




# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Mevcut Bir Eğitim Yapısında Enerji Verimliliğini İyileştirmeye Yönelik Bir Analiz

 Özlem GÜLAÇMAZ<sup>a,\*</sup>,  Hüseyin BAŞDEMİR<sup>a</sup>  Erdem GÜLAÇMAZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kavak Meslek Yüksekokulu, Samsun Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozlemgulacmaz@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.945864

### ÖZ

Yapı sektörü, yapım ve kullanım aşamaları göz önüne alındığında ülkemizde ve dünyada enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Bu durum yapıların enerji etkin hale getirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Mevcut yapıların enerji etkin hale dönüştürülmesinde iki yöntem bulunmaktadır. İlk olarak mevcut yapının yıkılıp yeniden yapılması yöntemi, diğeri ise mevcut yapının uygun enerji etkin tasarım kriterleri doğrultusunda iyileştirilmesidir. Bu çalışmada mevcut bir yapının YBM (Yapı Bilgi Modelleme) ve BEM (Bina Enerji Modelleme) aracılığıyla ısıtma enerjisi analiz edilmiştir. Pasif ve aktif sistemler incelenmiş ve yapılarda uygulanabilirliğine değinilerek yenilenebilir enerji kullanımı değerlendirilmiştir. Pasif sistemler olarak yapının; pencerelerinde ve dış duvarlarında farklı U değerine sahip alternatiflerin simülasyon programları aracılığı ile ısıtma enerjisi üzerine etkisi irdelenmiştir. Aktif sistemler olarak da yapıya PV paneller eklenmiş, HVAC işletim sisteminde yüksek verimli sistemler tercih edilmiş ve simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı iyileştirme, Bina Enerji Modelleme (BEM), U değeri, Enerji etkin tasarım.

## An Analysis to Improve Energy Efficiency in an Existing Education Structure

### ABSTRACT

The building sector has an important share in energy consumption in our country and in the world, considering the construction and usage stages. This situation has led to the need to make the buildings energy efficient. There are two methods for transforming existing structures into energy efficient. First is the method of demolishing and rebuilding the existing building, and the other is the improvement of the existing building in line with the appropriate energy efficient design criteria. In this study, the heating energy of an existing building was analyzed by means of BIM (Building Information Modeling) and BEM (Building Energy Modeling). Passive and active systems have been examined and the use of renewable energy has been evaluated, with reference to their applicability in buildings. As passive systems, the building; the effect of alternatives having different U values on their windows and outer walls on the heating energy was investigated. PV panels were added to the structure as active systems, high efficiency systems were preferred in the HVAC operating system and the simulation results were examined.

**Keywords:** Building improvement, Building Energy Modeling (BEM), U value, Energy efficient design.

# I. GİRİŞ

Sağlık alanındaki gelişmeler ve gıda temini kolaylığı sayesinde insan nüfusu 20. yüzyılın sonlarına doğru artmıştır. Artan nüfusla birlikte şehirleşmeler hızlanmış; yüksek yapılarda, kalabalık ve modern şehirlerde yaşamak kişiler için statü haline gelmiştir. İlerleyen teknolojik gelişmeler ve bilinçsiz doğal kaynak kullanımı beraberinde çevre sorunlarını da getirmiştir. Günümüzde enerji tüketiminin yaklaşık %87'si fosil enerji kaynaklarından oluşmaktadır [1]. Yenilenemeyen enerji kaynakları bakımından ülkemiz dışa bağımlı bir ülkedir. Ülkemiz ihtiyaç duyduğu fosil yakıtların büyük kısmını ithalat yoluyla karşılamaktadır. Bu durum ülke ekonomimizi olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapı sektörü, ülkemizde kullanılan enerjide önemli bir paya sahiptir. İnsanların yapılarda daha fazla zaman geçirmesi ve konfor alanlarından ödün vermemesi, enerji tüketim miktarının giderek artacağını göstermektedir. Yapıların enerji tüketimi, tasarım ve yapım aşamasında göz önünde bulundurulması gereken temel ölçütlerden biridir. Yapıda bulunan mekânların ısıtılması, soğutulması, havalandırılması ve aydınlatılması ile harcanacak enerji miktarı, tasarım ve yapım aşamasında alınan kararların bir sonucudur.

Atmosfere salınan CO<sub>2</sub> gazının büyük kısmından yapılar sorumludur. Yapıların; inşa, kullanım ve yıkım aşamaları yapıya ait CO<sub>2</sub> ayak izini artırmaktadır. Binalar inşa edilirken enerji etkin tasarım kriterlerine göre yapılabileceği gibi mevcut binalar da aktif ve pasif sistemler kullanılarak enerji etkin yapılar haline dönüştürülebilir. Mevcut yapıların yenilenmesinde iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri mevcut yapının yıkılıp yeniden yapılması yöntemi, diğeri ise mevcut yapının uygun ölçütler doğrultusunda iyileştirilmesidir. Yapının tamamen yıkılıp yeniden yapılması, iyileştirme çalışmalarına göre hem daha maliyetli hem de atmosfere saldığı CO<sub>2</sub> miktarı fazladır. İyileştirme çalışması ile uygulanacak enerji etkin sistemler, yeni yapılacak bir yapıya göre kısıtlı olsa da aktif ve pasif enerji etkin tasarım seçenekleri mevcuttur.

Literatürde aktif ve pasif enerji etkin tasarım sistemleri ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların bir kısmında, henüz yapı tasarım aşamasında iken enerji etkin sistemlerin eklenmesi ile yapının tüketileceği enerji miktarı benzetim yoluyla belirlenmeye çalışılmıştır. Cillari vd. [2] sinerjik pasif güneş enerjisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışma, farklı koşullarda enerji tasarrufu açısından pasif güneş enerjisi stratejilerinin etkilerini ölçmeyi amaçladığı bütüncül bir yaklaşım izlemektedir. Elbi [3] ise çalışmasında; çok katlı bir toplu konut projesinde YBM (Yapı Bilgi Modellemesi) ile enerji benzetimlerinin etkisini incelemiştir. Akande [4] Nijerya'nın sıcak ve kuru iklim bölgesinde konut yapıları için pasif tasarım stratejileri üzerine çalışma yapmıştır. Mokrzecka [5] çalışmasında, bina şekli ve uyumu gibi ön tasarım kararlarının ısıtma talebi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bichiou vd. [6] çalışmalarında hem bina kabuğu özelliklerini hem de ısıtma ve iklimlendirme sistemi tasarım ve işletim ayarlarını en iyi şekilde seçmek için kapsamlı bir enerji benzetim ortamı geliştirmiş ve sunmuşlardır. Mirrahimi vd. [7] çalışmalarında, Malezya Tropikal ikliminde bina zarflarının enerji tüketimi ve çok katlı binaların ısı performansları üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Literatürde mevcut yapıların enerji etkin tasarım bağlamında iyileştirilmesini öngören çalışmalar da mevcuttur. Yu C-R. vd. [8] araştırmalarında Hong Kong'daki kiralık bir konut binasının yıllık enerji tüketimini EnergyPlus programı ile benzetim çalışması yaparak analiz etmişlerdir. Binaya benzetim programı üzerinden farklı pasif soğutma teknikleri uygulanmıştır. Yılmaz ve Oral [9] çalışmalarında, mevcut bir okul yapısı üzerinde maliyet ve enerji performansını iyileştirmek için bir yöntem önermişlerdir. Heracleous vd. [10] bir benzetim yazılımı aracılığıyla Kıbrıs'taki eğitim binalarında; doğal havalandırmanın mevcut ve gelecek iklim koşullarında ısı konforuna etkisini incelemişlerdir. Han vd. [11]'nin çalışmalarında, Çin'in Hongcun kırsalında bulunan geleneksel evlerde pasif tasarımlı ısı güçlendirme analizleri yapmışlardır. Yapılan çalışmada, kırsalda bulunan geleneksel konutlarda iç ortam hava kalitesini artırmak amaçlanmıştır. Kim vd. [12] mevcut bir konut yapısı üzerinde enerji analizi yapmışlardır. Araştırmada; yapının pencere büyüklüğü, konumu ve yönü değişken olarak alınarak çok sayıda alternatif benzetim çalışması yapılmıştır. Sorgato vd. [13] çalışmalarında, mevcut

bir yapıda farklı doğal havalandırma senaryolarını ve enerji kullanımını analiz etmişlerdir. Shivsharan vd. [14] çalışmalarında; yapıların enerji tüketiminin takip edilebilmesi ve enerji kullanımından tasarruf edilebilirliğinin değerlendirilmesi için YBM kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Tsalikis vd. [15] yaptıkları çalışmada, tipik konut binalarında Photovoltaic Panel (PV) ve termal enerji kaynaklı güneş kullanımına ilişkin güneş potansiyelini araştırmışlardır. Huang vd. [16] çalışmalarında, soğutmanın hâkim olduğu iklimlerde birçok popüler enerji verimli pencere tasarımının performansını değerlendirmek için bir dizi benzetim çalışması yapmışlardır. Alhuwayil vd. [17] çalışmalarında, Suudi Arabistan'ın sıcak-nemli ikliminde çok katlı bir otel binası için gölgeleme cihazları kullanımının enerji tasarrufu potansiyeli ve ekonomisine etkisini araştırmışlardır. Imessad vd. [18] çalışmalarında, özellikle yaz aylarında iç mekân termal konforunu iyileştirmek için enerji verimliliği önlemlerine uygun olarak tasarlanan ve inşa edilen bir bina prototipinin termal analizini yapmışlardır. Yıldız ve Arsan [19] çalışmalarında, sıcak-nemli iklimde apartman binalarındaki ısıtma ve soğutma enerji yüklerini etkileyen; toplam pencere alanı, ısı transfer katsayısı (U) ve camın uyumuna dayalı güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) gibi önemli gördükleri parametreleri incelemişlerdir. Liu vd. [20] çalışmalarında, Qinghai-Tibet Platosu'nun kırsal bölgelerindeki enerji yoksulluğunu hafifletmek için pasif güneş enerjisiyle ısıtma yenilemesinin etkinliğini araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında, tek katlı bir binanın yenileme çalışmasından önceki ve sonraki ısıtma dönemine ait kömür tüketimi ve iç hava kalitesi karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Koçyiğit [21] çalışmasında, okul yapılarının yeniden inşa edilmesi veya yenilenmesi ile enerji verimli hale getirilebileceğine ve okul yapılarının erken tasarım aşamasında iken bulunduğu iklimin koşullarına göre tasarlanmasının enerji verimliliği açısından gerekliliğine değinmiştir.

Türkiye'de mevcut yapılarda ısıtma enerjisi kullanımını modelleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma yapılırken ülkemizdeki mevcut yapı stoku göz önüne alınarak hâlihazırda kullanılan bir yüksekokul yapısı üzerinde enerji benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmanın amacı; bulunduğu iklimin koşullarından yararlanan binalar tasarlayarak tükenebilir kaynakların korunması ve yenilenebilir kaynak kullanımının özendirilmesi ile enerji korunumuna katkı sağlanmasıdır. Çalışmada, mevcut bina stokunun ısıtma enerjisi performansının iyileştirilerek ülkemizin enerji tasarrufuna katkı sağlanabileceği bir örnekle ortaya koyulmuştur. Yapılan çalışmanın bu alandaki eksikliğin giderilmesine katkıda bulunması ve yeni araştırmalara ışık tutması planlanmaktadır. Mevcut bir üniversite binasının ısıtma enerjisi performansının simülasyon programları aracılığıyla iyileştirilmesi için bir analiz yapılmıştır. Çalışma yapılırken YBM (Yapı Bilgi Modelleme) ve Bina Enerji Modellemesi (BEM) yazılımlarından yararlanılmıştır.

Bu çalışmada;

- Yapının pencerelerinde ve dış duvarlarında farklı ısı geçirme katsayı (U) değerine sahip alternatiflerin,
- Bina ısıtma sistemi alternatiflerinin,
- Yapıya eklenen PV panellerin ısıtma enerjisi üzerine etkisi irdelenmiştir.

Aktif ve pasif tasarım seçenekleri tek tek uygulanıp her birinin bağımsız etkisi görüldükten sonra bütünsel tasarım senaryosu oluşturulmuş ve ısıtma enerjisi talebi belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde aktif ve pasif enerji etkin bina tasarım parametrelerine değinilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde; incelenen yapının genel özellikleri, detayları ve Yapı Bilgi modelleme (YBM) sürecinden bahsedilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde incelenen yüksekokul yapısının YBM aracılığı ile mevcut ısıtma enerjisi analiz edilmiş, alternatif enerji etkin iyileştirme çalışmaları yapılmış ve çıkan sonuçlar değerlendirilerek bütünsel enerji etkin tasarım senaryosu oluşturulmuştur.

## **II. ENERJİ ETKİN YAPI TASARIM KRİTERLERİ**

Sürdürülebilirlik kavramı ilk olarak 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nca hazırlanan Brundtland Raporu'nda; "Bugünkü neslin gereksinmelerini, gelecek nesillerin kendi gereksinmelerini karşılama haklarını koruyarak sağlamak" şeklinde tanımlanmıştır [22]. Üretim tüketim dengesinde tüketimin hep daha ağır bastığı günümüzde doğal kaynakları korumak zorunluluk haline gelmiştir. Sürdürülebilir mimarlık; kaynak kullanımını minimuma indirmek, çevre ile uyum içinde olmak ve gelecek nesillere daha yaşanabilir dünya bırakmak için yapı sektörünün temel ihtiyaçlarındandır. Sürdürülebilir mimarlık, içinde bulunduğu zaman diliminde ve her koşulda; gelecek nesillerin haklarını gasp etmeden, yenilenebilir kaynak kullanımına öncelik veren ve kullandığı tüm kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanabilme faaliyetlerinin tümüdür [23]. Yapının yaşam döngüsü boyunca kullanacağı enerji miktarı, yapının tasarım ve inşaa aşamasında belirlenmektedir. Yapının kullanacağı enerji miktarını minimuma indirmek için; tasarım aşamasında YBM aracılığıyla enerji etkin sistemler dikkate alınarak tasarımlar yapılmalıdır. Enerji etkin sistemler; pasif ve aktif sistemler olarak adlandırılmaktadır.

### **A. PASİF TASARIM PARAMETRELERİ**

Pasif sistemler, bina iç mekanı için gerekli aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarının iklim koşullarından en yüksek düzeyde yararlanma sağlayarak karşılanmasıdır [24]. Bu doğrultuda erken tasarım aşamasında veya mevcut yapıların iyileştirilmesinde; binanın konumu, yönelimi, opak ve saydam malzemelerin özellikleri, doğal havalandırma gibi birçok faktöre dikkat edilmektedir. Pasif sistemlerin, yapılar daha tasarım aşamasında iken uygulanması en sağlıklı sonucu vermektedir. Fakat mevcut yapıların yenilenmesi işleminde de yapıya uygulanacak pasif sistemler mevcuttur. Pasif sistemlerde amaç, yapı için kullanılacak enerjinin yapının bulunduğu iklimden karşılanmasıdır. Yapıların bulunduğu konum ihtiyaç duydukları enerjinin belirlenmesinde temel etkidir. Böylece yapıların aktif ısıtma ve soğutma enerjisi kullanımlarından tasarruf edilebilmektedir [25].

Yapının konumlandığı yerin; eğim, yön ve bitki örtüsü gibi alt değişkenleri vardır. Yapıların yer seçimi belirlenirken; nem oranı yüksek yerlerde rüzgarın nem oranını düşürücü etkisinden faydalanmak için tepe ve yamaç bölgelere konumlandırılırken, nem oranı düşük yerlerde hava hareketlerinin minimum olduğu vadi tabanı ve yamaçların tabana yakın bölgeleri tercih edilmelidir [25]. Yapıların içinde yer aldığı yerleşim dokusu, yakın çevrede bulunan yapıların yükseklikleri ve birbirlerine göre konumları gibi değişkenler yapı çevresi mikro klimayı oluşturmaktadır. Yapı grupları arasında ve çevresinde güneş ve rüzgâr hareketleri gibi ölçütler dikkate alınarak tasarımlar yapılmalıdır. Bu ölçütler pasif sistemlerin temel ilkelerindedir. Yapılar, birbirlerinin rüzgâr ve gün ışığını kesmeyecek şekilde konumlandırılmalıdır.

Yapı kabuğu, binanın iç ve dış yüzeyini birbirinden ayıran yatay, düşey ve eğimli yüzeylerin bütünüdür. Yapılarda iç ve dış mekânın ayrılmasını sağlayan saydam ve opak yüzeylerin, hava sızdırmazlık düzeyi, ısı iletim katsayısı (U), pencere duvar oranları gibi özellikleri yapıların kullanacakları enerji miktarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Enerji etkin yapı tasarımında yapı kabuğunun binayı rüzgâra, sığağa, soğuga karşı koruması beklenmektedir. Yapı kabuğunun ısı geçirme miktarı, iç hava ısısının ve iklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde etkili olurken yapay ısıtma ve iklimlendirme için kullanılacak enerjinin miktarını da belirlemektedir [26]. Opak ve saydam yüzeylerin oluşturduğu yapı kabuğunda ısı geçirme katsayısı (U) azaldığında, yapı dış çevre iklim koşullarına daha dayanıklı hale gelmekte ve iç ortam ısı kaybı azalmaktadır. Pasif sistemli yapılar, yapı kabuğunda büyük oranda yalıtımlar yapılarak yapı kabuğunun uygun U değerinin sağlanması ile oluşturulabilir. Böylece iç iklimsel konfor şartlarını minimum enerji kullanımı ile sağlayacak yapı kabuğu elde edilir [27]. Soğuk iklim bölgelerinde yapıların kuzey cephelerinde pencere oranlarının fazla olması yapının ısıtma enerjisi ihtiyacını artıracaktır. Sıcak iklim bölgelerinde ise güney cephelerinde pencere oranlarının fazla olması soğutma enerjisi ihtiyacını artıracaktır. Saydam yüzeyler yapı iç mekânlarının gün ışığından yararlanması açısından önemlidir, iç mekân konfor koşullarına katkı sağlar. Bu nedenle yapılar uygun saydamlık oranı ile tasarlanmalıdır. Güneş kontrol sistemlerinin pasif bir seçenek olarak projelere uygulanmasındaki amaç; kışın güneş ışınlarının ısıtıcı etkisi kullanılarak yapının ısıtma yükünün

azaltılması, yazın ise güneş ışınlarının rahatsız edici etkisinden korunarak soğutma yükünün azaltılmasıdır. Soğuk iklim bölgelerinde yapıların ısıtma giderleri daha fazla olduğu için yapıların yönlenişi güneş ışınlarından maksimum fayda sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Sıcak iklim bölgelerinde ise soğutma yükleri daha fazla olacağından dolayı güneş ışınlarına karşı korunma sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Yapılar gün ışığını şeffaf yüzeyler aracılığı ile iç mekânlara alır böylece doğal aydınlatma sağlanmış olur. Yapıların gün ışığı alması pencereler ya da çatı ışıklıkları ile sağlanmaktadır. Isıtma veya soğutma da kullanılan enerjiyi azaltmak için yapının bazı cephelerinde pencere büyüklükleri artırılır veya azaltılabilir. Pencere büyüklüklerinde, güneş ışınlarından elde edilecek enerji ve doğal aydınlatma faktörleri için uygun oranlar belirlenmelidir. Bina kullanıcıları için iç mekân konfor koşullarından bir tanesi iç mekân hava kalitesidir. İç mekân hava kalitesinin sağlanması için yapılara ait hacimlere taze hava alınması ve içeride ki atık havanın bina dışına çıkarılması gerekmektedir. Binalarda doğal hava dolaşımı basınç veya sıcaklık farkından oluşur. Rüzgâr basıncından yararlanarak, bina içi mekânların doğal yollarla havalandırılması veya soğutulması amacı ile aynı düzlemde farklı yüzeylerdeki açıklıklarla çapraz havalandırma yapılabilir.

## **B. MİMARİDE AKTİF SİSTEMLER**

Aktif sistemler, yenilenebilir veya yenilenemeyen enerji kaynaklarından çeşitli donanımlar aracılığıyla ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi yapı için ihtiyaç duyulacak enerjinin üretilmesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan aktif sistemler; fotovoltaik paneller (güneş pilleri), güneş toplayıcıları (güneş kolektörleri), ısı pompaları, rüzgâr türbinleridir.

## **III. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu çalışmada Yapı Bilgi Modelleme (YBM) aracılığıyla mevcut bir yapının ısıtma enerjisi analiz edilmiştir. YBM için Autodesk Revit programından ve Insight 360 yazılımından yararlanılmıştır. Yapının genel özellikleri, dış çevre özellikleri, bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Mevcut yapının 3 boyutlu modeli yapılmış daha sonra web tabanlı yazılımlar aracılığı ile ısıtma enerjisi kullanımı analiz edilmiştir. Pasif sistemler olarak yapının; pencerelerinde ve dış duvarlarında farklı U değerine sahip alternatiflerin ısıtma enerjisi üzerine etkisi irdelenmiştir. Aktif sistemler olarak da bina ısıtma sistemi üzerinde değişiklikler yapılmış, PV paneller eklenmiş ve yapılan bu değişikliklerin ayrı ayrı ısıtma enerjisi kullanımına etkisi belirlenmiştir.

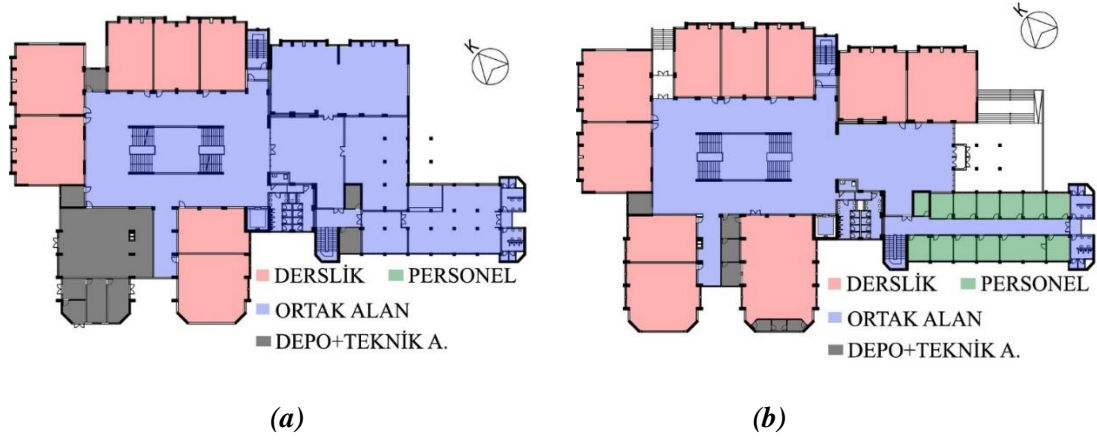
### **A. İNCELENEN YAPININ TANITIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ**

Isıtma enerjisi analizlerinin yapılması için eğitim yapısı olan mevcut bir yüksekokul yapısı seçilmiştir. Seçilen eğitim yapısı Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu eğitim yapısı olup, 2012 yılında yapımı tamamlanmış ve 2 katlıdır. Yapı kullanıcı sayısı; 25 personel, 1 094 öğrenci olmak üzere toplam 1 119'dur. Örnek olarak incelenen yapı, 2. derece gün bölge illerinden olan, ılıman nemli Samsun ikliminde bulunmaktadır. Yakın çevresinde güneş ışınlarının yapıya ulaşmasını engelleyen yapılaşma bulunmamaktadır. Yapı, çevresindeki hâkim rüzgâr etkilerine açık konumdadır (Şekil 1).



Şekil 1. İncelenen yapının yakın çevresi ile görünümü, Google Earth.

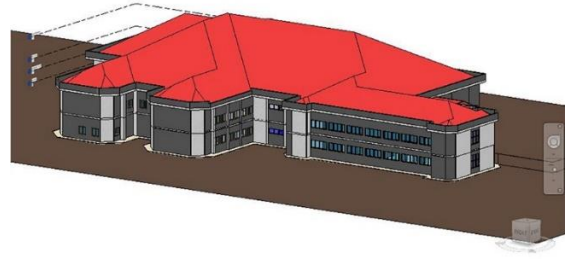
İncelenen yapı serbest planlı forma sahip ve derinliği fazladır. Derslikler, personel odaları ve yemekhane gibi birimler yapının cephelerinde konumlandırılmış gün ışığı alan mekanlar iken, dolaşım alanları ve öğrencilerin sosyalleşebileceği ara mekânlar yapının merkezinde gün ışığı alamayan mekanlardır (Şekil 2). Yapının 3 boyutlu modeli Şekil 3.b.'de, incelenen yapının kuzey yönü öğrenci girişi fotoğrafı şekil 3.a.'da verilmiştir.



Şekil 2. (a) Bodrum kat planı şematik gösterim, (b) Zemin kat planı şematik gösterim.



(a)

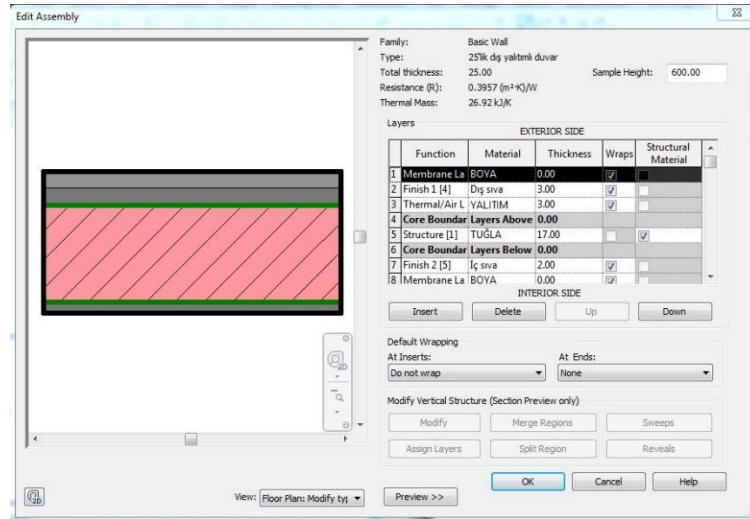


(b)

Şekil 3. (a) İncelenen yapı kuzey yönü öğrenci girişi ve (b) İncelenen yapının 3 boyutlu görünümü.

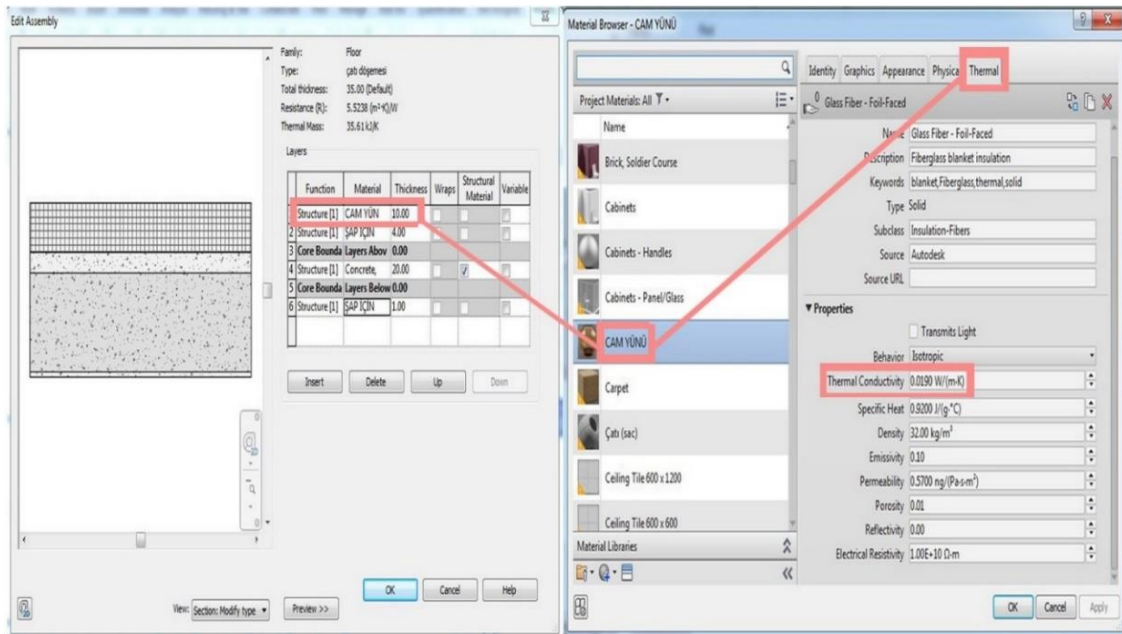
## B. YAPI BİLGİ MODELİ (YBM) OLUŞTURMA ve ENERJİ ANALİZİ AYARLARI

Yapı henüz tasarım aşamasında iken veya yenileme çalışmaları sırasında yapının, YBM programlarından yararlanılarak dijital ortamda modellenmesi ile yapıya ait birçok veriye küçük hata payları ile ulaşmak mümkündür. Yapıların enerji tüketimi, yapı tasarım ya da yenileme çalışmalarının erken aşamalarında YBM programları aracılığı hesaplanabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada mevcut bir eğitim yapısının ısıtma enerjisi tüketiminin belirlenmesi için YBM programlarından olan Autodesk Revit programı ve Insight 360 yazılımı kullanılmıştır. İncelenen yapının ilk olarak Autodesk Revit programında modelleme süreci gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte yapıya ait malzeme özellikleri akıllı nesnelere aracılığıyla ayrıntılı ve eksiksiz olarak programa işlenmiştir (Şekil 4). Bunun amacı enerji analizinde doğru veriye ulaşmaktır.



Şekil 4. Yapı dış duvar katmanları detaylı modelleme penceresi.

Her bir yapı bileşenine ait U değeri, yapı dijital ortamda inşa edilirken detaylı olarak modele işlenmelidir. Şekil 5'te görüldüğü gibi her yapı katmanının programda tanımlı U değeri mevcuttur.



Şekil 5. Revit'te yapının detaylı modelinin oluşturulması, yapı elemanı katmanları ve termal özelliklerin gösterimi.

Model oluşturulduktan sonra yapıya ait enerji tanımlamaları yapılmıştır. Revit'te Analyze sekmesi altında enerji ayarları bulunmaktadır. Bunlar;

- Yapının konumu,
- Yapı tipi, plan düzlemi,
- Yapının günlük kullanım aralığı,
- HVAC işletim sistemi,
- Enerji analizinde mekanların hacim ya da alan olarak tanımlanması,
- Modelde kullanılan yapı malzemelerin detaylandırılması,
- Yapı modeli oluştururken malzeme özelliklerinin enerji modeline aktarılıp aktarılmayacağı gibi enerji ayarları mevcuttur.

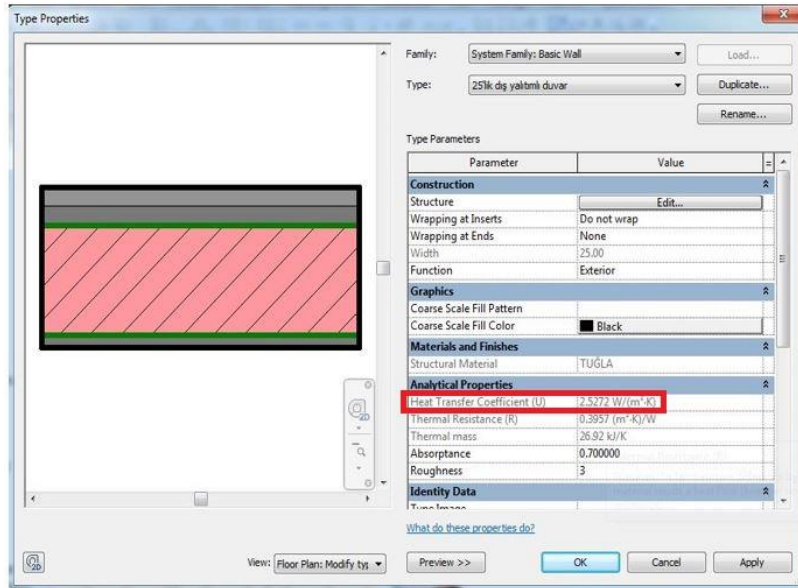
Autodesk Insight 360, web tabanlı yazılım olup Revit ile bütünleşmiş bir şekilde çalışmaktadır. Bir yapının Insight 360 yazılımı ile enerji simülasyonunun yapılabilmesi için Revit programında modelinin yapılmış olması ve enerji ayarlarının tanımlanması gerekmektedir.

Yapı modeli üzerinde tanımlanan değerler Autodesk Revit üzerinden çevrimiçi olarak Autodesk Insight'a yönlendirilir ve web sitesi üzerinden değerler elde edilir. Insight programında çeşitli ayarlamalar yapılarak alternatif enerji kullanım senaryoları oluşturulabilmektedir. Insight da duvar, pencere, çatı, HVAC işletim sistemi, yapı yönü gibi birçok parametre bulunmaktadır. Herhangi bir veya birden çok parametrede yapılan değişikliğin enerji kullanım miktarına etkisi anlık olarak görülmektedir.

### C. YAPI KABUĞUNUN OPTİK VE TERMO-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

TS 825'te yapılarda uygun yalıtımı sağlamak amacıyla, binanın bulunduğu derece gün bölgesine göre ana bina kabuğu elemanları için bir ısı geçirme katsayısı oluşturulmuştur. Isı geçirme katsayıları belirlenirken Türkiye dört bölgeye ayrılmış ve duvar, taban, tavan, pencere yapı elemanlarına ait ısı geçirgenlik katsayıları (U) her bölge için ayrı ayrı belirtilmiştir [28].

İncelenen yapı bileşenlerine ait ısı geçirgenlik katsayıları, Autodesk Revit programında yapı elemanlarına ait malzeme özelliklerinin tanımlanması ile elde edilmiştir (Şekil 6, Tablo 1).



Şekil 6. Revit programında düzenlenen dış duvar planı ve U değeri.



**Tablo 1.** İncelenen yapının opak ve saydam bileşenlerine ait termo-fiziksel özellikleri.

Yapı bileşenleri	Malzeme	Kalınlık	Isı Geçirme Katsayısı, U (W/m <sup>2</sup> K)	TS 825'de maksimum U değeri (W/m <sup>2</sup> K) [28]
Dış Duvar	Dış Cephe Boyası		2,52	0,60
	Dış Sıva	3 cm		
	XPS Yalıtım	3 cm		
	Tuğla Duvar	17 cm		
	İç Sıva	2 cm		
	İç Cephe Boyası			
Çatı Döşemesi	Cam Yünü	10 cm	0,18	0,40
	Şap	4 cm		
	Betonarme Döşeme	20 cm		
	Sıva	2 cm		
	Boya			
Taban	Seramik	1 cm	0,72	0,60
	Harç			
	Şap	3 cm		
	Betonarme Radye Temel	75 cm		
	Koruma Şapı	5 cm		
	Çift Kat Membran			
	Grobeton	10 cm		
	Blokaj	8 cm		
	Toprak Zemin			
Pencere	PVC Doğrama		2,74	2,40
	Cam	6 mm		
	Hava Boşluğu	13 mm		
	Cam	6 mm		

## **IV. BULGULAR**

İncelenen yapının ısıtılması için 2019 yılında yaklaşık 30 ton fuel-oil kullanılmıştır. Yıllık ısıtma süresi olarak 7 aylık süre (kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan, mayıs) temel alınmıştır.

$$Q = B * Hu * \eta$$

Q = Toplam yük (Yıllık Toplam Enerji, kWh)

B = Yakıt miktarı (kg)

Hu = Yakıtın alt ısı değeri (kWh/kg)

$\eta$  = Verim (%)

Fuel oil yakıtının alt ısı değeri 10,69 kWh/kg, yanma verimliliği %80'dir [29]. Değerler formülde yerine konulduğunda bir yılda tüketilen toplam ısıtma enerjisi 256 560 kWh'dir. Bulunan değer, yapının yıllık ısıtılma süresi olan yaklaşık 150 gün \* 12 saat ve ısıtılan toplam alan olan 4 589 m<sup>2</sup>'ye oranlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda mevcut yapının 2019 yılı için ısıtma enerjisi kullanımı 268 kWh/m<sup>2</sup>/y'dir. Yapının, Autodesk Revit programında YBM oluşturulduktan sonra Revit programının web tabanlı eklentilerinden olan Insight 360 yazılımında ısıtma enerjisi kullanımı incelenmiştir. İlk olarak yapıya ait veriler programa girilmiştir. Program verileri sonucunda yapının yıllık ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m<sup>2</sup>/y olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken priz ve aydınlatma yükleri hesaplamalara dâhil edilmemiştir. 2019 yılı ısıtma enerjisi kullanımı ve YBM ile oluşturulan modelin

yıllık ısıtma enerji kullanımını kıyaslandığında %1,49'luk yanılma payı ile ASHRAE yönetmelik 14 [30]'te tavsiye edilen %5 üst sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir.

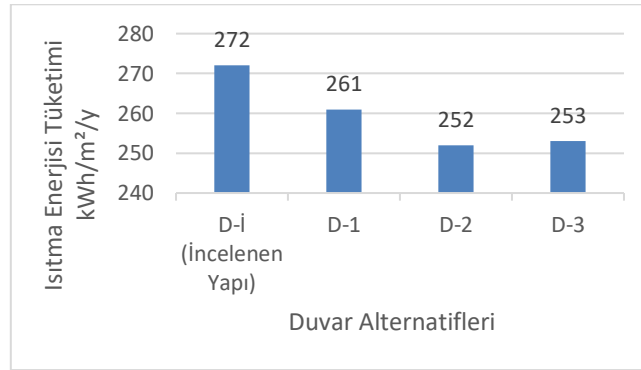
## A. YAPI DIŞ DUVARLARI İÇİN FARKLI U DEĞER ALTERNATİFLERİN ISITMA ENERJİSİ KULLANIMINA ETKİSİ

Duvarlar, bir yapıda yüzey alanı en çok olan ve dış iklim koşullarına açık yapı elemanlarıdır. Bu sebeple duvarların ısı iletim katsayısı(U), ısı kaybı veya kazancı açısından önem kazanmaktadır. Dış duvarların ısı iletim katsayısını düşürmenin en etkili yolu, yapıyı dıştan, kalın ısı yalıtım malzemesi ile kaplamaktır. Dıştan yapılan yalıtım ile binada oluşacak ısı köprüleri engellenmiş olur [31]. İncelenen yapı dış duvarlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisini araştırmak için dış duvarlar hariç diğer bütün bileşenler sabit tutulmuştur. Web tabanlı Insight 360 yazılımında mevcut duvar seçeneklerinin U değerleri ölçüt alınarak enerji kullanım miktarları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada duvar seçeneklerinin malzeme bileşenleri dikkate alınmamıştır (Tablo 2).

*Tablo 2. Dış duvar için farklı U değerine sahip alternatifler*

Alternatif İsimlendirme	Insight 360 İsimleri	Isı Geçirme Katsayısı, U değeri ( $W/m^2K$ )
D-İ (İncelenen yapı)	BIM (YBM)	2,5272
D-1	R 13 Wood	0,5056
D-2	R 38 Wood	0,1544
D-3	14-inch ICF	0,1968

Benzetim çalışmaları sonucunda; U değeri 2,5272  $W/m^2K$  olan mevcut yapının ısıtma enerjisi kullanımı 272  $kWh/m^2/y$ , U değeri 0,5056  $W/m^2K$  olan D-1 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 261  $kWh/m^2/y$ , U değeri 0,1544  $W/m^2K$  olan D-2 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 252  $kWh/m^2/y$ , U değeri 0,1968  $W/m^2K$  olan D-3 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 253  $kWh/m^2/y$  değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 7).



*Şekil 7. Dış duvar için farklı U değerine sahip alternatifler ve ısıtma enerji tüketimine etkisi.*

İncelenen yapı için farklı U değerine sahip alternatifler değerlendirildiğinde, U değeri arttıkça yapının ısı transferi arttığı için ısıtma enerjisi kullanım miktarının da arttığı görülmüştür.

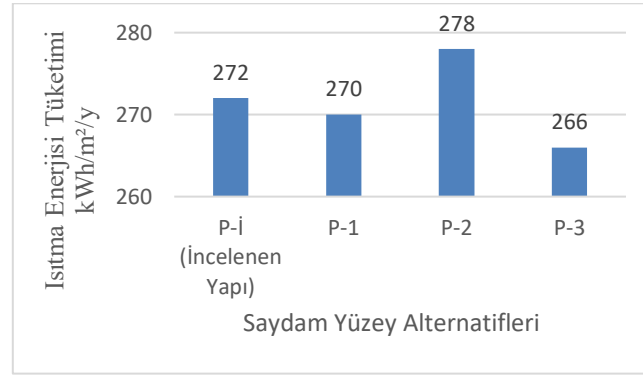
## B. SAYDAM YÜZEY ELEMANLARI İÇİN FARKLI U DEĞERE SAHİP ALTERNATİFLERİN ISITMA ENERJİSİ KULLANIMINA ETKİSİ

İncelenen yapıda, 6mm çift cam arası 13 mm hava boşluklu çift cam kullanılmıştır. Mevcut camın ısı geçirme katsayısı (U) 2,74  $W/m^2K$ 'dır. Yapı bileşenlerine ait U değeri ile ısıtma enerjisi kullanımı arasında bağlantı olduğu bilinmektedir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Saydam yüzey elemanları için alternatifler ve U değerleri.

Alternatif İsimlendirme	Insight 360 İsimleri	Malzeme Bileşenleri	Isı Geçirme Katsayısı, U ( $W/m^2K$ )
P-İ (İncelenen yapı)	Double Clear	6 mm cam+ 13mm hava boşluğu (h. b.) +6mm cam	2,74
P-1	Double Low E	3mm cam+13mm hava boşluğu+3mm cam	1,99
P-2	Single Clear	6mm cam	6,17
P-3	Triple Low E	3 mm cam + 6 mm h.b. + 3mm cam+ 6mm h. b + 3 mm cam	1,55

Benzetim çalışmaları sonucunda; U değeri 2,74  $W/m^2K$  olan mevcut yapının ısıtma enerjisi kullanımı 272  $kWh/m^2/y$ , U değeri 1,99  $W/m^2K$  olan P-1 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 270  $kWh/m^2/y$ , U değeri 6,17  $W/m^2K$  olan P-2 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 278  $kWh/m^2/y$ , U değeri 1,55  $W/m^2K$  olan P-3 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 266  $kWh/m^2/y$  değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 8).



**Şekil 8.** İncelenen yapının saydam yüzeyleri için farklı U değerli alternatifler ve enerji tüketimine etkisi.

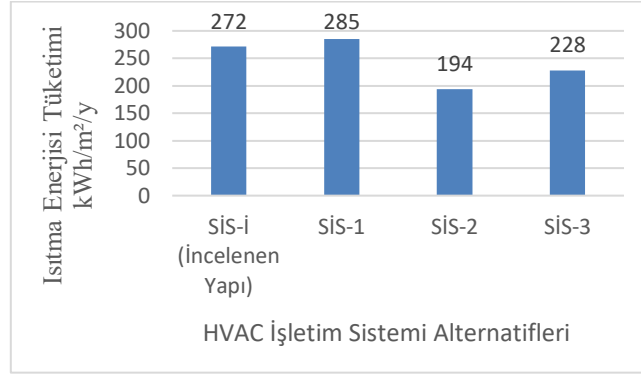
### C. YAPI ISITMA SİSTEM ALTERNATİFLERİ VE ENERJİ KULLANIMINA ETKİSİ

Enerji kullanım değeri belirlenen yapıda aktif sistemler üzerinde değişiklikler yapılarak enerji kullanım miktarını azaltmak hedeflenmiştir. HVAC işletim sistemi alternatifleri denenmiş, PV paneller eklenmiştir. İncelenen yapıya uygun HVAC sistemi olarak, %84,4 verimli kazan ısıtma sistemi kabul edilmiştir (Tablo 4).

**Tablo 4.** İncelenen yapıda HVAC işletim sistemi alternatifleri.

Alternatif İsimlendirme	Insight 360 İsimleri	Özellikleri
SİS-İ (İncelenen Yapı)	BIM	11.3 EER Packaged VAV, 84,4 Boiler Heating
SİS-1	ASHRAE VAV	VAV, ASHRAE 90,1-2010, COP 6.10 Chiller, Gas Boiler, 75F economizer
SİS-2	High Eff. Heat Pump	HP, 17,4 SEER, 9,6 HSPF, Electric Heat
SİS-3	High Eff. Package System	PTAC 12,7 EER, 90,4 % Gas Boiler

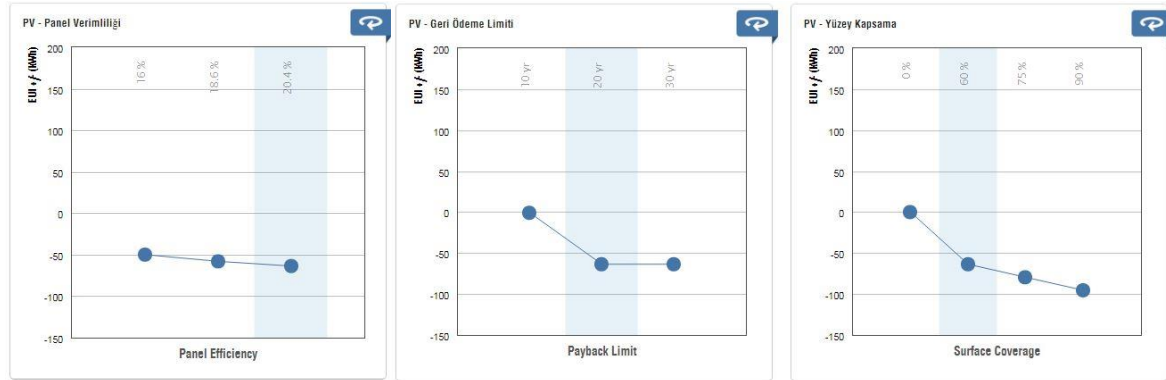
İncelenen yapının HVAC sistemi %84,4 verimli kazan ısıtma (SİS-İ) iken kullanılan yıllık ısıtma enerjisi miktarı 272 kWh/m<sup>2</sup>/y, ASHRAE 90,1 VAV (SİS-1) tipi işletim sistemi kullanıldığı zaman 285 kWh/m<sup>2</sup>/y, yüksek verimli ısı pompası (SİS-2) kullanıldığında 194 kWh/m<sup>2</sup>/y, %90,4 verimli gaz kazanlı sistem (SİS-3) kullanıldığında ise 228 kWh/m<sup>2</sup>/y olmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. İncelenen yapıda kullanılan HVAC işletim sistemi alternatifleri ve yıllık ısıtma enerji kullanım miktarına etkisi.

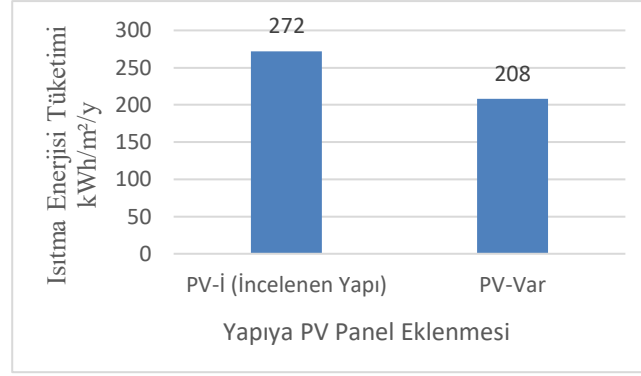
#### D. YAPIYA PV (FOTOVOLTAİK) PANEL EKLENMESİ VE ISITMA ENERJİSİ KULLANIMINA ETKİSİ

Fotovoltaik sistemler güneşten gelen ışınları alıp kendi hücrelerinde elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Fotovoltaik paneller; güneş enerjisini kullanıp elektrik enerjisi üretmesi, çevresel kirliliğe yol açmaması, gürültüsüz olması, uzun ömürlü olması, bakım giderlerinin az olması, gereksinim duyulan miktarda güç üretip uygulanabilir olması gibi avantajlara sahip sistemlerdir [32]. Insight 360 yazılımında PV panel simülasyonu ile ilgili üç farklı değişken vardır. Bunlar; panel verimliliği, geri ödeme süresi ve yüzey kaplama alanıdır (Şekil 10).



Şekil 10. Insight 360 PV panel simülasyonu değişkenleri.

Simülasyon sonuçlarına göre yapılara eklenen PV panellerde, panel verimliliği, yüzey kaplama alanı ve geri ödeme süresi arttıkça PV panellerden gelen enerji artmaktadır. İncelenen yapıya, panel verimliliği %20,4, yüzey kaplama alanı %60 ve geri ödeme süresi 20 yıl olarak tercih edilen PV panellerin eklendiği kabul edilmiştir. Yapıya PV panel eklendikten sonra ısıtma enerjisi kullanımını 272 kWh/m<sup>2</sup>/y'dan 208 kWh/m<sup>2</sup>/y'a düşmüştür (Şekil 11).



**Şekil 11.** İncelenen yapıya PV panel eklenmesi ve ısıtma enerjisi kullanımına etkisi.

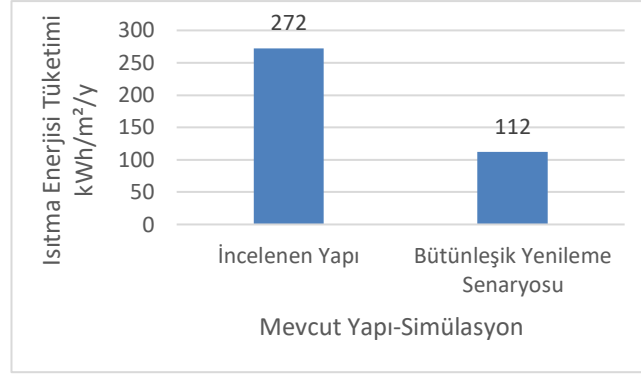
## E. İNCELENEN YAPI İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR YENİLEME SENARYOSU

Mevcut yapı ve alternatif benzetimlerin enerji kullanım miktarları göz önünde bulundurularak bütüncül bir benzetim hazırlanmıştır. İncelenen yapının mevcut pencere-duvar oranları korunmuştur. Yapının tüm pencerelerinde üçlü ısı camlı pencere olan P-3 seçeneği kullanılmıştır. Taban ve tavan bileşenleri sabit tutulmuş, duvarlar için ise farklı U değerli alternatiflerden U değeri 0,1544 W/m<sup>2</sup>K olan D-2 seçeneği tercih edilmiştir. HVAC sistemi, yüksek etkili ısı pompası (High Eff. Heat Pump) olan SİS-2 seçeneği kabul edilmiş ve yapıya PV panel eklenmiştir. Eklenen PV panelin verimliliği %20,4, sistem geri ödeme süresi 20 yıl ve panellerin yüzey alanı %60 olarak kabul edilmiştir (Tablo 5).

**Tablo 5.** İncelenen yapının; duvar, pencere, HVAC sistem alternatifleri ve yapıya PV panel eklenmesinin ısıtma enerjisi tüketimine etkisi.

Yapı Bileşenleri	Alternatif İsimlendirme	Isı Geçirme Katsayısı (U) (W/m <sup>2</sup> K)	Isıtma Enerjisi Tüketimine Etkisi (kWh/m <sup>2</sup> /y)
Duvar	D-İ (İncelenen yapı)	2,52	272
	D-1	0,50	261
	D-2	0,15	252
	D-3	0,19	253
Pencere	P-İ (İncelenen yapı)	2,74	272
	P-1	1,99	270
	P-2	6,17	278
	P-3	1,55	266
HVAC	SİS-İ (İncelenen yapı)	-	272
	SİS-1	-	285
	SİS-2	-	194
	SİS-3	-	228
PV panel	PV-İ (İncelenen yapı)	-	272
	PV-Var	-	208

Insight 360 yazılımı aracılığı ile yapılan hesaplamalar sonucunda yapının ısıtma enerjisi kullanımı 112 kWh/m<sup>2</sup>/y olarak bulunmuştur. Böylece yapı ısıtma enerjisi kullanımı %58 oranında azalmıştır (Şekil 12).



**Şekil 12.** İncelenen yapı ve bütünleşik yenileme senaryosu sonucu yapı ısıtma enerjisi kullanımı.

## **V. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bir yapının hem iç mekân konforundan ödün vermeden hem de çevreye vereceği zararı minimuma indirerek planlanması, yerel kaynakları dikkate alarak ve gerekli teknolojik gelişmelerden yararlanarak bütüncül bir tasarım anlayışı ile mümkün olabilmektedir. Yapının; konumu, yeri, yönü, kullanılan malzemelerin optik ve termo-fiziksel özellikleri, pasif ısıtma sistemleri, pasif soğutma sistemleri, pasif aydınlatma sistemleri, doğal havalandırma, doğal aydınlatma, güneş kontrol elemanları gibi değişkenlerin her birinin tek tek ve bütüncül olarak enerji tüketiminde etkili olduğu gözlenmiştir. Bütün değişkenlerin yapıya ait erken tasarım aşamasında sinerjik tasarım anlayışı ile yapıya dâhil edilmesi gerektiği ve böylece yapının kullanacağı enerjinin de minimuma ineceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada mevcut bir yüksekokul yapısı üzerinde, YBM programları yardımıyla ısıtma enerjisi kullanımına yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bina için Yapı Bilgi Modeli oluşturulurken, YBM programları ile bağlantılı web uzantılı enerji benzetim yazılımları kullanılmıştır. Simülasyonlarda, dış duvar U değeri, pencere U değeri ve HVAC sistemleri gibi değişkenler üzerinde iyileştirmeler yapılmış ve yapıya PV panel eklenmiştir. Analiz tamamlandığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dış duvarlar ve pencereler için benzetim sonuçları değerlendirildiğinde; yapı elemanlarına ait ısı geçirme katsayıları (U) düştüğünde yapının dış iklim koşullarına bağlılığı azalmaktadır.
- Yüksekokul yapısının bulunduğu 2. derece gün bölgesinde bulunan ılıman nemli Samsun iklimi için U değeri düşük yapı elemanlarının kullanılması, yapının ihtiyaç duyacağı ısıtma enerjisi miktarını azaltmaktadır.
- Yapı cephesi saydamlık oranlarına bakıldığında; saydamlık oranı arttıkça ısıtma enerjisi kullanımının arttığı görülmüştür.
- HVAC sistemleri benzetiminde ise yüksek verimli ısıtma sistemlerinin diğer sistemlere göre daha avantajlı olduğu ve ısıtma enerjisi kullanımını azalttığı görülmüştür.
- Yapının dışarıdan talep ettiği enerji miktarını azaltmak için yapının çatısına PV panel eklenmiştir. PV panel benzetiminde; panel verimliliği ve panellerin yüzey kaplama alanları arttıkça yapının dışarıdan talep ettiği ısıtma enerjisi miktarı azalmıştır. PV panellerin kullanım ömrü uzadıkça yapıya sağlayacakları enerjiden dolayı yapının dışarıdan talep edeceği enerji miktarı azalmaktadır.

Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda, tasarım aşamasındaki bir yapının ya da iyileştirme çalışması yapılmak istenen mevcut bir yapının, YBM kullanılarak enerji modelleri oluşturulabilmekte, yapılara aktif ve pasif tasarımlar entegre edilerek, yapılar başarılı bir şekilde enerji etkin hale gelebilmektedir. Yapılarda iç mekân konforunu sağlamada, termal kontrol, pasif güneş enerjisiyle ısıtma gibi pasif

tasarım ilkelerinin kullanılmasıyla mekanik çözümlere olan ihtiyacın en aza indirilebileceği görülmüştür.

Çalışma bulgularına göre aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir;

- Yapıların bütüncül olarak tasarlanması, formu, yeri, yönlmesi gibi değişkenler dikkate alınarak erken tasarım aşamasında iken enerji etkin hale getirilmesi gerekmektedir.
- Yapılarda iç mekân termal konforu sağlanırken yapıya ait karbon ayak izini azaltmak için mevcut yerel malzemelerin araştırılması ve uygun olan malzemelerin kullanılması önemlidir.
- Yapı çevresine ait peyzaj düzenlemesi yapıdan bağımsız düşünölemeyeceği ve yapıya olan etkileri göz önüne alarak tasarlanmalıdır.
- Samsun ikliminde termal kontrol, pasif güneş enerjisi kullanımı, güneş kontrolü ve pasif soğutma gibi tasarım parametreleri önemlidir. İç mekân konforunu artırmak ve mekanik çözümlere duyulan ihtiyacı azaltmak için duvarların, tavanın ve zeminin çok iyi yalıtılması gerekmektedir. Yapıların inşasında yüksek termal kütle, pasif güneş enerjisiyle ısıtma, doğal havalandırma ve düşük karbon salımlı çift cam ya da üçlü cam kullanılması önerilmektedir.
- Ülkemizde; enerji verimliliği, pasif tasarım çözümleri ve yapıım teknikleri hakkında eğitime ve farkındalığa ihtiyaç vardır. Yerel yönetimlerin enerji etkin tasarımları özendirilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı her yapı ölçeğinde özendirilmelidir. Uluslararası kurum ve kuruluşların bu alandaki güncel çalışmaları yakından takip edilmeli ve ülkemize uyarlanmalıdır.
- Ülkemizde inşa edilecek her yapının enerji etkin tasarım kıstaslarına göre tasarlanması, uygulanması ve kullanılması zorunlu hale getirilmelidir. Yürürlükte olan yasa ve yönetmelikler denetlenmeli ve belirli standartlar oluşturulmalıdır. Böylece enerji konusunda dışa bağımlı olan ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanabilecektir.

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen verilere dayanarak; yapılarda enerji tasarrufunun hem çevrenin korunmasına katkıda bulunacağı hem de ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığının azalmasına katkı yapacağı söylenebilir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma 'Mevcut Bir Eğitim Yapısında Enerji Etkin Bir İyileştirme Yaklaşımı' isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir. 5. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi'nde sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] Ş. Balku ve F. Koçyiğit, "Low Carbon Architectural Design", *Gazi University Journal of Science*, vol. 31, no. 1, pp. 13-23, 2018.
- [2] G. Cillari, F. Fantozzi, ve A. Franco, "Passive solar solutions for buildings: Criteria and guidelines for a synergistic design", *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 1-19, 2021.
- [3] D. Elbi, "Yapı bilgi modelleme aracılığı ile enerji etkin yapı tasarımı ve geliştirilmesi: bir konut projesi örneği," Yüksek lisans tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [4] O. K. Akande, "Passive design strategies for residential buildings in a hot dry climate in Nigeria," *WIT Transactions on Ecology and the Environment (WIT Trans. Ecol. Environ.)*, vol. 128, pp. 61-71, 2010.

- [5] M. Mokrzecka, "Influence of building shape and orientation on heating demand: simulations for student dormitories in temperate climate conditions," *E3S Web Conf.*, vol. 44, no. 00117, pp. 1-8, 2018.
- [6] Y. Bichiou ve M. Krarti, "Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings," *Energy Build*, vol. 43, no. 12, pp. 3373-3382, 2011.
- [7] S. Mirrahimi, M. F. Mohamed, L. C. Haw, N. L. N. Ibrahim, W. F. M. Yusoff ve A. Aflaki, "The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate, Renew," *Sustain. Energy Rev.* vol. 53, pp. 1508–1519, 2016.
- [8] C. R. Yu, H. S. Guo, Q. C. Wang, ve R. D. Chang, "Revealing the impacts of passive cooling techniques on building energy performance: a residential case in Hong Kong," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 12, pp. 4188, 2020.
- [9] Y. Yılmaz ve G. Koçlar Oral, "An approach for cost and energy efficient retrofitting of a lower secondary school," *Building, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 34, no. 1, pp. 393-408, 2019.
- [10] C. Heracleous ve A. Michael, "Assessment of overheating risk and the impact of natural ventilation in educational buildings of Southern Europe under current and future climatic conditions," *Energy*, vol. 165, pp. 1228-1239, 2018.
- [11] J. Han ve X. Yang, "Analysis of passive energy-saving retrofitting of rural residential houses in Southern Anhui Province – A case in Hongcun," *Energy Procedia* vol. 152, pp. 470–474, 2018.
- [12] S. Kim, P. A. Zadeh, S. Staub-French, T. Froese ve B. Terim Cavka, "Assessment of the impact of window size, position and orientation on building energy load using BIM," *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 1424–1431, 2016.
- [13] M. J. Sorgato, A. P. Melo ve R. Lamberts, "The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption," *Energy and Buildings*, vol. 133, pp. 1–13, 2016.
- [14] A. S. Shivsharan, D. R. Vaidya ve R. D. Shinde, "3D Modeling and energy analysis of a residential building using BIM tools," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 7, pp. 629-636, 2017.
- [15] G. Tsalikis ve G. Martinopoulos, "Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings," *Sol. Energy*, vol. 115, pp. 743–756, 2015.
- [16] Y. Huang, J. Niu ve T. Chung, "Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates," *Appl. Energy*, vol. 134, pp. 215–228, 2014.
- [17] W. K. Alhuwayil, M. Abdul Mujeebu ve A. M. M. Algarny, "Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate," *Energy*, vol. 169, pp. 1166–1174, 2019.
- [18] K. Imessad, N.A. Messaoudene ve M. Belhamel, "Performances of the Barra–Costantini passive heating system under Algerian climate conditions," *Renew. Energy*, vol. 29, pp. 357–367, 2004.
- [19] Y. Yıldız ve Z. D. Arsan, "Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates," *Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 4287–4296, 2011.



- [20] Z. Liu, D. Wu, B.-J. He, Q. Wang, H. Yu ve W. Ma, G. Jin, "Evaluating potentials of passive solar heating renovation for the energy poverty alleviation of plateau areas in developing countries: A case study in rural Qinghai-Tibet Plateau, China," *Sol. Energy*, vol. 187, pp. 95–107, 2019.
- [21] F. Bal Koçyiğit, "Zero Consumption Monotype Education Buildings," *Gazi University Journal of Science*, c. 31, s. 2, ss. 328-340, 2018.
- [22] Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, *Ortak Geleceğimiz*, Çeviren: B. Çorakçı, 3. baskı, Ankara, Türkiye: Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, 1991, ss. 67-75.
- [23] A. Sev, *Sürdürülebilir Mimarlık*, İstanbul, Türkiye: YEM Yayınevi, 2009, ss. 14-53.
- [24] Ç. Dikmen, "Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi," *Politeknik Dergisi*, c. 2, ss. 121-134, 2011.
- [25] G. K. Oral, "Güneş Enerjisi ve Yapı," *Mimarlar Odası Diyarbakır Şube Bülteni*, s. 1, ss. 8-20, 2010.
- [26] A. Gazioğlu, "Enerji etkin bina tasarımında ısıtma enerjisi harcamalarını azaltmaya yönelik bir iyileştirme çalışması," Yüksek lisans tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [27] G. Manioğlu, "Enerji etkin tasarım ve yenileme çalışmalarının örneklerle değerlendirilmesi," *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, c. 126, ss. 35-47, 2011.
- [28] *Binalarda ısı yalıtımı*, Türk Standartlar Enstitüsü TS-825, 1998/2001.
- [29] Yakıtların Isıl Değerleri. (2021, 11 Temmuz). [Online]. Erişim: [http://31.com.tr/v2/wp-content/uploads/ars1/yakitlarin\\_isil\\_degerleri.pdf](http://31.com.tr/v2/wp-content/uploads/ars1/yakitlarin_isil_degerleri.pdf)
- [30] *Measurement of Energy and Demand Savings*, ASHRAE Guideline 14, 2014.
- [31] F. Şenkal Sezer ve N. Karagöz Yeşilyurt, "Türkiye'deki Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Analizi ve Yurtdışı Uygulamaları ile Karşılaştırılması", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 16, s. 1, ss. 1-10, 2011.
- [32] L. Hernández-Callejo, S. Gallardo-Saavedra ve V. Alonso-Gómez, "A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance," *Solar Energy*, vol. 188, pp. 426-440, 2019.