



Örnek Bir Binanın Isıl ve Çevresel Performansının Autodesk Revit Simülasyon Programı ile Analizi

Dilara Aytürk Tulukcu^{1*}, Murat Oral²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7279-2671), dilaraytrk@gmail.com

² Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4848-5417), moral@ktun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799365)

ATIF/REFERENCE: Aytürk Tulukcu, D. & Oral, M. (2021). Örnek Bir Binanın Isıl ve Çevresel Performansının Autodesk Revit Simülasyon Programı ile Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 197-206.

Öz

Enerji, ekonomik ve toplumsal gelişmenin birincil kaynağıdır ve teknolojik, demografik gelişmelere paralel olarak enerjiye olan talep artmaktadır. Bu nedenle geleceğin sağlıklı bir şekilde planlanabilmesi için var olan enerjinin korunumu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerine 'enerji etkin tasarım' kavramının projelere entegre edilmesi gerekmektedir. Çalışma, enerji etkin tasarıma ulaşma yollarını göstermesi açısından önemlidir. Çalışmada enerji etkin tasarım kavramı, Autodesk Revit programı yardımıyla Tip bir İlköğretim Okulu üzerinde detaylı olarak ele alınmıştır. **Amaç:** Amaç, gerek erken tasarım evresinde öngörülen kriterler çerçevesinde gerekse mevcut binalar üzerinde durum etüdü ile enerji tüketim verilerinin incelenerek, tespit edilen problemlerin iyileştirilmesine yönelik pasif sistemlerden en üst düzeyde fayda sağlamaktır. Böylelikle aktif sistemler üzerindeki yük azaltılarak enerji tüketimi en düşük seviyeye inecektir. **Method:** Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama; enerji tüketimi, enerji etkin yapı tasarımı, yapı bilgi modelleme, enerji simülasyonu kavramlarının literatür tarama yöntemi ile açıklanmasıdır. İkinci aşama ise; literatür taraması ile açıklanan kavramların bir ilköğretim yapısı üzerinden, Autodesk Revit Simülasyon Programı kullanılarak uygulamalı bir şekilde anlatılmasıdır. Üçüncü aşama Türkiye'de görülen farklı iklim bölgelerini temsilen seçilen beş ilde gerçekleştirilen simülasyonların sonuçlarının kıyaslanmasıdır. **Bulgular:** Bu bölümde örnek olarak Konya ili özelinde detaylı bir şekilde açıklanan enerji simülasyonu çıktılarına dair bulgulardan bahsedilmiştir. Analiz sonuçları kapsamında; sıcaklık ve rüzgar verilerine göre pencerelerin güneye yönlendirilmesi olumlu, bir koridordan karşılıklı iki sınıfa geçiş olması nedeniyle diğer sınıf pencerelerinin kuzeye yönlendirilmek durumunda kalması olumsuz bulunmuştur. Yapı yüksekliği; yapının fonksiyonu ve yapının daha fazla ısı kaybına maruz kalmaması açısından olumludur. Aylık enerji kullanımının önemli bir kısmını HVAC (ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme) sistemleri oluşturduğu için en çok bu konu üzerinde durulmalıdır. Bunun için binanın kısa aksı hakim rüzgar yönüne verilerek havalandırma doğal yoldan artırılmalı; ısıtma ve soğutma yükü duvarlardan kaynaklandığından termal özellikleri daha yüksek bir duvar malzemesi ya da ısı yalıtım malzemesi kullanılmalıdır. Güneş ışınımını kazanabilmek için yüksek ısı yalıtımına sahip camlar seçilmek üzere pencere oranları artırılmalı aynı zamanda binanın uzun aksı doğu-batı eksenine çevrilmelidir. Ortalama nem oranları iklimin kuru olduğunu göstermektedir. Oluşturulan detaylardaki nem bariyerleri, maliyeti azaltmak adına düşük yoğunlukta tercih edilmelidir. Karbon emisyonunu azaltmak için arazinin ağaçlandırılmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliminin artırılması gerektiği saptanmıştır. **Sonuç:** Bu çalışma tip bir projenin, enerji verimi açısından; arazinin iklim tipine bağlı olarak bulunduğu konum, topografya, etrafındaki yapılaşma, bölgede kullanılan enerji araçları gibi etkenlerdeki değişimlerden dolayı kabul edilemez olduğunu göstermektedir. Ayrıca günümüz teknolojilerinden faydalanmak üzere yapılan tasarımların daha hızlı, ekonomik ve enerji korunumunda etkili olduğu yargısına ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkinlik, Revit, Yapı bilgi modellemesi.

* Sorumlu Yazar: Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7279-2671, dilaraytrk@gmail.com

Analysis of Thermal and Environmental Performance of a Sample Building with Autodesk Revit Simulation Program

Abstract

Energy is the primary source of economic and social development and the demand for energy increases in parallel with the development. Energy resources are running out day by day and the concept of de energy efficient design needs to be integrated into the projects in order to preserve the existing energy and to develop renewable energy resources in order to plan the future in a healthy way. The study is important in terms of showing the ways to reach energy efficient design.

Energy efficient design concept is discussed in detail with the help of Autodesk Revit program. **Aim:** This study is to provide maximum benefit from the passive systems for the improvement of the detected problems by examining the situation studies and the energy consumption data on the existing buildings in the framework of the criteria given in the early design phase. This will reduce the load on the active systems and reduce energy consumption to the lowest level. **Method:** The study consists of three phases. First stage; energy consumption, energy efficient structure design, and the definition of energy simulation are explained by literature review method. The second stage is; the concepts described in the literature survey are described over an elementary school structure using the Autodesk Revit Simulation Program. The third stage is the comparison of the results of the application study conducted in different climatic zones. **Results:** In this study, it was found favorable to direct the windows to the south according to temperature and wind data. Since the two classroom of a single corridor , the orientation of the other classes to the north is found to be negative. The elevation is in terms of the function of the structure and not to be exposed to further heat loss. Since a significant portion of the monthly energy use is made up of HVAC systems, the natural ventilation should be provided by directing the building's short axis to the prevailing wind. A higher wall material or thermal insulation material should be used as the heating and cooling load is welded from the walls. In order to gain solar radiation, the windows must be selected the windows with high thermal insulation and at the same time the long axis of the building must be turned to the east-west axis. Average humidity levels indicate that the climate is dry. The moisture barriers created should be preferred at low density to reduce cost. In order to reduce carbon emissions, it has been determined that the land should be reforested as well as increasing its orientation towards renewable energy sources. **Conclusion:** This study shows that a type of project is unacceptable in terms of energy efficiency, location due to climate type of the land, topography, formation around it, changes in factors such as energy tools used in the region. It has been reached to the conclusion that the designs made to benefit from today's technologies are faster, economical and energy conservation effective.

Keywords: Energy efficient, Revit, Building information modeling.

1. Giriş

Toplumların gelişip büyümesine paralel olarak doğal enerji kaynakları hızla tükenmekte, enerji tüketimi sonucu açığa çıkan atıklar ile doğal çevre tahrip edilmektedir. Küresel ısınma, çevre kirliliği, karbondioksit salınımı gibi sonuçlar; yüksek oranda yapım organizasyonları ile ilişkili olduğundan mimarlık biliminde de; ekoloji, sürdürülebilirlik, çevresel tasarım, akıllı yapı, enerji verimliliği, enerji korunumu, enerji etkin tasarım ve yeşil mimari gibi pek çok yeni kavramın ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Çalışma kapsamında ele alınan 'enerji etkin yapı tasarımı' kavramı, tasarım aşamalarında fiziksel çevre koşullarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması ve yaşam döngüsü boyunca binanın enerji verimliliği sağlaması olarak tanımlanabilir. Tasarımın uygulamaya entegre edilmesi sistematığı YBM (yapı bilgi modelleme) olarak adlandırılmaktadır. YBM sistemi, yapının görünür ve işlevsel niteliklerinin özümlediği sayısal bir prototipin oluşturulma ve doğru kararlarla yönetilme sürecidir. YBM sistemlerine göre hazırlanmış yazılımlar, yapıların performansını ölçen simülasyon ortamları sunmaktadır. Bu yazılımlar aracılığıyla enerji etkin tasarımlar hayata geçirilebilmektedir.

Enerji etkin tasarım kavramının yapıya entegre edilmesiyle, binaların üst seviyede performans gösteren pasif sistemlerden faydalanacak şekilde tasarlanmaları, böylelikle aktif sistemlerin enerji yükü hafifletilerek enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı hedeflenmektedir. Bu hedeflere yönelik; enerji tüketiminde büyük önem arz eden aynı zamanda bireylerin pek çok alışkanlıkları edindikleri mekanlar olduğundan ilköğretim okulları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Aynı zamanda bu mekanlar, topluma enerji verimliliği, enerji korunumu konusunda bilinç kazandırmak adına öğretilen teorik bilgilerin deneyimlenebildiği bir laboratuvar görevi üstlenecektir. Bu amaca yönelik, çalışma alanı olan ilköğretim okulunun analiz sonuçları önce yapının kendi içinde yorumlanmış daha sonra farklı iklim bölgelerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre, yapının iyileştirme stratejilerine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; enerji etkin yapı tasarımı, YBM, enerji simülasyonu tanımları literatür tarama yöntemi ile açıklanmıştır.

İkinci aşamada ise; literatür taraması ile açıklanan kavramların bir ilköğretim yapısı üzerinden, Autodesk Revit Simülasyon Programı kullanılarak uygulamalı bir şekilde anlatılmıştır. Autodesk Revit 3B (üç boyutlu) YBM yazılımı, üç boyutlu nesne tabanlı modeller kullanarak, analiz çıktıları ile birlikte, kullanıcılara tasarladıkları yapının çevreye etkisini tahmin etme imkanı sağlamaktadır.

Üçüncü aşamada, farklı iklim bölgelerinde uygulanan simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Çıkan sonuçların incelenmesi ile aynı yapının farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar açığa çıkardığı belirlenmiştir.

2.1. Literatür Taraması

2.1.1. Enerji Etkin Yapı Tasarımı

Binalardaki enerji tüketimi ve bunlara bağlı sera gazı emisyonları son yıllarda benzeri görülmemiş bir şekilde artmış, kentin karşılaştığı bu ortak sorun için inşaat uzmanları, çevre araştırmacıları ve şehir plancıları enerji verimliliğine ulaşmanın yollarını aramaya başlamıştır (Katal vd., 2019:20). Bununla birlikte, yeni teknolojiler oluşturma, enerji standartlarını güncelleme gibi farklı yöntemler ve mevcut binalar üzerindeki enerji yönetimi politikalarının değiştirilmesi gibi yollarla enerji verimliliği sağlanmaya çalışılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yapılan araştırmaya göre, binalarda % 40'a varan potansiyel enerji tasarrufu, erken tasarım aşamasında elde edilebilir (Li vd., 2019:25).

Enerji etkin yapı tasarımı, mimari tasarım aşamalarında fiziksel çevre koşullarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması olarak tanımlanabilir. Yapıya uygun aktif ve pasif sistemlerin oluşturularak ısıtma, soğutma, havalandırma, doğal aydınlatma gibi konularda yapı etkinliğini artırmaya ve enerjiyi verimli kullanmaya yönelik tasarım ölçütlerinin belirlenmesi ve bu kapsamda mimari tasarımların iyileştirilmesi ve geliştirilmesini gerektirir (Dikmen, 2011: 37).

Enerji etkin yapı tasarım süreci;

-Bütünleşik bir tasarım olması ve yapının her evresinde; tüm malzeme ve sistem seçimlerinde, kullanımı, bakımı, işletimi ve yönetiminde göz önünde bulundurulması;

-Yapının sahip olması gereken özellikler azaltılmadan enerji tüketiminin bireysel ve toplumsal fayda sağlayacak şekilde azaltılması;

-Yapının bulunduğu çevreye aidiyetinin sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji korunum önlemlerinin alınması; bakımından diğer tasarım süreçlerinden farklılaşmaktadır.

Enerji verimli tasarım sağlamak için pasif enerji stratejileri ve aktif enerji stratejileri olmak üzere iki ana strateji vardır. Pasif sistem tasarımında, enerji ihtiyaç duyulan alanlarda saklanır ve dolaştırılır. Pasif sistem tasarımı stratejilerine dayalı olarak tasarlanan bir binada, doğal aydınlatma, doğal havalandırma gibi etmenlerin doğru kanalize edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında aynı prensiplerle çalışan ancak karmaşık sistemlerle dolaylı enerji girdilerine ihtiyaç olan tasarımlar da, aktif sistem stratejileri olarak ayrılır (İvriz, 2009: 14). Deneysel çalışma kapsamında elde edeceğimiz sonuçlar arasında pasif ve aktif sistem stratejilerine yer verilmekle birlikte pasif sistem stratejileri öncelikli olmaktadır.

2.1.2. Yapı Bilgi Modellemesi ve Enerji Simülasyonları

Günümüzde, farklı sektörlerde pek çok disiplini besleyecek çeşitli teknolojiler bulunmaktadır. Bu sektörlerden birisi de bilgi teknolojileri kullanımının ivme kazandığı inşaat sektörüdür. Bu teknolojiler, üç boyutlu grafiklerden bilgisayar destekli uygulamalara, tasarım yönetiminden yapı işletmesine kadar farklı alanlarda kullanılmaktadır (Keleş, 2018: 5). Mimarlık alanında bu gelişmelerle birlikte performans tabanlı tasarım anlayışı gelişmiştir. Performansa dayalı bina tasarımı; hedef performans beyanlarına göre belirlenen tasarım problemiyle başlayan, tasarım üretme eylemini, kritik karar verme noktalarını ve değerlendirme yöntemlerini de içeren ve paydaşların geniş katılımıyla ilerleyen bir süreçtir (Sayın, 2014:180). Bu çalışmada

performansa dayalı bina tasarım anlayışını besleyen ve son yıllarda kullanılmaya başlanan yapı bilgi modelleme sistemi ile bir enerji analizi elde edilecek ve sonuçları detaylı olarak incelenecektir.

Yapı bilgi modelleme sistemi, yapının görünür ve işlevsel niteliklerinin özümlediği sayısal bir prototipin oluşturulması ve doğru kararlarla yönetilme sürecidir. Performans kriterlerinin form, malzeme ve teknik sistemler üzerindeki bağımlılıklarını değerlendirmek için, bina performans değerlendirmesinin tasarım sürecine sorunsuz bir şekilde entegre edilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımda, çok disiplinli bilgiyi depolamak için bilgi modelleri oluşturma yeteneği, performans hesaplamaları için gerekli parametrelere erişmek üzere kullanılmaktadır (Schlueter and Thesseling; 2008:10).

YBM tüm tanımlarından ayrı olarak, tüm yaşam döngüsü boyunca bilgi üretme, yönetme, aktarma ve görselleştirme yollarını geliştirerek AEC (Mimarlık, Mühendislik, Strüktür) endüstrilerindeki gelişmeleri ve değişimleri vaat eden yeni bir teknolojidir (Salah; 2014:13). YBM, ihtiyaç duyulan proje maliyetini ve süresini azaltabilir, verimliliği ve proje kalitesini artıran dokümantasyon, tasarım süreci ve proje ekibi işbirliğini geliştirir (Yanksari, 2020:12).

YBM bir yazılım değil, bilgi yönetim sistemidir ve bu sisteme göre hazırlanmış birçok yazılım-simülasyon bulunmaktadır. "Benzeşim" olarak da türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir (Harputlugil, 2014:144). Son 30 yılda birçok farklı bina simülasyon aracı geliştirilmiştir. Simülasyon araçlarının kullanımı, model gerçekçiliği, girdi parametreleri, stokastik süreçler, simülasyon programı kabiliyetleri ve tasarım varyasyonları gibi çok fazla konuya değinmesi gereken oldukça zor bir süreçtir. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan modelin farkında olmak ve proje için en uygun simülasyon aracını seçmek önemlidir (Sav,2018:37). Bu çalışmada enerji simülasyonu için Autodesk Revit programı kullanılacaktır.

Bina enerji simülasyon araçlarını birbirine göre doğrulamak için birçok doğrulama yöntemi mevcuttur (Bayram,2015:32). Çalışmanın güvenilirliği açısından bu doğrulamaları gerçekleştirmek önemlidir. Bu kapsamda çalışmada ortaya çıkan Revit enerji analiz sonuçları da IEA tarafından her yıl açıklanan sayısal verilerin aralığında değerlendirilmiştir.

2.1.3. Autodesk Revit Enerji Simülasyon Programı

Autodesk Revit yazılımı, üç boyutlu nesne tabanlı modeller kullanarak, daha kaliteli ve enerji verimliliği daha yüksek yapılar tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Binanın enerji tüketimi ve atık üretimini hesaplayarak, kullanıcıya her ikisini de azaltma imkanı sunar. Dijital prototip üzerinden tasarımların çevreye etkisi, yapı uygulanmadan önce belirlenebilmektedir.

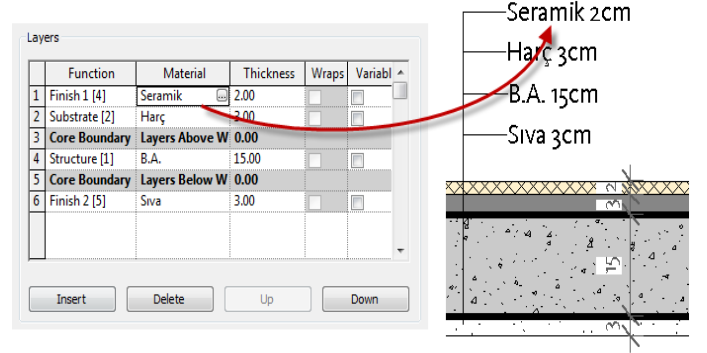
Programın üç temel özelliği vardır:

1-Yapıyı tarifleyen bilgilerin oluşturulduğu bir dijital veri tabanı ile çalışır.

2-Değişiklikler bu veri tabanında yapıldığı için, veri tabanından türetilen tüm belgelere aynı zamanda (kesitler, analizler, vs.) yansır.

3-Tasarım sürecinde elde edilen tüm bilgiler, daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Bu bilgi deposu tüm disiplinler tarafından kullanılabilir (Özcan, 2010: 17-18).

Revit'te analizlerin gerçeği yansıtması için, bina modelinin doğru oluşturulması gerekir. Akıllı nesnelerin parametreleri ve malzemeler programa ayrıntılı bir şekilde işlenmeli, programın yanlış, eksik sonuç vermesi engellenmelidir (Steneng, 2020:2) (Şekil 1).



Şekil 1. Yapı Elemanlarının Katmanlarının Oluşturulması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tip İlköğretim Okulu Enerji Analiz Çıktılarının İncelenmesi

Çalışma alanı olarak Konya ili Selçuklu ilçesinde bulunan tip 32 derslikli, kapalı alanı 4.500 m² olan bir ilköğretim okulu seçilmiştir (Şekil 2). Bu tip proje, ülkenin ihtiyaç olan her bölgesinde Milli Eğitim Bakanlığınca Valilikler tarafından uygulanmaktadır. Proje, bodrum kat dahil olmak üzere toplam dört kat ve çatı arasından oluşmaktadır. Bina araziye, geniş aksı kuzey-güney yönüne kısa aksı doğu-batı yönüne gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Proje revit programına aktarılırken enerji analizinin doğru şekillenebilmesi için mimari, statik ve mekanik projeleri incelenmiştir. Projede verilen detaylardaki yapı elemanlarının katmanları, programda termal ve fiziksel özellikleriyle beraber gerçek değerleriyle oluşturulmuştur. Modelleme tamamlandıktan sonra enerji analiz sonuçlarını elde edebilmek için simülasyon ayarları düzenlenmiştir. Konum olarak Konya, yapı türü olarak okullar, termal özellikler dahil olacak şekilde tüm bina parametreleriyle, günün 8 saati kullanılmak üzere ayarlar yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen çıktılar aşağıda incelenmiştir.



Şekil 2. Seçilen İlköğretim Okulunun Üç Boyutlu Modellemesi

1. Yapı Performans Faktörleri / Building Performance Factors

Bu grafik (Şekil 3) analiz edilen modelin enerji tüketimini etkileyen başlıca faktörleri özetler. Bunlar; konum, analizde ihtiyaç duyulan verilerin alındığı meteoroloji istasyonunun bilgisi, bina taban alanı, dış ortam temaslı duvar alanı, ortalama aydınlatma gücü, bina genelinde kapalı alan başına elektrik enerjisi veren Watt ortalaması, kullanıcı, pencere oranı (pencere alanının brüt duvar alanına oranı), kullanılan elektriğin kw/h fiyatı, kullanılan yakıtın metre-küp fiyatıdır.

Building Performance Factors	
Location:	Konya, Turkey
Weather Station:	1250896
Outdoor Temperature:	Max: 38°C/Min: -13°C
Floor Area:	4,746 m ²
Exterior Wall Area:	1,856 m ²
Average Lighting Power:	10.66 W / m ²
People:	1,019 people
Exterior Window Ratio:	0.28
Electrical Cost:	\$0.14 / kWh
Fuel Cost:	\$1.44 / Therm

Şekil 3. Yapı Performans Faktörleri

2. Enerji Kullanım Şiddeti / Energy Use Intensity

Enerji kullanım şiddeti (Şekil 4), kat planında metre-kare başına düşen enerji ihtiyacıdır. Bina tipi, iklim ve bina boyutuna göre farklılık gösterir. ABD çevre koruma ajansının her yıl düzenlediği bina tipine göre enerji kullanımı tablosundan kıyaslamalar yapılarak enerji kullanımının optimum şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilir.

Energy Use Intensity	
Electricity EUI:	164 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	1,138 MJ / sm / yr
Total EUI:	1,730 MJ / sm / yr

Şekil 4. Enerji Kullanım Şiddeti

3. Hayat Boyu Enerji Kullanım Maliyeti / Life Cycle Energy Use-Cost

Bu grafik (Şekil 5), binanın ömrü boyunca tahmini enerji kullanımı ve maliyetini özetler. Ortalama ömür 30 yıl olarak varsayılmaktadır.

Life Cycle Energy Use/Cost	
Life Cycle Electricity Use:	23,149,554 kWh
Life Cycle Fuel Use:	160,451,766 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$2,457,654
*30-year life and 6.1% discount rate for costs	

Şekil 5. Hayat Boyu Enerji Kullanım Maliyeti

4. Yenilenebilir Enerji Potansiyeli / Renewable Energy Potential

Bu grafikte, yapının çatısına entegre edilebilen fotovoltaik sistem çıktısı ve araziye yerleştirilebilen rüzgar gülünden elde edilebilecek enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Grafik (Şekil 6), fotovoltaik sisteminin güneş ışığını elektriğe dönüştürme yeteneğini yansıtan 3 farklı verim seviyesi sunmaktadır. Rüzgar

enerjisi potansiyeli ise, yatay eksen tasarımının 15 metrelik bir rüzgar türbininden üretilebilen yıllık elektrik miktarına dayanarak hesaplanmaktadır. Tahmin, hava verilerinin koordinatlarında bulunan kesme rüzgarlarını saatte 6 mil ve 45 mil (mil / saat) olarak kullanmaktadır.

Analizin sonuçlarına göre yıllık enerji tüketiminin 1,301 kw/h kısmı araziye yerleştirilen rüzgar gülleri ile yıllık enerji tüketiminin 218,079 kw/h kısmı ise çatıya kurulacak fotovoltaik sistem ile elde edilebilir. 1 kw/h enerji üretebilen bir güneş paneli maliyeti yaklaşık 2450 Euro olup yılda 420,5 Euro enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Bu durumda 1 kw/h enerji üretebilen güneş panelinin geri ödeme süresi 5,8 yıldır.

Renewable Energy Potential	
Roof Mounted PV System (Low efficiency):	72,693 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	145,386 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	218,079 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	1,301 kWh / yr

Şekil 6. Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

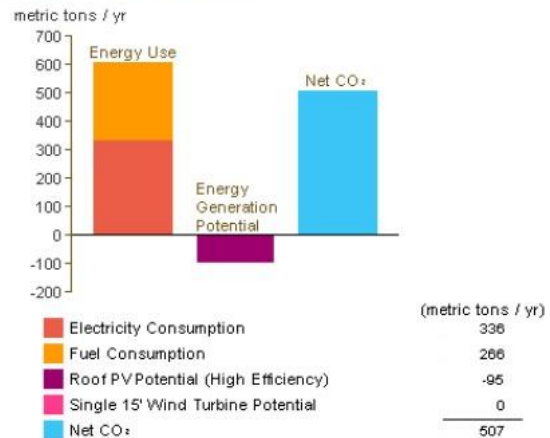
5. Yıllık Karbon Emisyonu / Annual Carbon Emissions

Bu grafik (Şekil 7), analiz edilen modelin enerji tüketimiyle ilişkili tahmini CO₂ (karbondioksit) salınımını özetler. Projelerin CO₂ emisyonlarını hesaplamak için Autodesk, CARMA (Carbon Monitoring for Action) verilerini kullanmaktadır.

CO₂ emisyonu karbon içerikli yakıtların (fosil yakıtlar: petrol, doğal gaz, kömür vb) yanması sonucu karbondioksitin oluşarak atmosfere karışmasıdır. CO₂ hava kalitesini olumsuz etkiler ve atmosferde yükselerek sera gazı etkisine yol açar. Sera gazı etkisi; yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının uzaya çıkmadan dünyaya geri dönmesiyle yerkürenin sıcaklığını artırmasıdır. Bu nedenle enerji etkin yapı üretiminde sıfır karbon emisyonu hedeflenmektedir.

Analizin sonuçlarına göre bina 1 yılda; elektrik tüketiminden kaynaklı 336 ton, yakıt tüketiminden kaynaklı 266 ton CO₂ açığa çıkarmaktadır. Çatıya fotovoltaik panel ankrāj edildiğinde de 95 ton CO₂ salınımı engellenmiş olmaktadır. Bu durumda bina 1 yılda toplamda 507 ton karbondioksit salınımı gerçekleştirmiş olur. Yetişkin normal bir ağaç bir saatte ortalama 2,3 kg karbondioksit emilimi yapar. Bu varsayımına göre projenin sıfır karbon stratejisini sağlayabilmesi için araziye en az 85 adet ağaç dikilmesi gerekmektedir.

Annual Carbon Emissions



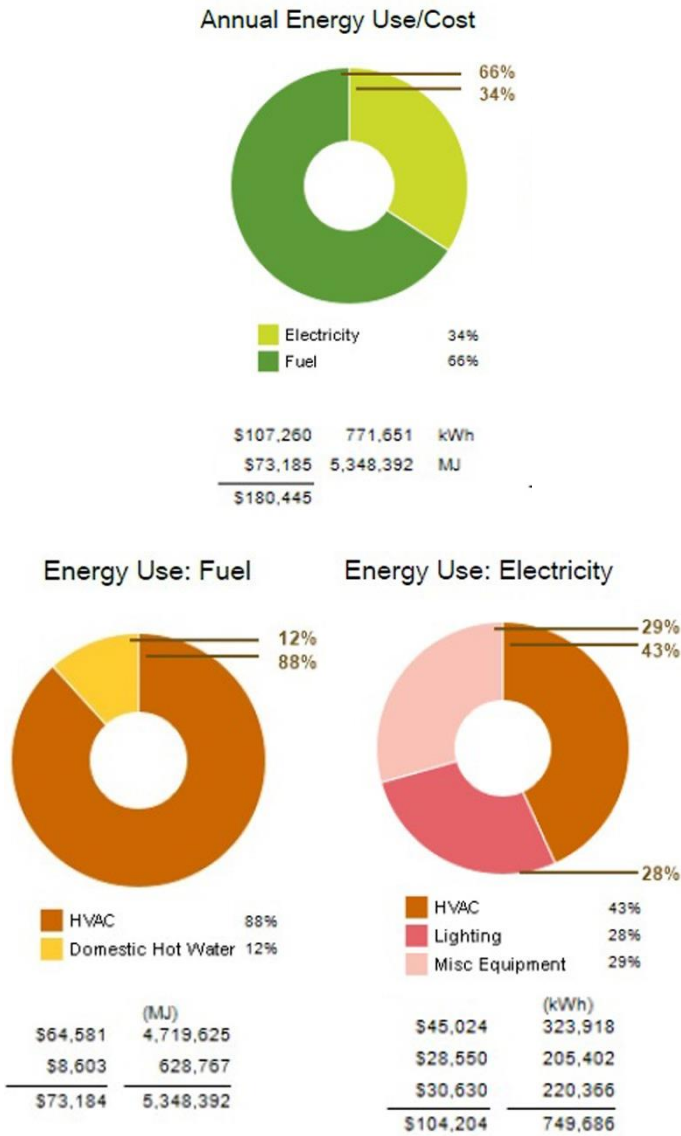
Şekil 7. Yıllık Karbon Emisyonu Diagramı

6. Yıllık Enerji Kullanımı /Annual Energy Use

Yıllık enerji maliyeti ve tüketim bilgileri, bina enerji maliyeti karşılaştırmalarını ve erken tasarım kararlarını etkileyebilmektedir. Maliyetler, ülke genelindeki ortalama hizmet oranları kullanılarak hesaplanmaktadır.

Analizin sonuçlarına göre (Şekil 8) yıllık enerji kullanımının %34'ü elektrik enerjisi tüketiminden, %66'sı doğalgaz enerjisi tüketiminden kaynaklanmaktadır. Doğalgaz tüketiminin ise %12'sini sıcak su kullanımı, %88'ini HVAC (ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme) sistem oluşturmaktadır. Bu verilere göre sıcak su kullanımı için harcanan enerji, güneş enerjisi ve alternatif sistemlerinin yapıya entegre edilmesiyle, HVAC sisteminden kaynaklı harcanan enerji de, yapının doğal havalandırması ile azaltılabilir.

Elektrik tüketiminin %43'ü HVAC sistemden, %28'i aydınlatma sistemlerinden, %29'u diğer kullanımlardan (donanım, bilgisayarlar, asansörler ve çeşitli cihazları içerir) kaynaklanmaktadır. Bu analiz sonrasında enerji tüketiminin büyük çoğunluğunun HVAC sistemlerden kaynaklandığı görülmektedir.

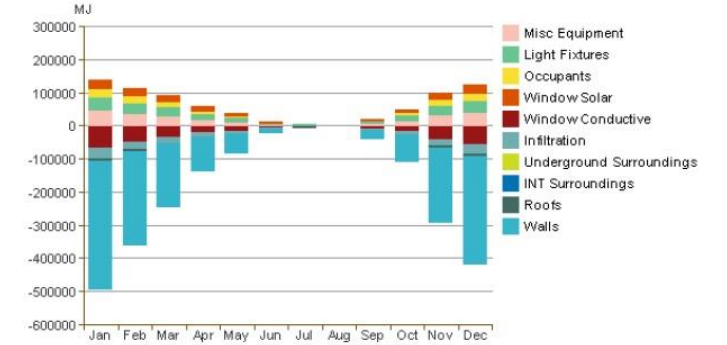


Şekil 8. Yıllık Enerji Kullanımı Diagramı

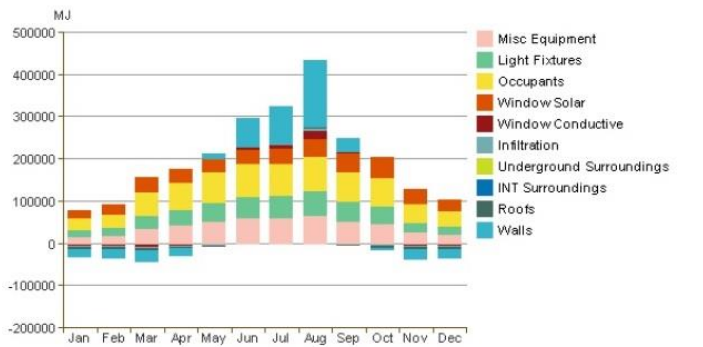
7. Aylık Isıtma-Soğutma Yükleri /Monthly Heating-Cooling Load

Grafikler (Şekil 9) analiz edilen modele ait kümülatif ısıtma yüklerini aylık olarak gösterir. Projedeki ısıtma- soğutma yükünü azaltmak için kritik bileşenlerin belirlenmesine yardımcı olur (Sow,2016:49).

Monthly Heating Load



Monthly Cooling Load



Şekil 9. Aylık Isıtma-Soğutma Yükleri Diagramı

Isısal yükler, kullanıcı konforu için ısısal dengeyi kurmak ve nemi ayarlamak üzere ısı enerjisi artıran veya azaltan yüklerdir. Dış ve iç ısısal yükler olarak ikiye ayrılırlar.

Dış ısısal yükler;

- Güneş, dış hava ortamı, nem gibi iklimsel girdilerin bina kabuğu yoluyla iç ortama ısı transferidir. Isı transferi çeşitli yollarla olabilir.
- Dış ısısal yükler için dış katman malzeme seçimi, cephe kombinasyonu ve kabuğun geçirimsizliği önemlidir.
- Enerji etkin pasif sistem tasarımı için ısının nereden kazanıldığı ve kaybedildiği önemlidir. Güneş kırıcı önlemlerle hava güneşli olduğunda ışınımları binadan uzaklaştırmak, hava soğuk olduğunda bu ışınımları binaya kazandırmak gereklidir.

İç ısısal yükler;

- Bina kullanıcıları,
- Aydınlatma,
- Ekipmanlardan(küçük ev aletleri, HVAC, ısıtma/soğutma sistemleri) kaynaklanan yüklerdir. Soğutma ihtiyacını artırır. Fiziki eylemlerin fazla olduğu, çok kullanıcı hacimlerde ortaya çıkan ısı yüksek olur. Bina tipi, kullanım amacı ve kullanım süreleri de iç ısısal yükleri etkiler.

Isıtma/soğutma yük çizelgeleri (Şekil 9) iç ve dış ısısal yüklerin nerelerden kaynaklandığını gösterirler. Ortaya çıkan rakamlar kıyaslama üzerine olup, gerçekte kullanılacak enerji

değildir. İç ısısal yükler, dış ısısal yüklerden fazlaysa soğutma yükü oluşturur. Dış ısısal yükler iç ısısal yüklerden fazlaysa ısıtma yükü oluşturur (Ofloğlu, 2015b: 6-8).

Örnek analizde kaybedilen ısı kazanılan ısıdan fazla olduğundan mekânsal konfor için binanın ısıtılması gerekir. Grafikte, Ocak ayındaki en büyük negatif değer, duvar iletimi sebebiyle oluşmaktadır. Duvarlardan geçen iletimden kaynaklanan ısı kaybı, Ocak ayındaki en büyük aylık tek ısı talebini temsil eder. Bu nedenle, ısıtma yükünü azaltmak için duvarlara odaklanmalı ve kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin geçirim değerleri artırılmalıdır. Bununla birlikte, muhtelif ekipmanlar da (fiş yükleri, bilgisayarlar, ofis ekipmanları vb. dahil) ısı talebini azaltır.

8. Yıllık Rüzgar Güllü /Annual Wind Roses

Rüzgar, basınç farklılıklarından oluşan, fiziksel etki bakımından kontrolü önemli bir iklim öğesidir. Yılmaz'a (2005;387-398) göre rüzgarın yapısal açıdan basınç, dinamik açıdan titreşim, çevresel açıdan sağlık, konfor açısından ise ısı geçişi, kirlilik ve gürültü, yağmur ve hava sızıntısı gibi etkileri bulunmaktadır. Bu nedenlerle rüzgar, tasarım aşamasında olumsuz etkilerinden korunmak, olumlu etkilerinden faydalanmak üzere dikkate alınmalıdır (Özüer, 2012:3).

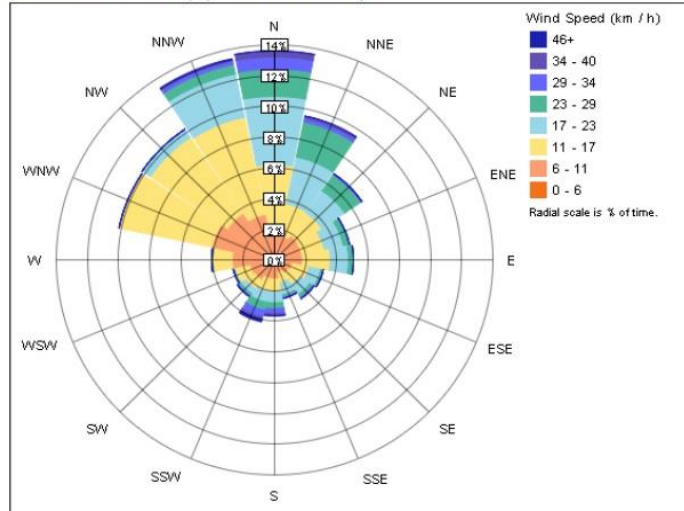
Revit programı aracılığıyla elde ettiğimiz rüzgar güllü ve rüzgar frekansı analizleriyle (Şekil 10,11) ;

- Arazi için hakim rüzgar yönünü öğrenebiliriz.
- Rüzgar şiddetinin ortalama ve en yüksek hız değerini Beaufort ölçeğinde anlayabiliriz.
- Arsa boşken bir simülasyon yaparak, varsa mevcut sorunları anlayabiliriz.
- Yeni tasarlanan binanın mevcut rüzgar etkisini iyileştirip iyileştirmediğini test edebiliriz.

Rüzgar güllü diyagramı rüzgarın belirli yönde ve hızda esme sıklığını gösterir. Turuncudan koyu maviye doğru giden renk değişimi rüzgar şiddetini göstermektedir. Sayısal veriler Beaufort skalası ile değerlendirilir.

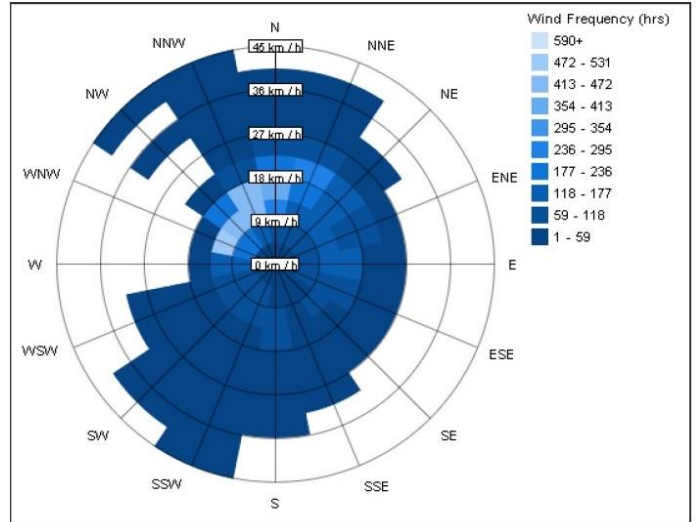
Çıkan analiz sonuçlarına göre; hakim rüzgar yönünde dar cephe oluşturularak soğutucu rüzgar etkisi azaltılabilir. Aylık rüzgar yön ve şiddetlerine göre seçilip kullanılan ağaçlar, soğuk havalarda olumsuz rüzgarların etkisini, sıcak havalarda gölgeleme yaparak soğutma yükünü azaltabilirler.

Annual Wind Rose (Speed Distribution)



Şekil 10. Yıllık Rüzgar Güllü Diyagramı (Hız)

Annual Wind Rose (Frequency Distribution)



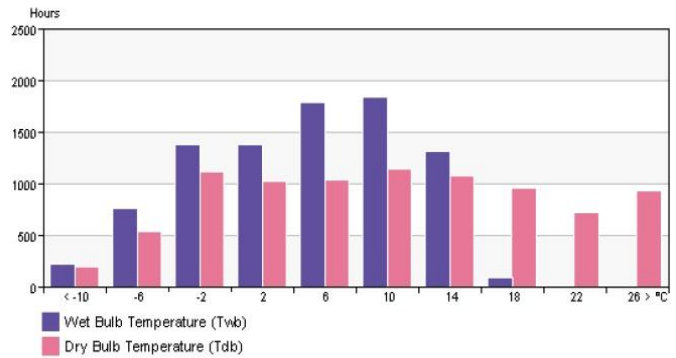
Şekil 11. Yıllık Rüzgar Güllü Diyagramı(Frekans)

9. Yıllık Sıcaklık Kutuları /Annual Temperature Bins

Kuru termometre sıcaklığı, havanın içindeki su buharı, radyasyon vb. etkiler dahil edilmeksizin ölçülen sıcaklığa denir. Genellikle termometrelerin gösterdiği sıcaklıktır (dry bulb temperature). Islak termometre sıcaklığı (wet bulb temperature), buharlaşan suyun soğumasıyla birlikte termometrede oluşan düşük sıcaklıktır. Her zaman kuru sıcaklıktan düşüktür. Havadaki nemi tespit etmek için yaş ve kuru termometre (Şekil 12), birlikte kullanılır. Nemli havada iki termometre arası sıcaklık farkı azdır, kuru havada fazladır (Ofloğlu, 2015a;3).

Bu grafik ile aynı zamanda projenin, doğal havalandırma, ekonomizörler veya buharlaşmalı soğutma sistemleri gibi farklı düşük enerjili soğutma stratejileri için fonksiyonel olup olmayacağı analiz edilebilir.

Annual Temperature Bins



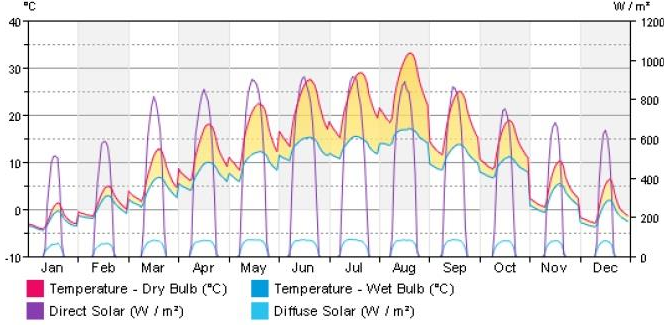
Şekil 12. Yıllık Sıcaklık Kutuları Diyagramı

10. Günlük Hava Koşulları Ortalaması /Diurnal Weather Averages

Bu grafik (şekil 13), sıcaklık ve güneş radyasyonu için yıllık ortalamaları izler. Soldaki y eksenidir sıcaklıktır ve sağdaki y eksenini alan başına saatte BTU (birim cihazın bir saatte ortamdaki taşıdığı ısı miktarını İngiliz Isı birimi) cinsinden güneş radyasyonunu gösterir. Veriler genelde kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, doğrudan güneş radyasyonu ve yaygın güneş radyasyonunu her ayın günlük ortalaması olarak içerir. Bu verilerden, kuru ve yaş termometre sıcaklıkları (bağlı

nem göstergesi), gece sıcaklıkları ve gündüz sıcaklıkları arasındaki fark (günlük salınım olarak bilinir) ve güneş radyasyon kalıpları arasındaki farkı okunabilir. Böylelikle güneş ışınım düzenini kavrayarak detaylı cam ve cephe tasarımı yapılabilir.

Diurnal Weather Averages

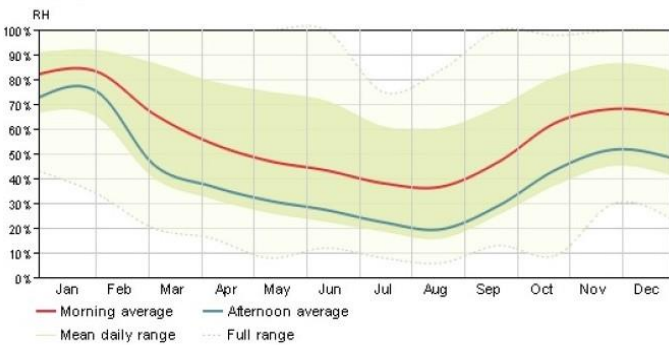


Şekil 13. Günlük Hava Koşulları Ortalaması Diagramı

11. Nem /Humidity

Grafik (Şekil 14), yıllık bağıl nem aralığını gösterir. Bağıl nem, hava ve su buharı gaz karışımı içinde bulunan su buharı miktarıdır. Grafik sabah ve akşamın ortalama nem oranını verir. Günlük rutubet aralığını gösteren koyu renkli bir bant ile geçmiş yıllara ait verileri göstermektedir. Noktalı çizgilerle sınırlandırılan daha geniş yarı şeffaf bant, tarihsel rekordaki maksimum ve minimum nemin tam aralığını göstermektedir. Kapalı ortamlarda % 35–55 arasındaki bağıl nem oranı normal kabul edilir. %45 civarındaki bağıl nem idealdir. %35'in altındaki ortamlar "kuru" dur ve istenmez. %55'in üzerindeki ortamlar ise "yaş" olarak kabul edilir (Akpınar, Akyazı ve Usta,2011:158). Bu bilgi ışığında grafikten elde edilen veriler değerlendirilip ortamın nem değeri okunabilir. Çıkan sonuçlara göre, dış duvarlar ve çatılardaki buhar ve su bariyerlerinin düzgün şekilde yerleştirilmesi ile kalıp ve izolasyon performansının düşmesi önlenir.

Humidity



Şekil 14. Nem Diagramı

3.2. Bulgular

Çalışma alanı olarak seçilen Sancak İlköğretim Okulu'na ait, Autodesk Revit simülasyon aracı ile elde edilen veriler 3.1. bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Çıkan sonuçlar yorumlandığında aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

ABD çevre koruma ajansının bina tipi için enerji kullanım ortalamalarına göre, binanın enerji kullanımı ortalama tüketim değerlerinin içinde fakat hedeflenen rakamların üzerinde bulunmaktadır.

Sıcaklık ve rüzgar verilerine göre pencerelerin güneşe yönlendirilmesi olumlu, bir koridordan karşılıklı iki sınıfa geçiş olduğu için diğer sınıf pencerelerininse kuzeye yönlendirilmek durumunda kalması olumsuzdur. Dolayısı ile mekan organizasyon şemasının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Aylık enerji kullanımının önemli bir kısmını HVAC sistemler oluşturduğu için, binanın kısa aksı hakim rüzgar yönüne verilerek havalandırma doğal yoldan artırılmalı; ısıtma ve soğutma yükü duvarlardan kaynaklandığından termal özellikleri daha yüksek bir duvar malzemesi ya da ısı yalıtım malzemesi kullanılmalıdır.

Güneş ışınımını kazanabilmek için yüksek ısı yalıtımına sahip camlar seçilmek üzere pencere oranları artırılmalı aynı zamanda binanın uzun aksı doğu-batı eksenine çevrilmelidir. Isı kayıpları incelendiğinde pencerelerden kaynaklanan kayıplar düşük olduğu dolayısı ile seçilen cam özellikleri yeterli olmaktadır.

Ortalama nem oranları iklimin kuru olduğunu göstermektedir. Oluşturulan detaylardaki nem bariyerleri, maliyeti azaltmak adına düşük yoğunlukta tercih edilebilir.

Karbon emisyonunu azaltmak için arazinin ağaçlandırılmasının yanı sıra (bu çalışma yapılırken hakim rüzgar yönü ve güneş alması gereken cepheler baz alınmalı) yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artırılmalıdır.

4. Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması

Çalışmanın en önemli etabı yapının farklı iklim bölgelerinde sergilediği enerji etkinliğini açığa çıkarmaktır. Yere özgü yapım faaliyetleri değerlendirildiğinde ülkemizde bu farklılıkların göz ardı edilmiş mühim bir konu olduğu açıkça gözlemlenmektedir. Farklı iklim bölgelerinde uygulandığı bilinen ilköğretim okulu projesinin iklimsel konfor ve enerji korunumunun saptanmasında, önerinin beş farklı iklim tipindeki uygulaması için enerji simülasyon programı aracılığı ile analizleri oluşturulmuş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Türkiye iklim bölgeleri sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman-nemli, ılıman-kuru ve soğuk olmak üzere beş iklim bölgesi bağlamında ele alınmıştır. İklimsel veri değişkenleri bu beş farklı iklim bölgesi üzerine kurulmuştur. Herhangi bir iklim ögesi deney grubu kontrol grubu yöntemine dahil edilmemiş, iklim bölgesinden seçilen bir il kendi başına değişkeni oluşturmuştur. Beş farklı iklim bölgesinden, ılıman kuru iklim bölgesini temsilen Konya ili, ılıman nemli iklim bölgesini temsilen Samsun ili, sıcak nemli iklim bölgesini temsilen Denizli ili, sıcak kuru iklim bölgesini temsilen Urfa ili, soğuk iklim bölgesini temsilen Erzurum ili seçilmiştir. Konya iline ait iklimsel veri değişkenleri enerji analiz tabloları ile yukarıda detaylı olarak incelenmiştir. Farklı iklim bölgelerine göre çıkan analiz sonuçları Şekil 4.1. de özet olarak verilmiştir.

Bu tabloya göre enerji kullanım şiddetinde, elektrik enerjisi kullanım şiddetinin en yüksek olduğu il Urfa, en düşük olduğu il Samsun'dur. Yakıt kullanım şiddetinin en fazla olduğu il Erzurum, en düşük olduğu il Urfa'dır.

Yenilenebilir enerji potansiyeli kıyaslamasına göre; fotovoltaik paneller ile enerji üretiminin en fazla olduğu il Konya, en düşük olduğu il Samsun'dur. Rüzgar enerjisi üretiminin en yüksek olduğu il Samsun, en düşük olduğu il Denizli'dir.

Yıllık karbon emisyonu kıyaslamasına göre; karbon salınımının en yüksek olduğu il Konya, en düşük olduğu il Samsun'dur.

Kıyas tablosuna göre iller dolayısıyla iklimsel veri değişkenleri arasında oluşan farklar yorumlanmıştır. Buna göre;

Her bir iklim bölgesindeki yapıda elektrik kullanım yoğunluğu; kullanıcı sayısı, binanın kullanıldığı saatler, binanın yaz aylarındaki kullanımının düşük olması gibi sebeplerden dolayı, aradaki fark göz ardı edilecek kadar küçük boyutlarda ve birbirine yakındır.

Yakıt kullanım yoğunluğunun en düşük Urfa ilinde, en yüksek Erzurum ilinde olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum ilinin ısıtma yük analizinde görüldüğü üzere ısıtma yüklerinin fazla olmasıdır. Her iki il için yapıda kullanılan yalıtım detaylarının aynı olması bu noktada en büyük problemi oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar türbünü, okul yapısının bulunduğu arazi koşulları itibari ile enerji üretmeye elverişli değildir. Dolayısı ile her bir bölgedeki rüzgar enerjisi üretimi dikkate alınmayacak kadar düşüktür. Bunun yanında çatıya montajlanan fotovoltaik paneller ile en düşük enerji üretimi Samsun ilinde, en yüksek enerji üretimi Konya ilinde gerçekleşmektedir. Fotovoltaik panellerin elektrik üretimini etkileyen iklimsel faktörler; güneşin geliş açısı, ışının yoğunluğu, en uygun verimlilik sıcaklığıdır. Uygun sıcaklık seviyesi aşıldığında her 1 derece sıcaklık artışı, elde edilen gücü %0,2-%0,5 arasında etkilemektedir (Anonim, 2010).

Güneşlenme süresi en düşük il olan Erzurum ilinin fotovoltaik paneller ile enerji üretiminin en az, güneşlenme süresi en yüksek il olan Urfa ilinin fotovoltaik paneller ile enerji üretiminin en fazla olmamasının sebepleri arasında bu faktörler yer almaktadır.

Yıllık karbon emisyon analizine göre en yüksek karbon salınımının Konya ilinde, en düşük karbon salınımının Samsun ilinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bu iki ilin enerji tüketim yoğunluklarına bakıldığında yakıt tüketimi daha fazla olan Konya ilinin karbon salınımının da daha fazla olduğu görülmektedir.

Kışın ısıtma yükünün fazla olduğu Erzurum ilinde HVAC sistemlerden kaynaklı yakıt enerjisi kullanımının da çok fazla olduğu, yazın soğutma yükünün fazla olduğu Urfa ilinde de elektrik enerjisi kullanımının fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Kıyaslama sonuçlarına göre; yapıya elverişli tasarım parametrelerini uygulamanın yapıları enerji etkin yapmada tasarımcının insiyatifindeki bir vasıta olduğu, bu vasıtanın etkili kullanımının getireceği fonksiyonelliğin kullanıcı için de bir kazanç olduğu düşünülmektedir. İklimsel veri değişkenlerinin yapının enerji performansı üzerindeki rolü, tasarım sürecinde ve sonrasında etkili kullanılmaları ile ekolojik ve duyarlı bir çevre oluşturmadaki önemlerini göstermektedir.

İklimsel girdilerin göz ardı edildiği ve çevreci hassasiyetlerden yoksun tasarımlarda, tasarım parametreleri için optimum aralıkların belirlenmemesi sonucunda, kıyaslama tablosunda görüldüğü gibi aynı yapı farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar açığa çıkarmaktadır. Kısa vadede sağlayacağı kazanımların fazla olduğu düşünülen tip yapı uygulamalarında uzun vadede büyük kayıplara sebep olmaktadır. İklimde duyarlı ve sürdürülebilir yapılar üretmek ise uzun vadede sağlayacağı kazanımlar açısından önemlidir.

ENERJİ ANALİZ SONUÇLARI								
	enerji kullanım şiddeti (kWh/m ² /y)		yenilenebilir enerji potansiyeli(kWh/y)		yıllık karbon emisyonu(metrik ton/y)	enerji kullanımı/yakıt(kWh)		enerji kullanımı/elektrik(kWh)
	ELEKTRİK	YAKIT	FP	RÜZGAR GÜLÜ		HVAC	DHW	
1 Denizli	166	296,19	68,38	0,59	366	1221,97	169,83	330
2 Erzurum	169	518	69,565	1,015	472	2238,89	732,13	346
3 Konya	164	304,56	72,693	1,301	507	1274,29	169,76	323,918
4 Samsun	155	231,66	61,716	1,54	206	926,56	161,26	280,01
5 Urfa	186	197,37	71,093	0,84	329	783,11	144,67	425,267

Şekil 4.1. Enerji analiz sonuçlarının karşılaştırması

5. Sonuç

Enerji, ekonomik ve toplumsal gelişmenin birincil kaynağıdır ve gelişmeye paralel olarak enerjiye olan talep

artmaktadır. Enerji kaynakları ise gün geçtikçe tükenmekte, geleceğin sağlıklı bir şekilde planlanabilmesi için var olan enerjinin korunumu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının

geliştirilmesi için 'enerji etkin tasarım' kavramı önem kazanmaktadır.

İlköğretim okulları aktif kullanıldıkları için enerji tüketiminde büyük bir orana sahiptirler. Dolayısı ile okul yapılarına enerji etkin tasarım parametreleri uygulandığında bu binaların üst seviyede performans gösteren pasif sistemlerden yararlanacak şekilde tasarlanmaları sağlanacak, böylelikle aktif sistemlerin enerji yükü hafifletilerek enerji kaynakları daha verimli kullanılmış olacaktır. Bununla birlikte öğrenci ve öğretmenlerin fiziksel, iklimsel ve görsel konfor şartlarının sağlanması ile performansları artacak, buldukları ortamdan memnun olmaları sağlanacaktır. Bu nedenle çalışma alanı olarak tip bir ilköğretim okulu seçilmiştir ve okulun analiz sonuçlarının okunmasıyla yapılan değerlendirme önem kazanmıştır. Çalışma yapı bilgi modelleme sistemi üzerine kurulmuştur. Yapı bilgi modelleme sistemi, yapının görünür ve işlevsel niteliklerinin özümlediği sayısal bir prototipin oluşturulma ve doğru kararlarla yönetilme sürecidir. Sistem kapsamında Autodesk Revit enerji simülasyon programı ile seçilen okulun enerji analizlerine ulaşılmıştır.

Çıkan sonuçların kıyaslamalar üzerinden incelenmesi ile aynı yapının farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar açığa çıkardığı belirlenmiştir. Çalışma en başta tip bir projenin, enerji verimi açısından; arazinin iklim tipine bağlı olarak bulunduğu konum, topografya, bitki örtüsü gibi iklimsel etkenlerdeki değişimlerden dolayı başarısız olduğunu göstermektedir. İlköğretim yapılarında tip proje uygulamaları ekonomik bakımdan ilk etapta uygun görülse de uygulamadaki öngörülme eksiklikler, yapıların mimari niteliklerden yoksun uygulanmasına ve projenin çevre koşullarına adaptasyonu esnasında ek maliyetler çıkmasına neden olmaktadır. Uzun yıllardır devam eden bu proje uygulamaları bulunduğu çevreye uyum sağlayamadığı için birçok sorunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda günümüz teknolojilerinden faydalanmak üzere yapılan tasarımların daha hızlı, ekonomik ve enerji korunumunda etkili olduğu kanılarına ulaşılmaktadır.

Kaynakça

- Akpınar, A.S., Akyazı, Ö., Usta, M.A., (2011). Kapalı ortam sıcaklık ve nem denetiminin farklı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmesi, *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* içinde (15-159 ss). Elazığ.
- Bayram, G.; (2015). *A proposal for a retrofitting model for educational buildings in terms of energy efficient lighting criteria.* (Doktora tezi) İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi, İzmir.
- Dikmen, Ç. B., (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14 (2):37.
- Harputlugil, G. U., (2014). Bina enerji performansı değerlendirme araçları: enerji simülasyonları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, s.144
- İvriz, F., (2009). *Performance based business model of energy efficient intelligent buildings.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.12.
- Katal, A., Mortezaadeh, M.,& Wang, L. (2019) Modeling Building Resilience Against Extreme Weather by Integrated CityFFD and CityBEM Simulations. *Applied Energy*, 250, 1402-1417. doi:10.1016/j.apenergy.2019.04.192

- Keleş, A. E., Kaya Keleş, M., (2018). İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018, 5(2); 610-617.
- Li, Z., Dai, J., Chen, H., & Lin, B. (2019). An ANN-based Fast Building Energy Consumption Prediction Method for Complex Architectural from at the Early Design Stage. *Build Simul*, 12, 665-681. doi: 10.1007/s12273-019-0538-0
- Ofluoğlu, S., (2015a). Performansa Dayalı Mimari Tasarım: İklim ve hava durumu [Powerpoint sunumu]. Erişim adresi <https://studylibr.com/doc/1774582/performansa-dayal%C4%B1-mimari-tasar%C4%B1m>
- Ofluoğlu, S., (2015b). Performansa Dayalı Mimari Tasarım: Isıtma, soğutma ihtiyaçları [Powerpoint sunumu]. Erişim adresi <https://studylibr.com/doc/1774582/performansa-dayal%C4%B1-mimari-tasar%C4%B1m>
- Özcan, H., (2010). *Yapı bilgi sistemleri ve mimarlıktaki yeri.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, ss.17-18
- Özüer, M. O., (2012). Binalarda enerji korunumunu sağlayan fiziksel çevre ölçütleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s.3
- Salah, F., (2014). *Investigation of strengths and weaknesses of 4D BIM software applications in managing construction projects.* (Yüksek lisans tezi).Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, s.13.
- Sav,S., (2018). The comparative performance assessment of dynamic shading devices for different climatic regions in Turkey.(Yüksek lisans tezi).İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.37
- Sayın, S., (2014). Performans Tabanlı Bina Tasarımı İçin Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Schlueter, A., Thesseling, F., (2008). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction, An International Research Journal*, s.10
- Sow,O.; (2016). *Adapting passive design strategies for sustainable urban development: A BIM model for Dakar.* (Yüksek lisans tezi).Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, s.49
- Steneng, C.,V., (2020). *Implementation of Revit add-in for analysis of heating plant P&ID,* Oslo Metropolitan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ve Enerji Teknolojisi Bölümü, Yüksek lisans tezi, s.2
- Yanksari, F., (2020). *Exploring building information modeling (BIM) and the design process in interior design pedagogy,* Minnesota Üniversitesi, (Doktora tezi), Minnesota, s.12
- Yılmaz, Z., (2005). Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir, ss. 387- 398