına sahiptir.

VRV sisteminin en önemli dezavantajı olarak dış hava sıcaklıklarının düşük olduğu iklim şartlarında ve yüksek binalarda kullanıldığında sistem çalışmasında yaşanan sorunlar gösterilebilir.

5.2.3 VRF ısı pompası sistemi ve örnek binalara uygulması

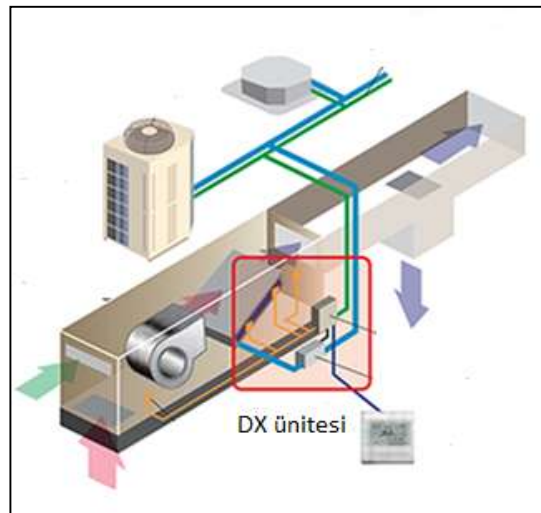
VRF Isı pompası ile dönemsel ısıtma veya soğutma sağlanabilmektedir. İç üniteler mahalde istenen sıcaklığına göre buharlaştırıcı ya da yoğuşturucu olarak görev almaktadır. Bu nedenle, Şekil 5.5'te görüldüğü üzere aynı dönem içerisinde

mahallerdeki ısıtma veya soğutmayı sağlamaktadırlar. VRF ısı pompası sisteminde de inverterli kompresörler kullanılmaktadır, bu da sabit hızlı kompresörleri kullanan sistemler ile karşılaştırıldığında daha az elektrik tüketimi ve düzgün-doğrusal performans sağlanması anlamına gelmektedir. VRF ısı pompası sistemleri düşük maliyetli ve enerji tasarrufu yüksek olan sistemlerdir.



Şekil 5.5 : VRF ısı pompası ile ısıtma ve soğutma yöntemi.

Çözüm önerilerinden ilki olan VRF sistemi EnergyPlus programı kullanılarak her ikisi binaya uygulanmıştır. Sistemde VRF iç ünitelerine hizmet eden bir dış ünite bulunmaktadır. Ek olarak, taze havanın sağlanabilmesi için havalandırma DX üniteli Hava Şartlandırma Ünitesi ile kullanılmıştır. Sisteme ait işleyiş biçimi basit bir şema ile Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6: DX üniteli VRF sistemi.

5.3 Fan coil Sistemi

Fan coil, içerisinden ısıtıcı ve soğutucu akışkanın geçtiğı serpantinlerin arkasındaki fan yardımıyla koşullandırılan havanın mahale üflenmesi ve bu sayede mahalın ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılayan iklimlendirme cihazıdır. Fan coil sistemi, çok zonlu sistemlerde ve yüksek binalarda sistem ihtiyaçlarını kolayca karşılayabilme, düşük kurulum maliyeti ve basit kurulumu vb. zelliklerinden dolayı uygulamada çok karşılaşılan bir sistemdir. Çalışmada rnek binalarda da uygulanan fan coil ve taze havanın birleştiğı bir sisteminde, her odanın istenen sıcaklıkta tutulmasını sağlama görevi fan coil cihazına aittir.

Fan coil ve taze hava sistemindeki bileşenler fan coil cihazı, havalandırma sistemi ve tesisatı, ısıtma ve soğutma suyu dağıtımı ve dönüşü için borulama tesisatı, yoğuşma tesisatı, ısıtma ve soğutma grupları ve otomasyon sistemlerinden oluşmaktadır.

5.3.1 Fan coil sisteminin çalışma prensibi

İki tip fan coil cihazı bulunmaktadır. Bunlardan ilki 2 borulu fan coil cihazı diğeri ise 4 borulu fan coil cihazıdır. 2 Borulu Fan coil cihazında serpantinden kışın sıcak su, yazın ise soğuk su geçmektedir yani mevsimsel ya da başka bir ifadeyle dönemsel ısıtma veya soğutma yapabilmektedir.

4 Borulu fan coil cihazında, soğuk su gidiş-dönüş ve sıcak su gidiş-dönüş olmak üzere toplam 4 boru bağlantısı bulunmaktadır ve fan coil ünitelerinde genelde biri ısıtıcı biri de soğutucu olmak üzere iki ayrı serpantin mevcuttur. Bu sayede, 2 borulu fan coil cihazı yerine tercih edilmesinin en büyük özelliğı olarak bilinen, eş zamanlı farklı mahallerde istenen farklı konfor şartları sağlanabilmektedir. Örneğın, aynı dönemde güney cephesinde soğutma yapabiliyorken, sistem kuzey cephedeki mahaller için ısıtma konforunu sağlayabilmektedir.

5.3.2 Fan coil sisteminin avantajları ve dezavantajları

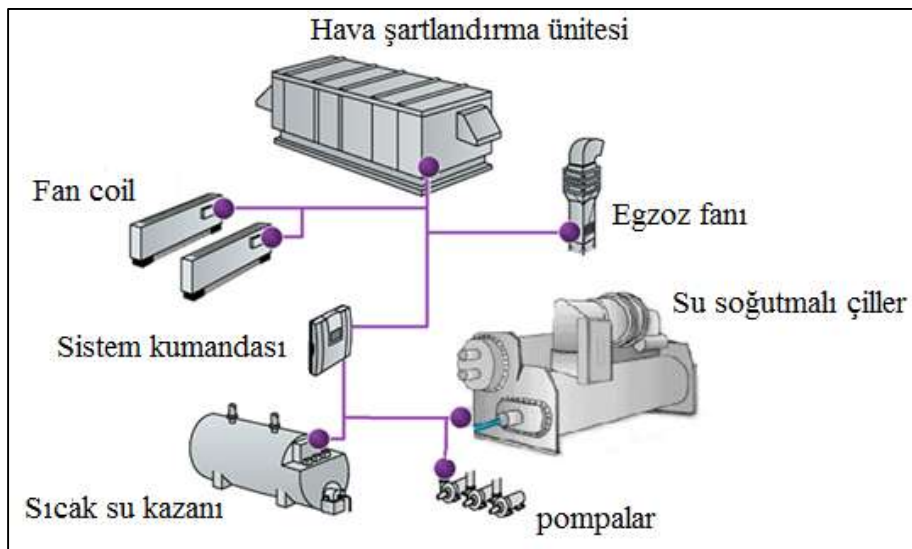
Fan-coil cihazları direkt olarak havayı ısıtırlar ve hızlı devreye girip çıkabilirler. Bu nedenle kısa süreli kullanımlarda enerji tüketimi düşüktür. Kullanım kolaylığı ve enerji tüketimi açısından bu kesikli kullanıma uygun olması nedeniyle ofis, otel, konut gibi kullanım yerlerinde açılıp kapatılmaya uygundur. Fan coil cihazlarının genelde ısıtma kapasiteleri soğutma kapasitelere göre daha fazla olduğı için soğuk iklim bölgelerinde de uygulanması için tercih sebebidir. Bir başka özelliğı ise sistemdeki

akışkanın su olmasıdır. Soğutucu akışkan olan suyun havaya oranla yüksek kapasitede ısı transferi özelliği olması nedeniyle havanın kullanıldığı sistemlere göre sisteme ait boru çapları daha küçük olur. Fan coil cihazlarının tercih sebeplerinden biri olmasının bir başka neden ise, sistemin bakım ve kurulumu kolay, işletme maliyetinin ise diğer sistemlere oranla daha düşüktür.

Sistemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. En önemli olanı ise, cihazın ses seviyesidir. Bunun sebebi ise, her cihaz içerisinde bir fan bulunması ve mahalde motor sesinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bununla beraber, fan coil fanları modülasyonlu çalışmadığı, dur-kalk operasyonu ile çalıştığı için, ortam sıcaklığı mahalın belirli bölgelerinde ve zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna ek olarak, sistemdeki yoğuşma nedeniyle yoğuşma tesisatı kurulurken dikkat edilmeli ve sistem yalıtımı ile ilgili tüm tedbirler alınmalıdır.

5.3.3 Fan coil sisteminin örnek binalara uygulandığı

VRF sisteminin dışında diğer bir çözüm öneri olan fan coil sistemi yine EnergyPlus programı kullanılarak sonuçları kıyaslayabilmek için her iki binaya da uygulanmıştır. Sistemde fan coil cihazı için sıcak suyun ısıtılması görevini kazan, soğutma suyunun sağlanması için ise su soğutmalı santrifüj çiller ve bu sistemin bir parçası olan soğutma kulesi kullanılmıştır. Taze hava ise DOAS (Dedicated Outdoor Air System) ile sağlanmıştır yani sistemde havalandırma ve dış havanın iklimlendirilmesi için bir adet AHU (Hava şartlandırma Ünitesi) kullanılmıştır. Sisteme ait işleyiş biçimi basit bir şema ile Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7 : Fan coil sisteminde ısıtma ve soğutma grubu.

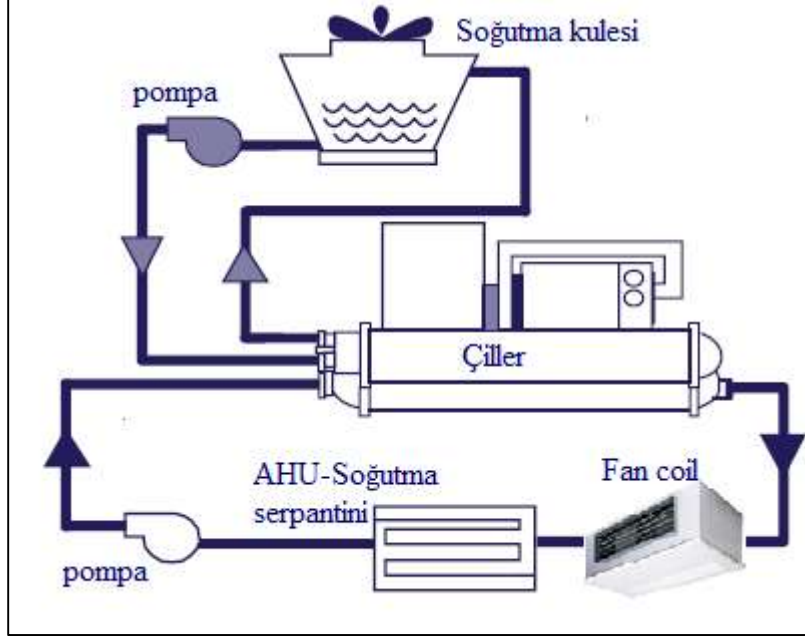
5.3.3.1 Çiller ve soğutma kulesinin seçimi

Bilindiği üzere genel olarak, çiller cihazları, kondenser ünitelerinin yapısına göre “hava soğutmalı” ve “su soğutmalı” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hava soğutmalı çiller cihazları, kanattan imal edilmiş kondenser ünitelerinde, yüksek sıcaklığa sahip soğutucu gazın ısısını, ortam havası vasıtasıyla düşürürken, su soğutmalı çiller cihazlarında bu görev shell&tube yapıda ki eşanjörler vasıtası ve soğutma kulesi ile yerine getirilmektedir. Her iki çiller tipi de oldukça geniş kullanım alanına sahip olmakla birlikte, kullanılacak bölgenin ve yapılacak işin özelliklerine göre tercih edilme durumları değişmektedir.

Genel olarak bakıldığında hava soğutmalı çiller cihazları su soğutmalı çiller cihazlarına göre COP değerlerinden anlaşılabileceği üzere düşük performanslıdır. Bu nedenle, cihaz seçimi yapılırken birçok koşula dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada aşağıda koşulların göz önünde bulunarak değerlendirilmesi sonucu su soğutmalı çiller cihazı seçilmiş ve su tarafına açık tip soğutma kulesi eklenerek soğutma çevrimi tamamlanmıştır.

- Sistem kurulumu yapılacak bölgede elektriğin pahalı olması
- Bölgedeki gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkının don oluşturacak kadar yüksek olmaması ve kış aylarında soğutma grubunun çalışma zorunluluğunun olmaması
- Su soğutmalı chiller ünitelerinin kompresörleri, hava soğutmalı chillerlere göre yaklaşık %17-37 arasında daha az enerji tüketmesi
- Su soğutmalı chiller cihazlarının tüm pompalar ve kule fanlarının çektiği güçler dahil edilse dahi, hava soğutmalı chiller cihazlarına oranla %17-30 arasında daha az elektrik enerjisi tüketmesi
- Su soğutmalı chiller cihazlarının, COP değeri hava soğutmalı gruplar ile kıyaslandığında %30-%65 oranında daha iyi olması
- Su soğutmalı grupların ilk yatırım maliyeti, hava soğutmalı olan gruplara kıyasla %25 civarında daha ucuz olması (ancak, kule, sirkülasyon pompaları, ilave montaj malzemeleri de hesaba dahil edildiğinde bu oran %15 mertebesine düşmektedir)
- Soğutma kapasitesi büyüdükçe, su soğutmalı grupların, fiyat ve işletme maliyeti açısından bakıldığında daha avantajlı olması

Çalışmada, bir adet su soğutmalı ve santrifüj kompresörlü çiller kullanılmıştır. EnergyPlus kütüphanesinden seçilen cihazın COP değeri 5,25'dir. Şekil 5.8'de soğutma grubu ve çevrim elemanlarının işleyiş şeması verilmiştir.



Şekil 5.8 : Fan coil sistemi soğutma grubu elemanları.

Su soğutma grubunun bir başka önemli elemanı ise soğutma kulesidir. Simülasyonda bir adet soğutma kulesi kullanılmıştır. Soğutma kulesi açık tip ve sabit devirli seçilmiştir. Günümüzde enerji verimliliği nedeniyle değişken devirli soğutma kuleleri birden fazla çillerin olduğu sistemlerde oldukça tercih edilmektedir. Ancak bu çalışmada soğutma kulesi ile tek bir çiller çalıştığı için sabit devirli tercih edilmiştir.

Sistemdeki taze hava ihtiyacı ise plakalı ısı geri kazanım ünitesine sahip AHU ile sağlanmaktadır. Isı geri kazanım ünitesinde duyulur ısı geri kazanımı verimi 0,7 ve gizli ısı geri kazanımı 0,65 olarak alınmıştır.

6. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Çalışmada bina formu aynı olan iki binayı farklı iklim bölgelerinde konumlandırarak, her bir binanın Net Sıfır Enerjili ya da Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina sınıflandırmasına girebilmesi için bina tasarımında değişiklikler yapılarak birer çözüm paketi oluşturulmuş ve yıllık birincil enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Net Sıfır Enerjili Bina'nın yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m².yıl, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina'nın yıllık birincil enerji tüketimi ise belirlenen referans değerlere göre 60 kWh/m².yıl olarak kabul edilmiştir.

Binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamak üzere iki mekanik sistem değerlendirilmiştir. Bu iki sistem VRF ısı pompası ve fan coil sistemidir. Sistemlerin arasındaki fark daha açık bir biçimde görebilmek için binadaki bir takım yükler ortak ve eşdeğer kabul edilmiştir. Bu yükler arasında; Hava değişimi, aydınlatma ve elektrikli ekipman yükü ve sıcak su yüküdür. Her iki bina için simülasyon sonucu elde edilen ortak yüklere ait değerler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Ortak yükler için yıllık enerji tüketimi.

Hava Değişimi [ach/h]	Aydınlatma Yükü [kWh _{elk}]	Elektrikli Cihaz Yükü [kWh _{elk}]	Sıcak Su [kWh _{ısı}]
0,799	1.127	1.212	1.116

Beklenildiği üzere iklim koşullarının etkisi nedeniyle, İzmir ilindeki binanın soğutma yükü ısıtma yükünden daha fazla çıkmıştır. Binadaki yıllık birincil enerji tüketimi düşürebilmek için bir takım tasarım değişiklikleri uygulanmıştır. Mekanik sistemlerin önemi ve farkını ayrıntılı olarak görebilmek için bu tasarım önlemleri alınmadan önce yani referans binaya ait yıllık birincil enerji tüketimi 178,82 kWh/m².yıl olduğu belirtilmelidir.

İzmir ilindeki enerji etken binanın iklimlendirmesinin fan coil sistemi ile sağlanması durumunda simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri Çizelge 6.2'de ortak yükler dahil edildiğindeki toplam ısı ve elektrik tüketimleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.2 : İzmir için fan coil sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.

Sistem	Isıtma [kWh _{ısı}]	Soğutma [kWh _{elk}]	Fan [kWh _{elk}]	Pompa [kWh _{elk}]
Fan coil	1.312	9.470	866	1.830

Sıfır Enerjili Binanın yıllık birincil tüketim ve üretim enerji miktarları bulunurken Çizelge 6.3’deki birincil enerji dönüşüm faktörü ile çarpılır.

Çizelge 6.3: Site-kaynak enerji dönüşüm katsayıları

Enerji Dönüşüm Katsayıları	
Elektrik	3,167
Doğalgaz	1,084
Buhar	1,050
Benzin	1,050
Mazot	1,050
Kömür	1,050

$$E_{elektrik} = E_{soğutma} + E_{fan} + E_{pompa} + E_{aydınlatma} + E_{cihaz} = 9.470 + 866 + 1.830 + 1.127 + 1.212 = 14.505 \text{ kWh}_{elk} \quad (6.1)$$

$$E_{elektrik} = \frac{14.505}{512} = 28,33 \text{ kWh}_{elk} / m^2 \cdot yıl$$

$$E_{dogalgaz} = 1.312 + 1.116 = 2.428 \text{ kWh}_{ısı} \quad (6.2)$$
$$E_{dogalgaz} = \frac{2.428}{512} = 4,74 \text{ kWh}_{ısı} / m^2 \cdot yıl$$

Çizelge 6.4 : İzmir için fan coil sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.

Sistem	Toplam Isı İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Toplam Elektrik İhtiyacı [kWh _{elk} /yıl]	Bina Birincil Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Bina Yıllık Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /m ² .yıl]
Fan coil	2.428	14.505	48.569	94,86

İzmir’deki binanın mekanik sistemi fan coil yerine ısı pompalı VRF sistemi seçildiğinde ise ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’daki görüldüğü üzere değişmektedir.

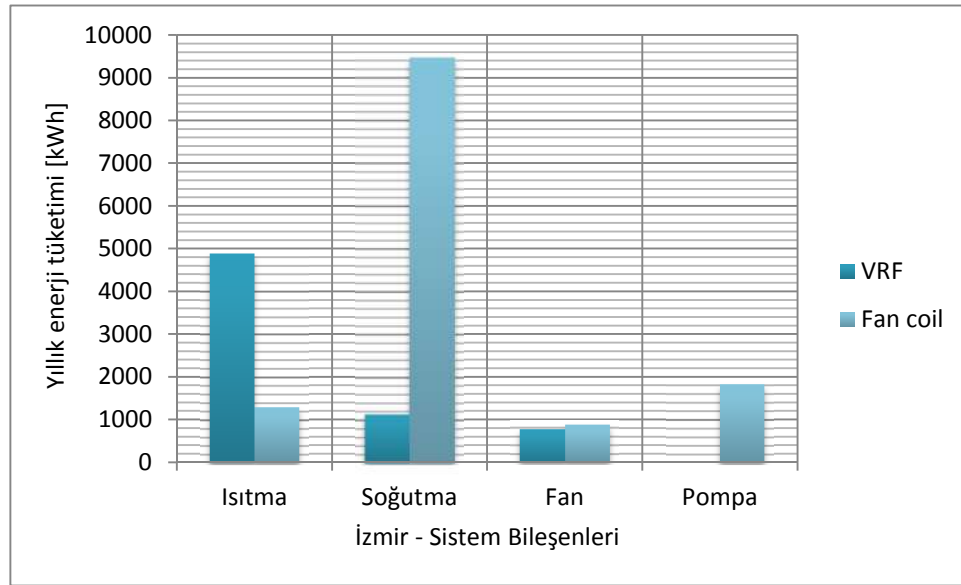
Çizelge 6.5 : İzmir için VRF sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.

Sistem	Isıtma [kWh _{ısı}]	Soğutma [kWh _{elk}]	Fan [kWh _{elk}]	Pompa [kWh _{elk}]
VRF	4.882	1.139	762	0

Çizelge 6.6 : İzmir için VRF sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.

Sistem	Toplam Isı İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Toplam Elektrik İhtiyacı [kWh _{elk} /yıl]	Bina Birincil Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Yıllık özgül Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /m ² .yıl]
VRF	5.998	4.240	32.424	63,33

VRF sistemi kullanılan ikinci seçenekte sıcak su kullanımı elektrikli ısıtıcı ile sağlandığı kabul edilmiştir. İzmir için VRF ve fan coil sistemlerinin karşılaştırılması Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1 : İzmir şehri için VRF ve fan coil sistemlerinin karşılaştırılması.

Grafikteki kıyaslamadan görülmelidir ki, İzmir şehrindeki binanın soğutma yükünün fazla olması nedeniyle enerji tasarrufu yapabilmek için bu alanda iyileştirmeler yapılmalı ve soğutma sistemi verimi yüksek olan bir sistem seçilmelidir. Bu nedenle VRF sistemi fan coil sistemine göre bu iklim için daha verimli olmaktadır. İki sistem arasında yıllık birincil enerji tüketimi farkı 31,53 kWh/m².yıl’dır.

Sonuç olarak referans binanın herhangi bir tasarım değişikliği yapılmadan ya da önlem alınmadanki yıllık birincil enerji tüketimi 178,82 kWh/m².yıl’dır. İzmir şehrinin bulunduğu sıcak iklim koşullarına uygun pasif ve aktif çözümlerin kullanılmasıyla beraber yıllık birincil enerji tüketimi 63,33 kWh/m².yıl’dır. Bu çalışma sonucu İzmir ilindeki örnek binada 115,49 kWh/m².yıl tasarruf yapılmıştır.

Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yıllık 63,33 kWh/m².yıl birincil enerji tüketimi ile İzmir’deki bina kabul edilen değerlere uygun olarak Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina kategorisine girebilmektedir. Ancak, Sıfır Enerjili Bina’da yenilebilir enerji

kullanmak kaçınılmazdır. Bir önceki bölümde, yenilebilir enerji olarak güneş enerjisi kullanmış ve İzmir için yıllık 64,04 kWh/m² enerji üretilebildiği hesaplanmaktadır. Bu enerji toplam 75 güneş paneli ile sağlanmıştır. Binaya ait 63,33 kWh/m².yıl tüketimin tamamı için elektrik enerjisi kullanıldığından ve binanın ihtiyaç duyduğu enerjinin tümü güneş enerjisinde elde edilen elektrik enerjisi ile sağlanabilmektedir. Tüm bu sonuçlara göre İzmir'deki binanın yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m².yıl olup, bina Net Sıfır Enerjili Bina olarak kabul edilmektedir.

Berlin şehrinde ise iklim koşulları nedeniyle binaya ait ısıtma yükünün soğutma yükünden fazla olması nedeniyle enerji tasarrufu yapabilmek için bu alanda iyileştirmeler yapılmalı ve soğutma sistemi verimi yüksek olan bir sistem seçilmelidir. Isıtma sisteminde kazan kullanılması ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda fan coil sistemi VRF sistemine oranla bu iklim için daha verimli olmaktadır. Uygulanan mekanik sistemlerin önemi ve farkını ayrıntılı olarak görebilmek için bu tasarım önlemleri alınmadan önce yani referans binaya ait yıllık birincil enerji tüketimi 356,48 kWh/m².yıl olduğu belirtilmelidir

Berlin ilindeki enerji etken binanın iklimlendirmesinin VRF sistemi ve sıcak su kullanımının elektrikli su ısıtıcı ile sağlanması durumunda simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri ve ortak yükler dahil edildiğindeki toplam tüketimler Çizelge 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : Berlin için VRF sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.

Sistem	Isıtma [kWh _{ısı}]	Soğutma [kWh _{elk}]	Fan [kWh _{elk}]	Pompa [kWh _{elk}]
VRF	17.483	319	758	0

Çizelge 6.8 : Berlin için VRF sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.

Sistem	Toplam Isı İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Toplam Elektrik İhtiyacı [kWh _{elk} /yıl]	Bina Birincil Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Yıllık Özgül Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /m ² .yıl]
VRF	18.599	3.416	69.722	136,17

Berlin'deki binanın mekanik sistemi VRF yerine fan coil sistemi seçildiğinde ise ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi Çizelge 6.9 ve 6.10'da görüldüğü üzere değişmektedir. Simülasyonda kullanılan kazanın yoğunlaşmalı kazan olmadığı göz önüne alınmalıdır. Sıcak su kullanımı doğalgaz ile sağlanmıştır.

Çizelge 6.9 : Berlin için fan coil sistemi kullanıldığında enerji tüketimleri.

Sistem	Isıtma [kWh _{ısı}]	Soğutma [kWh _{elk}]	Fan [kWh _{elk}]	Pompa [kWh _{elk}]
Fan coil	14.766	5.890	4.321	1.855

Çizelge 6.10 : Berlin için fan coil sistemi kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.

Sistem	Toplam Isı İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Toplam Elektrik İhtiyacı [kWh _{elk} /yıl]	Bina Birincil Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Yıllık özgül Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /m ² .yıl]
Fan coil	14.766	14.406	61.630	120,37

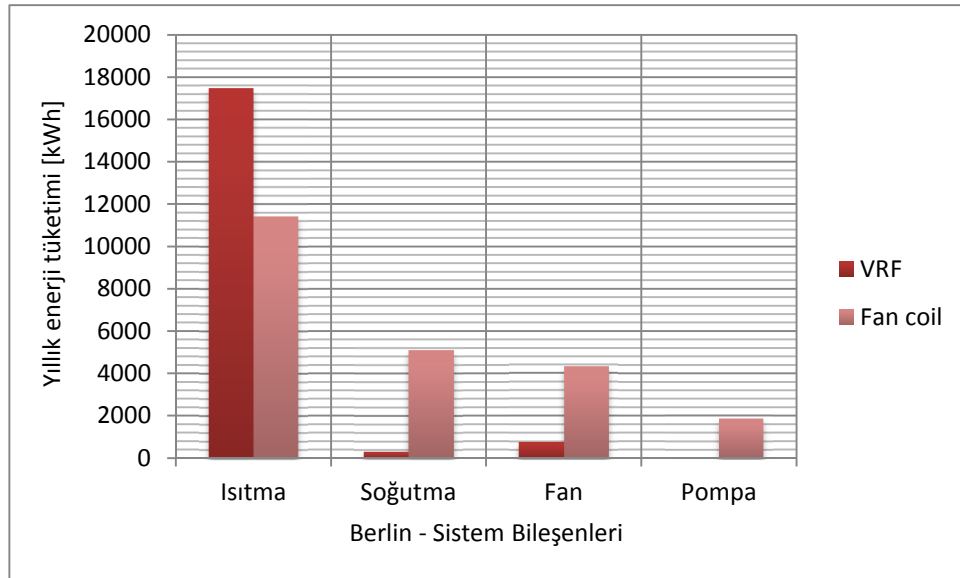
Sistemde yoğuşmalı kazan kullanıldığında ise sonuçlar Çizelge 6.11’deki gibidir.

Çizelge 6.11 : Berlin için fan coil sistemi ve yoğuşmalı kazan kullanıldığında binanın yıllık enerji ihtiyaçları.

Sistem	Toplam Isı İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Toplam Elektrik İhtiyacı [kWh _{elk} /yıl]	Bina Birincil Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /yıl]	Yıllık özgül Enerji İhtiyacı [kWh _{ısı} /m ² .yıl]
Fan coil	12.550	13.707	57.014	111,36

Berlin için İki sistem arasında yıllık birincil enerji tüketimi farkı 24,81 kWh/m².yıl’ dır.

Berlin için VRF ve fan coil sistemlerinin karşılaştırılması Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2 : Berlin şehri için VRF ve fan coil sistemlerinin karşılaştırılması.

Simülasyon sonuçlarına göre yıllık 111,36 kWh/m².yıl birincil enerji tüketimi olan Berlin’deki binanın 84,79 kWh/m².yıl’ı elektrik enerjisi kullanılarak sağlanmaktadır.

Bu enerji merkezi sistemdeki fan, pompa, soğutma kulesi için harcanırken bina içinde aydınlatma ve elektrikli cihazlar için harcanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 E_{elektrik} &= E_{soğutma} + E_{fan} + E_{pompa} + E_{aydınlatma} + E_{cihaz} = \\
 &= 5.192 + 4.321 + 1.855 + 1.127 + 1.212 = 13.707 \text{ kWh}_{elek} \quad (6.3) \\
 E_{elektrik} &= \frac{13.707}{512} = 26.77 \text{ kWh}_{elek} / m^2 \cdot yıl
 \end{aligned}$$

Bu durumda güneş enerjisinden elde edilen 46,14 kWh/m².yıl elektrik üretimi bu bölüm için harcanabilmektedir.

$$E_{birincil_elek} = (26,77 \times 3,167) - (46,14) = 38,65 \text{ kWh}_{elek} / m^2 \cdot yıl \quad (6.4)$$

Binadaki yıllık enerji tüketimin geri kalan kısmı 26,57 kWh/m².yıl'ı ise doğalgaz ile sağlanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 E_{doğalgaz} &= 11.435 + 1.116 = 12.551 \text{ kWh}_{ısı} \\
 E_{doğalgaz} &= \frac{12.551}{512} = 24,51 \text{ kWh}_{ısı} / m^2 \cdot yıl \quad (6.5)
 \end{aligned}$$

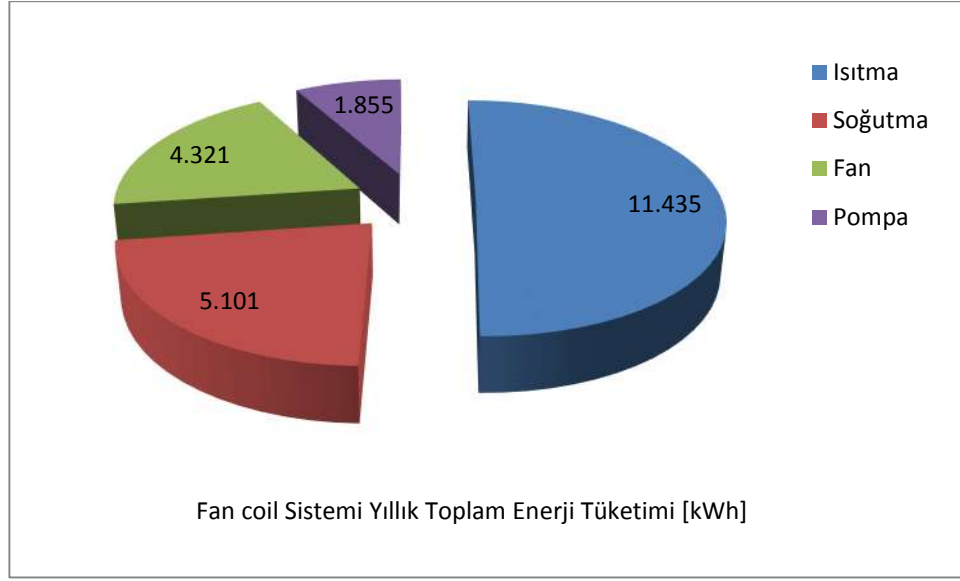
Toplam birincil enerji tüketimi ise;

$$E_{birincil} = 38,65 + (26,57 \times 1,084) = 65,22 \text{ kWh}_{ısı} / m^2 \cdot yıl \quad (6.6)$$

Binanın yıllık birincil enerji tüketimi güneş enerjisi kullanıldığında 65,22 kWh/m².yıl'a düşmektedir. Bu nedenle, alınan önlemlerin yetersiz olduğu görülmüş ve geriye dönük iyileştirmeler yapılarak dış duvar, çatı ve döşemedeki yalıtım kalınlıklarının değiştirilmesine karar verilmiştir.

Yapılan İyileştirme Sonucu:

Analiz sonucunda dış duvar, çatı ve döşemedeki kalınlıkların 25 cm yapılmasıyla beraber binanın yıllık birincil enerji tüketimi Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina için kabul edilen azami sınırın altına indirilmiştir. İyileştirmeler sonucu Berlin'deki binanın yıllık birincil enerji tüketimi 59,57 kWh/m².yıl'a düşürülmüştür. Elde edilen bu değer ile bina Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina olarak kabul edilmektedir. Bina'ya ait enerji tüketimleri Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3 : Berlin şehri için iyileştirme yapılmış fan coil sistemine ait yıllık birincil enerji tüketimi.

7. YENİLEBİLİR ENERJİ KULLANIMI

Net Sıfır Enerjili ya da Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tasarım hedefine erişebilmek için yenilenebilir enerji kaynakları kullanmak kaçınılmazdır. Bu nedenle çalışmanın bu kısmında her iki binanın da yararlanabileceği ve etkili bir yenilenebilir enerji kaynağı olan Güneş Enerjisi ele alınmaktadır.

Binalar için panel yerleşimi için en uygun yer çatı olarak belirlenmiş ve cephelere panel eklenmemesine karar verilmiştir. Bu nedenle, bu bölümde farklı iklim bölgelerinde bulunan Berlin ve İzmir şehirlerindeki binaların çatılarında optimum yerleşim tasarımı yapılarak, elde edilebilen maksimum enerji belirlenmektedir.

İklim verilerini kullanabilmek ve oluşan kayıpları hesaplayabilmek için günümüzde güneş panelleri yapan proje ofislerinin çok sık kullandığı bir yazılım olan PVsyst kullanılmıştır. PVsyst programı, PV sistemlerinin verilerinin analiz edilmesi, boyutlandırılması ve projelendirilmesini sağlayan ticari bir yazılımdır. Program, genellikle mühendis ve mimarlar tarafından kullanılan kendi sitesinden ücretsiz olarak indirilen bir programdır.

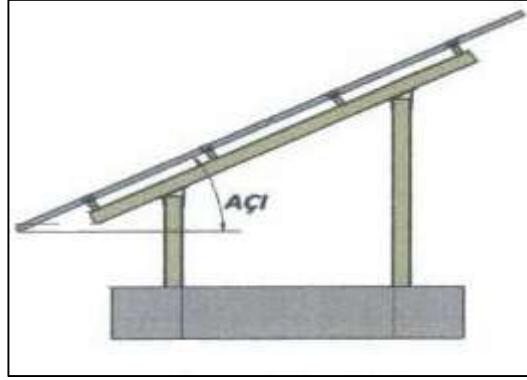
Program özellikleri arasında, maliyet analizi yapabilme, kütüphanesinde bulunan malzemelerden (modül, inverter vb.) seçme ve tasarım yapabilme, bütün bir yıl boyunca saat saat analiz yapabilme ve bu sayede optimizasyon seçeneğini sağlama, ölçülmüş değerleri programa girilebilmesi sağlama ve sentetik ışınlam hesabı yapabilme bulunmaktadır. PVsyst programı simülasyon sırasında kullanılan iklim ve güneş ışıma değerlerini Meteonorm'dan aldığı veri dosyaları ile sağlamaktadır.

7.1 Proje Tasarımı

Örnek binalardaki çatı alanı toplam 256 m²'dir. Her iki çatıda bina kullanım tipi konut olmasına rağmen, çatı tipi teras çatı seçilmiştir. Bunun sebebi, güneş panellerinin konumlandırılması ve zeminle yaptığı açının öneminden kaynaklanmaktadır. Panel yerleşiminde en önemli kıstaslardan biri, gelen güneş açısına göre, panelin zemin ile

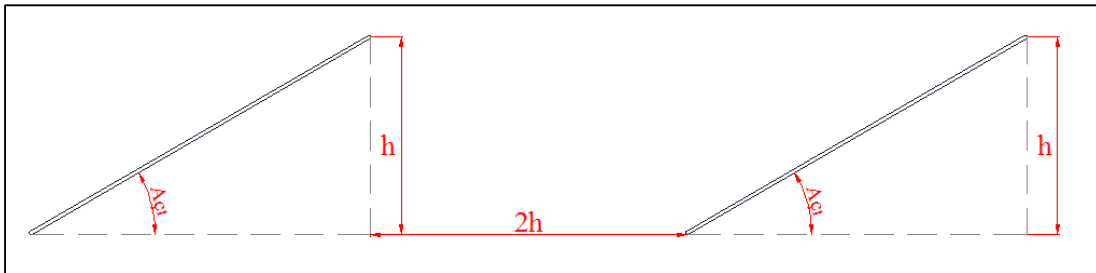
yaptığı açıdır. Örneğin, İzmir’de aynı bölgede bulunan iki bina için panel yerleşim açılarının farklı olması söz konusu olabilir.

Konut tipi binalarda kırma çatılarının açısı genelde 10° ’dir. İzmir için ise optimum açı değeri 33° ’dir. Bu iki durum karşılaştırdığında 1 kWp’lik kurulum yapıldığında panel açısı 10° iken üretim 1.492 kWh/yıl, panel açısı 33° olduğunda ise bu üretim 1.650 kWh/yıl olmaktadır. Berlin şehrinde ise, panel açısı 10° iken üretim 980 kWh/yıl, panel açısı 40° olduğunda 1.114 kWh/yıl olarak hesap edilmektedir. Şekil 7.1’de bahsedilen açı ve konumu gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : En verimli güneş paneli açısı.

Her yerleşim noktası için optimum açı değeri bulunmaktadır. Panel eğim açısı ile hem panelin bulunduğu iklim koşullarına uygun olarak yüksek ışıınım sağlayarak yüksek kapasite ile üretim yapmasına hem de panellerin birbirini gölgelememesini sağlamaktadır. Optimum açı değerleri Berlin için 40° , İzmir için ise 33° ’dir. Bu nedenle projede kırma çatı yerine teras çatı seçilmiştir. İstenen eğim açısı çatıya kurulması planlanan taşıyıcı konstrüksiyon sayesinde sağlanabilir. Çatıya yerleştirilebilecek maksimum panel sayısını bulmak ve panellerin birbirini gölgelememesi için teorik bilgilere dayalı olarak pratikte genelde uygulanan yerleşim Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2 : Örnek panel yerleşimi.

Bu durumda, seçilecek panelin boyutlarına göre, panellerin dikey ya da yatay yerleştirilmesi koşulları değerlendirilmelidir. Örnek binalarda kullanılmak üzere seçilen panel özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Fotovoltaik panel özellikleri

Panel Özellikleri	
Marka	SolarWorld
Model	Sunmodule Plus SW 265 mono
Maksimum güç	265 Wp*
Açık devre voltajı	39,0 V*
Maksimum güç voltajı	30,8 V*
Kısa devre akımı	9,31 A*
Maksimum güç amperi	8,69 A*
Çalışma sıcaklığı	-45°C'den +85°C'ye
Hücre tipi	Tek kristalli
Hücre boyutu	156x156
Hücre sayısı	60
Hücre verimi	15.81%
Ağırlık	21,2 kg
Panel boyutu	1675/1001/31
Bağlantı kutusu	IP65
Güç toleransı	0/+5 Wp
Yangın sınıfı	C
Cam tipi	Düşük demirli temperli cam

*Test koşulları: 1kW/m² ve 25°C

Seçilen inverter’e ait özellikler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 : İnverter özellikleri

İnverter Özellikleri	
Marka	SMA
Model	Sunny Tripower 17000TL-10
Toplam güç	17,0 kW AC
Çalışma voltajı	150-800 V
Maksimum güç amperi	%98,1/%97,7
Çalışma sıcaklığı	-20°C'den +60°C'ye
Ağırlık	65 kg
Çalışma voltajı	150-800
Hücre tipi	Tek kristalli
Boyutlar	665/690/265

İzmir ve Berlin şehirleri için optimum açi değerleri 40° ve 33° alındığında ve çatı alanının 256 m² olduğunu göz önüne alarak, Berlin ve İzmir için bina çatısına

yerleştirilebilecek maksimum panel sayısı ve yerleşim biçimi Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.3 : Berlin ve İzmir için sistem tasarımı değerleri.

	Berlin	İzmir
Optimum açı	40°	33°
2 Panel arası uzaklık yak.	320 cm	200 cm
Yerleşim biçimi	Dikey	Yatay
Maks. adet	80	75

Berlin ve İzmir için Meteonorm’dan elde edilen veri dosyalarının PVsyst’e aktarılması ve gerekli seçimlerin yapılmasından sonra elde edilen veriler Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5’te verilmiştir.

Çizelge 7.4 : Berlin için aylara ve yıllara gelen ışınlm, panel yüzey sıcaklığı ve üretilen enerji değerleri.

Berlin			
	Gelen ışınlm [kWh]	Panel yüzey sıcaklığı [°C]	Üretilen enerji* [MWh]
Ocak	19,2	0,08	0,750
Şubat	35,2	1,31	1,150
Mart	73,5	3,81	2,076
Nisan	111,9	8,9	2,562
Mayıs	154,3	13,86	3,040
Haziran	159,6	16,58	2,941
Temmuz	157,9	18,4	2,970
Ağustos	137,4	18,4	2,881
Eylül	90,3	14,31	2,260
Ekim	52,6	9,36	1,665
Kasım	21,8	4,12	0,773
Aralık	14,0	0,76	0,556
<i>Yıllık</i>	<i>1.027,7</i>	<i>9,20</i>	<i>23,624</i>

**Kayıplardan sonra şebekeye gönderilen toplam enerji miktarı.*

Çizelge 7.5 : İzmir için aylara ve yıllara gelen ışınlm, panel yüzey sıcaklığı ve üretilen enerji değerleri.

İzmir			
	Gelen ışınlm [kWh]	Panel yüzey sıcaklığı [°C]	Üretilen enerji* [MWh]
Ocak	63,9	7,01	1,916
Şubat	76,8	7,70	1,960
Mart	120,0	11,06	2,649
Nisan	154,3	15,34	2,939
Mayıs	204,4	21,53	3,446
Haziran	217,0	26,17	3,405
Temmuz	230,1	28,30	3,648
Ağustos	201,4	27,22	3,517
Eylül	150,2	22,21	3,128
Ekim	109,8	17,51	2,659
Kasım	68,1	12,89	1,882
Aralık	54,3	8,61	1,636
<i>Yıllık</i>	<i>1.650,1</i>	<i>17,19</i>	<i>32,785</i>

**Kayıplardan sonra şebekeye gönderilen toplam enerji miktarı*

Sistemdeki başlıca kayıplar arasında kablo çıkışı kayıpları ve inverter kayıpları bulunmaktadır. Kayıplar sonucunda elde edilen yıllık enerji üretim miktarı Berlin için 46,14 kWh/m².yıl, İzmir için ise 64,03 kWh/m².yıl'dır.

8. MALİYET ANALİZİ

Maliyet analizi bir malın veya hizmetin maliyetinin belirlenmesini, incelenmesini sağlayan bir analiz, hesaplama işlemidir. Maliyet çalışmasının yapılmasının temel amacı, geliştirilen ya da sunulan çözüm paketlerinin ve bunların yansıtıldığı amaç ve hedeflerin gerektirdiği maliyetlerin ortaya konulması ve tercih sürecinin rasyonelleştirilmesine katkıda bulunmaktır. Bu bölümde belirtildiği üzere, binalarda toplam maliyeti etkileyecek olan malzemelerin maliyetlerinin belirlenmesi işlemi yapılmaktadır. Maliyeti belirleyen ana başlıklar arasında yalıtım maliyeti, mekanik sistem maliyeti ve son olarak güneş enerjisi maliyeti söz konusudur. Çizelge 8.1’de her iki bina için toplam yalıtım maliyeti verilmiştir.

Çizelge 8.1 : Örnek binalar için yalıtım maliyeti.

Malzeme	Birim fiyat [TL/m ²]	Berlin [TL]	İzmir [TL]
EPS Yalıtım Levhası	15,5	46.030	15.790
Poliüretan Köpük	20,0	40.960	15.736
Toplam		86.990	31.150

Mekanik sistemlerin toplam yatırım maliyeti ise Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.3’te verilmiştir.

Çizelge 8.2 : Fan coil sistemi maliyeti.

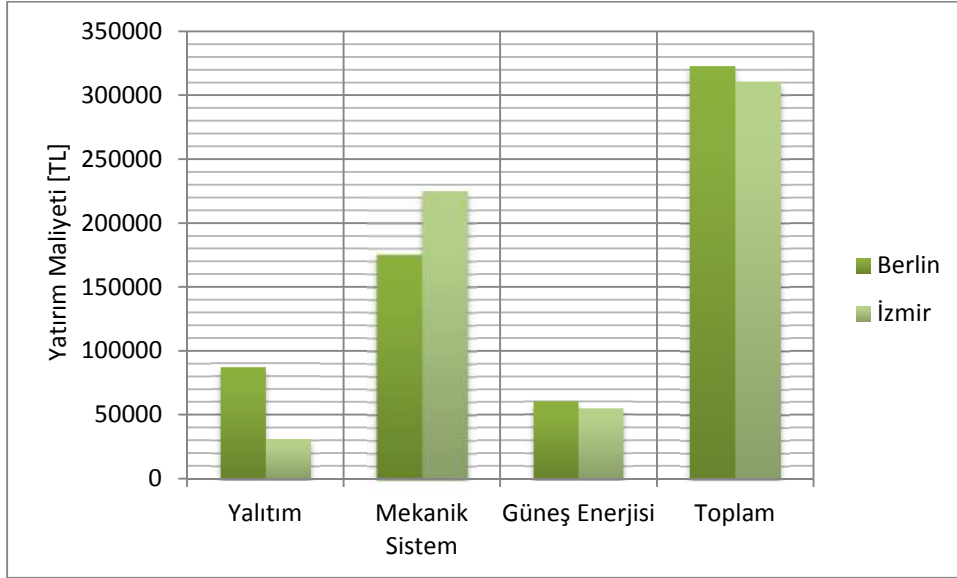
Malzeme	Fiyat[TL]
Kazan	22.000
Su Soğutma Grubu	95.000
Fan coil Cihazları	13.500
Havalandırma Tesisatı	32.500
Boru Tesisatı ve İzolasyon	12.500
Toplam	175.500

İzmir için VRF sisteminin maliyeti ise, bu alanda hizmet veren firmalarla yapılan görüşmeler sonucunda 150 \$/m² olarak fiyatlandırıldığı görülmektedir (Ucar, 2014). Bu durumda VRF sisteminin kurulum maliyeti yaklaşık olarak 225.300 TL dir. Güneş Enerjisi için ise toplam maliyeti ise Çizelge 8.3’te verilmiştir.

Çizelge 8.3 : Güneş enerjisi ilk yatırım maliyeti.

Malzeme	Birim fiyat [TL/adet]	Berlin		İzmir	
		Adet	[TL]	Adet	[TL]
Güneş Paneli	498	80	39.840	70	34.860
İnverter	10.550	1	10.550	1	10.550
İşçilik ve Montaj		-	10.070	-	9.080
Toplam			60.460		54.490

Elde edilen bilgilere göre İzmir'deki Net Sıfır Enerjili Bina için yaklaşık maliyet 322.950 TL olurken, Berlin'deki Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina için maliyet artmakta ve yaklaşık olarak 310.940 TL olmaktadır. Bu da göstermektedir ki, Net Sıfır Enerjili ya da Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tasarımı yaparken proje aşamasında binanın bulunduğu iklim koşulları ve maliyetler göz önüne alınarak iyileştirmeler yapılmalıdır. Her iki binanın maliyetini karşılaştırılması Şekil 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1 : Berlin ve İzmir için maliyet karşılatırılması.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyonda ele alınan farklı iklim bölgelerinde bulunan Berlin ve İzmir şehirlerindeki iki konut binası için birer çözüm paketi oluşturulmuştur. Bu çözüm paketinde öncelikli olarak pasif çözüm seçenekleri değerlendirilmiş ve her iki binadaki yıllık enerji tüketimi belirli bir oranda azaltılmıştır.

Bir sonraki adımda ise, binalar için en uygun mekanik sistemi seçmektir. Beklenildiği üzere Berlin şehrindeki binada ısıtma yükü, İzmir şehrindeki binada ise soğutma yükü daha yüksek çıkmıştır. Günümüzde çok sık kullanılan iki sistem, VRF ve fan coil, her iki bina için de EnergyPlus programı kullanılarak uygulanmıştır.

Analiz sonucu Berlin için VRF sistemi kullanıldığında binanın yıllık birincil enerji tüketimi 69.719 kWh/yıl ya da 136,17 kWh/m².yıl olurken, fan coil sistemi kullanıldığında ise enerji tüketimi yıllık 15.595 kWh düşerek 54.124 kWh/yıl ya da başka bir deyişle 105,71 kWh/m².yıl olmuştur. İki sistem arasındaki fark alan başına yaklaşık olarak 30,45 kWh/yıl'dır. Bu farkın oluşmasının sebebi, Berlin şehrindeki ısıtma yükünün fazla olması ve bu yükün VRF sistemi kullanıldığında elektrik enerjisi ile sağlanması, fan coil kullanıldığında ise doğal gaz ile karşılamasıdır. Fan coil sisteminde yoğunmalı kazan kullanılmış ve su çevrimi 50-40°C ayarlanarak alınan verim arttırılmış ve ısıtma için harcanan enerji normal kazan kullanılması durumuna göre daha da düşürülmüştür.

İzmir şehrinde ise soğutma yükü yüksek olması nedeniyle merkezi sistem kullanılması verimli olmamaktadır. Öyle ki, İzmir şehrinde fan coil sistemi su soğutmalı çiller ile kullanıldığında yıllık birincil enerji tüketimi 48.568 kWh/yıl ya da 94,86 kWh/m².yıl olurken, VRF sistemi kullanıldığında bu tüketim 32.425 kWh/yıl ya da 63,33 kWh/m².yıl'a inmiştir. İki sistem arasında yıllık 16.143 kWh olmasının sebebi, VRF sisteminin soğutma istenen bir mahalde diğer sistemlere oranla daha yüksek verimle çalışmasıdır. VRF sistemi yüksek verimli olmasının sebepleri arasında, inverterli kompresör kullanılıyor olması ve soğutucu akışkanın debisini ayarlaması sayesinde daha az enerjili ile istenen konfor koşullarını daha kısa bir sürede sağlamasıdır.

Sonuç olarak, Berlin ve İzmir şehirlerindeki yıllık birincil tüketim değerleri analiz sonucu sırasıyla 105,71 kWh/m².yıl ve 63,33 kWh/m².yıl olmaktadır. Her iki bina için yenilebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi seçilmiştir. Binaların bulunduğu iklim koşullarına uygun birer güneş enerjisi projesi tasarlanmış ve bina çatı alanında, 256 m², kurulum yapılmıştır. Güneş enerjisinden elde edilen sonuç Berlin şehri için tüm çatı alanının kullanılmasına rağmen 80 panel yerleşimi ile 46,14 kWh/m².yıl iken, İzmir şehri için çatıya 75 adet panel yerleştirilerek 64,03 kWh/m².yıl elde edilebilmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, Berlin şehrinin yıllık birincil enerji tüketimi 59,57 kWh/m².yıl, İzmir için ise 0 kWh/m².yıl olmaktadır. İzmir'deki enerji etken bina Net Sıfır Enerjili Bina olarak kabul edilebilirken, alınan önlemler sonucunda Berlin şehrindeki bina Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina olarak kabul edilebilir. Bunun yanı sıra maliyet açısından bakıldığında üç ana başlık kıyaslanmıştır; yalıtım, mekanik sistem ve güneş enerjisi. Berlin'deki binanın toplam ilk yatırım maliyeti 322.950 TL, İzmir'deki binanın toplam ilk yatırım maliyeti ise 310.940 TL olmaktadır.

Analiz sonucu elde edilen değerler literatürdeki ile karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuçlardır. Sonuçların bu şekilde uygun çıkmasının önemli sebeplerinden biri binaların bulunduğu iklim koşulları ve istenen konfor şartlarına uygun HVAC sistemleri seçilmesi ya da bir başka deyişle optimum aktif çözümler kullanılması sayesinde olmaktadır.

Ancak binalardaki iyileştirmeler daha da artırılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. İzmir'de bulunan konut binasında soğutma yükü daha fazla olacağından, binanın iç ve dış alanlara sahip olması ve iç alanların yıl boyunca soğutma ihtiyacı duyması nedeniyle bu bina için ısı geri kazanımlı VRV sisteminin kullanılması yıllık enerji tüketimi daha da düşürebilir. Bununla birlikte, Berlin şehrinde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak konut binasındaki enerji kullanımı daha alt mertebelere düşürülebilir. Gelişen teknoloji ile daha düşük maliyetle kullanılması planlanan yalıtım malzemeleri ve pencereler ise binadaki ısıtma ve soğutma yüklerinin düşürülmesi yardımcı olabilir.

Günümüz teknolojisi ile Sıfır Enerjili Bina tasarlanabilir ve inşa edilebilir ancak bu tip binaların maliyeti geleneksel binalara oranla çok daha fazladır. Gelişen teknolojiler ile bu maliyet farkı azalacağından ve yeni binaların Net Sıfır Enerjili Bina veya Yaklaşık

Sıfır Enerjili Bina olması yönetmelikleri ile zorunlu olacağından, dünyadaki Sıfır Enerjili Bina miktarı artacak ve fosil enerji kaynaklarının tüketimi ve sera gazı salınımı azalmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aktacir, M. A., Nacar, M. A., Yeşilata, B.** (2011). Binalarda enerji verimliliği amaçlı yazılımlar üzerine kısa bir değerlendirme, *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 13-26 Nisan.
- ASHRAE 90.1**, *Standard 90.1-2013 -- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, Atlanta.
- ASHRAE 189.1**, *Standard 189.1-2014, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings*, Atlanta.
- Barthelmes, V.M., Becchio, C., Bottero, M. C., Corgnati, S. P.** (2014). The Influence of Energy Targets and Economic Concerns in Design Strategies for a Residential Nearly-Zero Energy Building. *Buildings* **2014**, 4, 937-962; doi:10.3390/buildings4040937.
- Burberry, P.** (1979). *Building For Energy Conseration*. (Sf. 17). New York: Halsted Press.
- Crawley, D. B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J. ve diğ.** (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 33 (2001) 319-331.
- Develi, T.** (1999). *Kanal tipi split klima sistemleri ile VRV sistemlerinin karşılaştırılması ve optimum çalışma şartlarının belirlenmesi*, (yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eskin, N.** (2011). Konut dışı binaların yıllık enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi, *9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 06-09 Mayıs.
- Etem, A.** (2002). *Klasik (fancoil) ve değişken gaz debili (VRV) ısıtma soğutma sistemlerinin karşılaştırılması ve uygun sistemin belirlenmesi*, (yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Federation of European Heating and Air-Conditioning Associations (REHVA).** (2013). *Technical definition for nearly zero energy buildings*.
- Feldmann, C.** (2013). French building regulation sets 50 kWh/(m²a) a limit for primary energy use, *REHVA Journal*, AICVF (France).
- Gallo A., Molina B. T., Prodanovic M., Aguilar, J. G.** (2013). Analysis of net Zero-Energy Building in Spain. Integration of PV, solar domestic hot water and air-conditioning systems. *Energy Procedia*, 48 (2014) 828 – 836. doi:10.1016/j.egypro.2014.02.096.
- Hagemann, I.** (2005). Solar Design and Urban Planning in Architecture, *JSPS Symposium, 'Urban Planning, Sustainable Cities'* Tokyo, Japan, 1-10.

- Kapsalaki, M., Leal, V., Santamouris, M.** (2012). A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings*, 55(2012), 765–778. doi:10.1016/j.enbuild.2012.10.022.
- Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemelä, J., Tark, T.** (2011). Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*, 43(2011), 3279–3288. doi:10.1016/j.enbuild.2011.08.033.
- Kuznik, F., & Virgone, J.** (2009). Experimental assessment of a phase change material for wall building use. *Applied Energy*, 86(10), 2038–2046. doi:10.1016/j.apenergy.2009.01.004.
- Kürekçi, A., Bardakçı, A. T., Çubuk, H., Emanet, Ö.** (2012). Türkiye'nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 131, 5-21.
- Oliveria Panão, M. J.N., Rebelo, M. P., Camelo, S. M. L.,** (2013). How low should be the energy required by a nearly Zero-Energy Building? The load/generation energy balance of Mediterranean housing . *Energy and Buildings*, 61 (2013), 161–171. doi:10.1016/j.enbuild.2013.08.027.
- 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. doi:10.1016/j.apenergy.2010.10.025.
- PATH, Energystar, NREL, Building Technologies Program,** (2006). Building America Research is Leading the Way to Zero Energy Home. *Building America*, 4 (2006) DOE/GO- 102005-2064, Florida, USA.
- Thalfeldt M., Pikas E., Kurnitski J., Voll H.** (2013). Facade design principles for nearly zero energy buildings in a cold climate. *Energy and Buildings*, 67 (2013), 309–321. doi:10.1016/j.enbuild.2013.08.027.
- Siyahhan, Z.** (1999). *VRF klima sistemlerinin tanımlanması ve diğer sistemlerle karşılaştırılması*, (yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, C. K.** (2003). *VRV sistem klima cihazlarının split klima sistemi ve merkezi klima sistemi ile karşılaştırılması*, (yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- TS825.** (2009). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*
- Ucar, K.** (2014). Kişisel görüşme.
- Ünlü, G.** (2010). *Sürdürülebilir binalar için HVAC sistemleri seçimi, tasarım ve enerji analizi* (yüksek lisans tezi). Adres: <http://lib.gazi.edu.tr/>.
- Ünsal, B.** (2012). *Bir TOKİ konut örneğinde ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin farklı iklim bölgelerine bağlı olarak değerlendirilmesi* (yüksek lisans tezi). Adres: <http://search.fbe.itu.edu.tr/dk/doktez.asp>.
- Yılmaz, Z.** (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 91.

Yüceer, N. S., (2010). Gölge elemanı tasarımına bir yaklaşım ve Adana örneği. *METU Journal of Faculty of Architecture*, 27 (2), 1–13. doi:10.4305/METU.JFA.2010.2.1.

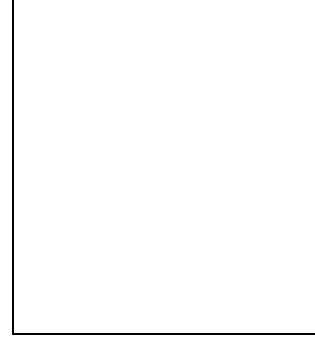
Url-1 <<http://www.ayteksogutma.com/>>, alındığı tarih: 04.08.2015.

Url-2 <<https://ec.europa.eu/jrc/>>, alındığı tarih: 04.08.2015.

Url-3 <<http://www.nuhcimento.com.tr/tr/>>, alındığı tarih: 07.07.2015.

Url-4 <<http://www.rockpanel.com.tr/>>, alındığı tarih: 10.07.2015.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Burcu SAĞLAM

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul–19.12.1986

E-Posta : saglam.burcu@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği.
- **Yüksek Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isı-Akışkan Programı