



Sensitivity analysis of facade design parameters in residential buildings in the context of climatic design

Hilal Parlak Arslan*^{ID}, Gül Koçlar Oral^{ID}

Department of Architecture, Faculty of Architecture, İstanbul Technical University, 34367, İstanbul, Türkiye

Highlights:

- Façade design parameters in the context of climatic design
- Sensitivity analysis of facade design parameters
- Determining the effect levels of facade design parameters in houses with the widest façade opening in the north.

Keywords:

- Climatic design
- Residential buildings
- Energy efficient facade
- Energy modelling
- Sensitivity analysis

Article Info:

Research Article

Received: 04.11.2021

Accepted: 19.08.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1010262

Correspondence:

Author: Hilal Parlak Arslan
e-mail: parlakh@itu.edu.tr
phone: +90 544 660 3494

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the results of the sensitivity analysis of the facade design parameters on the building energy loads were obtained in the models produced to improve the energy efficiency in the buildings oriented to the north, and the sensitivity analysis results of the alternative model are shown in Figure A.

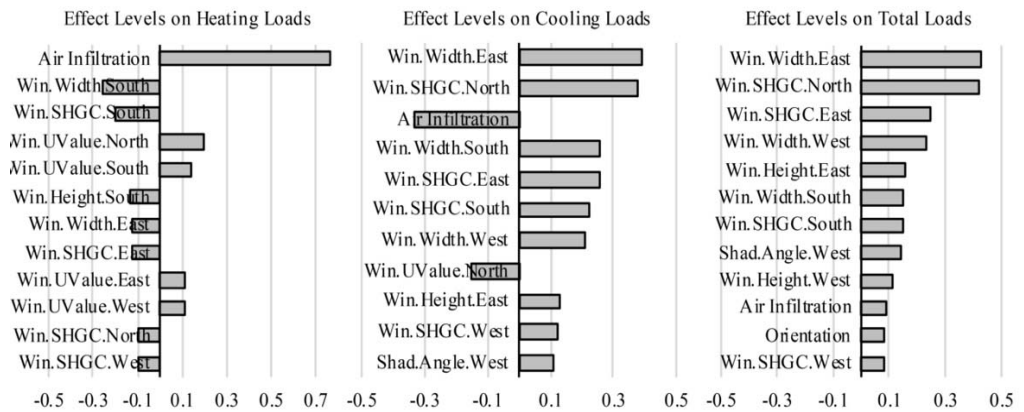


Figure A. Effect levels of design parameters on alternative model heating, cooling, and total energy loads

Purpose:

In the study, it is aimed to perform sensitivity analysis of facade parameters in order to produce optimum facade solutions to improve the energy efficiency of the building, based on climatic design.

Theory and Methods:

The design parameters of the built environment may not always allow the ideal application of climatic design parameters. For this reason, in the design process, a method has been developed for simultaneous analysis of many design inputs related to the facade in order to reduce energy losses and to produce optimum facade solutions. This method consists of two stages; creating building energy model and determining effective parameters in the facade design with sensitivity analysis.

Results:

After sensitivity analysis of the base model, the data on which parameter was more effective on the heating cooling and total loads were presented graphically. In the study, it is aimed to develop a model alternative to reduce energy losses in buildings with the widest facade opening in the north direction. The sensitivity analysis of the alternative model was also made and the effects of the parameters on the heating, cooling and total loads were presented graphically.

Conclusion:

It has been concluded that, depending on the direction of the building in climatic design, the design parameters that need to be studied primarily in terms of the effect levels on heating, cooling and total energy loads vary. In this respect, by applying the sensitivity analysis method presented in the study, it will be possible to reach the right decisions in the design process which is an iterative process involving many criteria.



İklimsel tasarım bağlamında konut binalarında cephe tasarım parametrelerinin hassasiyet analizi

Hilal Parlak Arslan*^{ID}, Gül Koçlar Oral^{ID}

İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34367, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- İklimsel tasarım bağlamında cephe tasarım parametreleri
- Cephe tasarım parametrelerinin hassasiyet analizi
- Kuzeyde en geniş cephe açıklığına sahip konutlarda cephe tasarım parametrelerinin etki düzeylerinin belirlenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.11.2021

Kabul: 19.08.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1010262

Anahtar Kelimeler:

İklimsel tasarım,
konut,
enerji etkin cephe,
enerji modellemesi,
hassasiyet analizi

ÖZ

Dünya nüfusunun ve sanayileşmenin hızla artmasıyla konut üretimi de hızla artmıştır. Çok sayıda ve yoğun biçimde üretilen konutların, buldukları iklim bölgesinin özelliklerinin göz ardı edilerek tasarlanması enerji ve çevre sorunlarının artmasında etkilidir. Yerleşilen bölgenin iklim özellikleri dikkate alınarak yapılan iklimsel tasarım ile, binaların iklimle uyumlu ve enerji etkin olarak tasarlanması hedeflenmektedir. İklimsel tasarımda etkili olan parametreler başlıca; dış çevreye ilişkin iklimsel koşullar ile yer, yönlendiriliş durumu, bina formu, hacim organizasyonu, bina kabuğu (cephe), doğal havalandırma, doğal aydınlatma, güneş kontrolü gibi yapma çevreye ilişkin parametreler olarak ele alınmaktadır. Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin iklimsel tasarımı sınırlayıcı etkileri olabileceği göz önüne alındığında, tasarım süreci çok sayıda kriterin gözetildiği yinelemeli bir süreç haline gelmektedir. Bu kriterler arasında seçim yapabilmek için, alternatiflerin tanımlanması ve eş zamanlı olarak analiz edilebilmesi için destek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Konutlarda harcanan enerjinin büyük kısmı iç ve dış çevreyi birbirinden ayırması nedeniyle önemli bir tasarım parametresi olan konut cepheleri aracılığı ile olmaktadır. Bu açıdan bu çalışmada, binalarda enerji harcamalarını azaltma amacına yönelik olarak, enerji performansı yüksek cephe tasarım çözümlerini üretebilen karar destek sistemi modelinin oluşturulmasını sağlayacak hassasiyet analizi aşamasının gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Sensitivity analysis of facade design parameters in residential buildings in the context of climatic design

H I G H L I G H T S

- Façade design parameters in the context of climatic design
- Sensitivity analysis of facade design parameters
- Determining the effect levels of facade design parameters in houses with the widest facade opening in the north

Article Info

Research Article

Received: 04.11.2021

Accepted: 19.08.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1010262

Keywords:

Climatic design,
residential buildings,
energy efficient facade,
energy modelling,
sensitivity analysis

ABSTRACT

Housing production has increased rapidly, with the rapid increase of the world population and industrialization. Designing houses, which are produced in large numbers and intensively, by ignoring the characteristics of the climatic region is effective in the increase of energy and environmental problems. The climatic design, which is made by considering the climatic characteristics of the inhabited region, aims to design the buildings climate responsive and energy efficient. The parameters that are effective in climatic design are mainly; climatic conditions related to the external environment and parameters related to the built environment such as location, orientation, building form, space organization, building envelope (facade), natural ventilation, natural lighting, solar control. Considering that design parameters related to the built environment may have limiting effects on climatic design, the design process becomes an iterative process in which many criteria are observed. In order to choose between these criteria, support systems are needed to identify alternatives and analyze them simultaneously. Most of the energy consumed in houses is through the façades, which is an important design parameter as it separates the interior and exterior environment from each other. In this study, it is aimed to carry out the sensitivity analysis stage in order to create a decision support system model that can produce optimum facade design solutions in order to reduce energy consumption.

1. Giriş (Introduction)

Dünya nüfusunun ve sanayileşmenin hızla artmasıyla enerjiye olan talep de hızla artmıştır. Binaların, üretim ve kullanım sürecinde tükettiği enerji; dünyada tüketilen toplam enerjinin büyük bir bölümünü kapsamaktadır [1]. Binaların üretim ve kullanım süreçlerinde enerji tüketiminin azaltılması için, iklime uyumlu ve enerji etkin tasarım yapılması önemlidir. İklim bölgesinin özellikleri dikkate alınmadan yapılan tasarımlar, kullanım sürecinde konfor koşullarının oluşturulması için harcanan enerji çevre sorunlarının artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, binanın tasarım aşamasında enerji etkinliğinin sağlanmasını ve yerleşilen bölgenin iklim özelliklerine göre tasarım yapılmasını amaçlayan iklimsel tasarım yaklaşımının benimsenmesi, enerji problemlerinin çözümü açısından büyük rol oynamaktadır.

İklimsel tasarımda etkili olan parametreler başlıca; dış çevreye ilişkin iklimsel koşullar ile yer, yönlendiriliş durumu, bina formu, hacim organizasyonu, bina kabuğu (cephe), doğal havalandırma, doğal aydınlatma, güneş kontrolü gibi yapma çevreye ilişkin parametreler olarak ele alınmaktadır. Yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri, yapma çevrenin farklı ölçeklerde mimari projesinin hazırlanması sürecinde kullanılan tasarım parametreleridir. Sözü edilen parametrelerden dış çevreye ilişkin iklimsel koşullar ile yer parametresi çoğu zaman mimarın kontrolünde olamamakta ve dolayısıyla yapma çevreye ilişkin parametreler, binaların enerji etkin olarak tasarlanırken ideal sonuçlara ulaşılmasına her zaman olanak vermeyebilmektedir. İklim ve enerji kontrolünde etkili bir tasarım parametresi olan yer; yerey parçasının baktığı yön, yerey parçasının eğimi, yerey parçasının konumu gibi bir grup alt parametreler bütünüdür. Genellikle, iklimsel ve enerji etkin tasarımda özellikle ısıtma döneminin daha uzun olduğu soğuk ve ılımlı iklim bölgelerinde güneş ışınımı kazancını optimize etmek amacıyla (kuzey yarımkürede) binaların geniş cephelerinin güneye yönlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu bağlamda mekân organizasyonu yapılırken, gün içinde sıklıkla kullanılan yaşama mekanları güneye yönlendirilirken, kuzey bölgesi ısı kayıplarını engellemek için tampon bölge olarak kullanılır [2]. Ancak yerey parçasının yönü, eğimi ve konumu açısından kuzey yönünün hâkim olduğu, daha açık bir deyişle manzaranın kuzeyde olduğu yerleşimlerde, binanın en geniş cephe açıklığı kuzey yönünde olması sebebiyle, ısıtmanın istendiği dönemde enerji kayıpları artmaktadır. Bu durum ısıtma döneminin daha uzun olduğu soğuk ve ılımlı iklim bölgelerinde ısıtma yüklerinin artmasına ve dolayısıyla toplam enerji yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Enerji kayıplarını azaltabilmek için güneye yönlendirilmesi beklenen binaların, manzara yönlerinin kuzeyde olduğu yerleşimlerde kuzeye yönlendirilmesi; iklimsel tasarım parametrelerinin ideal şekilde uygulanmasına olanak vermeyen durumlar bağlamında dikkat çekmektedir.

Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin iklimsel tasarımı sınırlayıcı etkileri olabileceği göz önüne alındığında, tasarım süreci çok sayıda kriterin gözetildiği yinelemeli bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kriterler arasında seçim yapabilmek için özellikle erken tasarım aşamasında alınan kararlar, binanın kullanım sürecindeki enerji performansına yönelik çözümlerin geliştirilebilmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Binanın enerji performansını geliştirme konusunda birden çok kriter ele alındığında seçim yapabilmek için karar destek sistemleri gerekmektedir. Karar destek sistemleri, çözümlere ait alternatiflerin tanımlanması ve eş zamanlı olarak analiz edilebilmesine olanak sağlar. Bu sistemler, iklimsel tasarım yaklaşımıyla, tasarım parametrelerinin enerji performans çıktıları üzerindeki etkisine bakılarak seçim yapabilmek konusunda tasarımcıya yol göstermektedir. Tasarım karar destek sistemleri özellikle erken tasarım aşamaları için bina enerji

performansının iyileştirilmesi ile ilgili önemli konulardan biridir [3]. Kararların nihai performans ve maliyetler üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu bu aşamada, karar vermeyi desteklemek ve tasarımı yüksek performansa yönlendirmek önemlidir [4]. Erken aşamada alınan kararların sonuçlarını tahmin etme ihtiyacına bağlı olarak hassasiyet analizlerinin bina performansına dahil edilmesine yönelik talep artmıştır [5]. Hassasiyet analizi, belirli bir girdinin çıktı üzerindeki etkisinin bir ölçüsü olarak tanımlanmıştır [6]. Bir girdi parametresindeki bir değişiklik, çıktı parametresinde bir değişiklik üretiyorsa ve bu değişiklikler ölçülebiliyorsa, çıktının girdiye göre hassasiyeti belirlenebilir [7]. Tian hassasiyet analizinin, binanın termal performansını etkileyen temel değişkenleri hem enerji simülasyon modellerinden hem de gözlemsel çalışmalardan belirlemek için kullanılabileceğini belirtmiştir [8]. Buna örnek olarak, Nguyen konut tipleri üzerinden Vietnam ikliminde yaptığı ve genel tasarım tavsiyelerinin türetildiği çalışmasında hassasiyet analizi yöntemini uygulamıştır [9]. Yıldız vd. Türkiye’de sıcak-nemli iklimde az katlı apartman dairesinde konutlar için yıllık soğutma enerjisi yükünü araştırdığı çalışmasında hassasiyet analizinden faydalanmıştır [10]. Gerçek ve Arsan, sıcak-nemli iklim bölgesindeki konut binalarında mevcut ve gelecekteki iklim koşulları için, yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri üzerindeki en önemli parametreleri hassasiyet analizi ile belirlemeyi amaçlamışlardır [11].

Binaların enerji performansını artırmada erken tasarım aşamasında karar desteği sağlamayı amaçlayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Buna rağmen iklimsel tasarımın yapma çevre parametreleri ile sınırlandırıldığı durumlarda karar desteği sağlanması konusunda bir boşluk olduğu tespit edilmiştir. Yer parametresinin iklimsel tasarımı sınırlandırdığı durumlarda binaların optimum yönlendirilerek enerji kayıplarını azaltma olanağının da sınırlanacağı açıktır. Özellikle Türkiye’nin kuzey bölgelerinde hâkim yön olması sebebi ile kuzeye yönlendirilen binaların tasarım aşamasında cephe girdilerinin enerji yükleri üzerindeki etki düzeylerine bakılarak, cephe ile ilgili önemli parametreleri belirlemek, binanın kullanım aşamasındaki enerji yüklerini azaltma konusunda etkili olacaktır. Konutlardaki ısı kayıp ve kazançlarının büyük kısmı iç ve dış çevreyi birbirinden ayırması nedeniyle cepheleri aracılığı ile olmaktadır. Bu sebeple çalışmada, iklimsel tasarım parametrelerine dayanarak, binanın enerji etkinliğini geliştirmeye yönelik cephe tasarım parametrelerini analiz edebilmek amacıyla, kuzeye yönlenen binalarda cephe tasarım parametrelerinin binanın enerji yükleri üzerindeki hassasiyetinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu hassasiyetin belirlenebilmesi için öncelikle bir konut modeli üretilmiştir. Üretilen konut modeli üzerinden enerji modelinin oluşturulması ve hassasiyet analizinin yapılması aşamalarından oluşan bir yöntem geliştirilmiştir.

2. Yöntem (Method)

İklimsel tasarım parametrelerine dayanarak, cephe tasarım parametrelerinin enerji yükleri üzerindeki etkisini analiz edebilmek amacıyla yapılacak hassasiyet analizi iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama üretilen konut modeli üzerinden enerji modeli oluşturulması ve ikinci aşama konut biriminde cephe tasarım (girdi) parametrelerinin hassasiyet analizinin yapılmasıdır.

Bina enerji modelinin oluşturulması aşaması, çalışma kapsamında önerilen bir konut modelinin enerji performansına ait çıktıların alınabilmesi amacıyla simülasyon programıyla enerji modelinin üretilmesini içermektedir. Binanın enerji modelini oluşturmak için Design Builder programı kullanılmıştır. Design Builder, bina tasarım enerji performanslarını ölçmek ve kontrol etmek amacıyla üretilen ve EnergyPlus programı için geliştirilen kapsamlı bir ara yüz programıdır [12]. Design Builder programı ile bina enerji modeli hazırlanabilmekte ve bu model EnergyPlus için gereken idf dosyasına

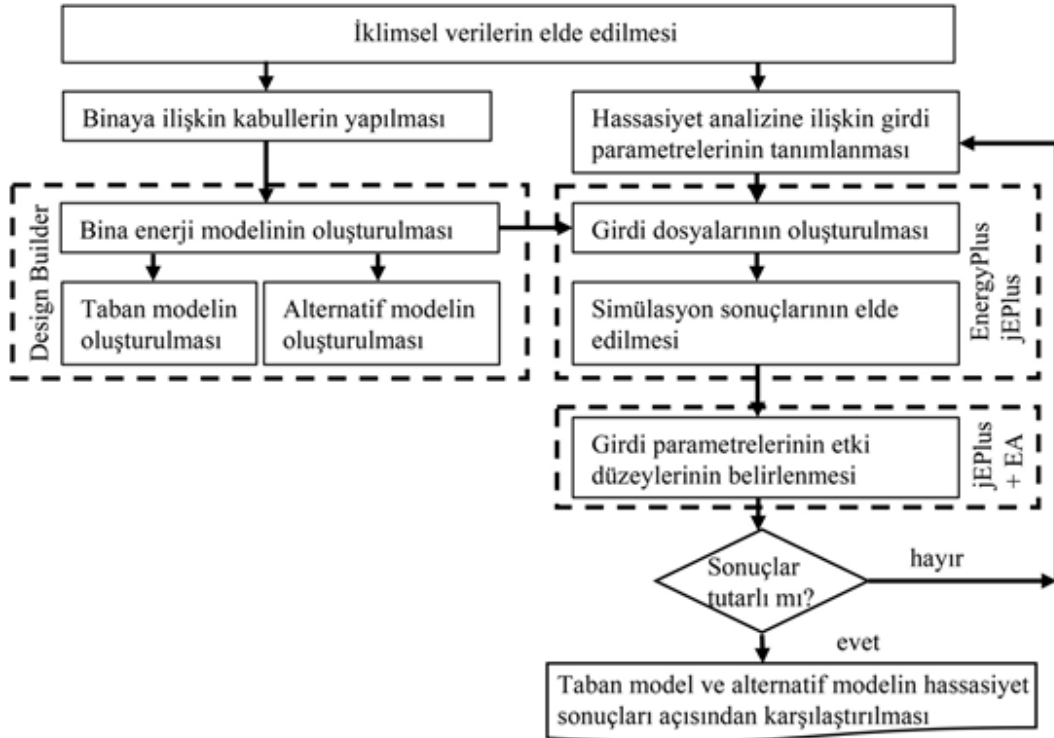
dönüştürülebilmektedir. EnergyPlus programı binaların enerji modellerini oluşturmak için Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş olan bina enerji simülasyonu programıdır [13]. Taban model bina enerji modeli Design Builder programında üretildikten sonra Energy Plus programına aktarılarak idf dosyası elde edilmiştir.

Hassasiyet analizinin yapılması aşaması, cephe tasarım (girdi) parametrelerinin bina enerji performansına olan etkisinin ortaya konması ve enerji performans çıktıları üzerinde hangi parametrenin daha etkili olduğunun anlaşılmasını içermektedir [14]. Bu yöntemle tasarımcıya, parametreler ve simülasyon sonuçları arasındaki sebep sonuç ilişkisini anlamada önemli bir destek sağlanmaktadır [15]. Hassasiyet analizi literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır ancak en yaygın sınıflandırılma lokal ve global hassasiyet analizi şeklindedir [16, 17]. Lokal hassasiyet analizi yöntemi, bir tasarım parametresinin önemi değerlendirilirken diğer tüm parametrelerin sabit tutulduğu bir yaklaşıma dayanmaktadır. Global hassasiyet analizinde ise bir tasarım parametresinin önemi değerlendirilirken diğer tüm parametreler de eş zamanlı olarak değişmektedir [18]. Çalışmada, her bir parametreyi eş zamanlı olarak analiz edebilmek amacıyla global hassasiyet analizi yöntemi kullanılmıştır. Global hassasiyet analizinde; regresyon tabanlı, görüntüleme tabanlı, varyans tabanlı ve meta-model tabanlı yöntem olmak üzere dört farklı yöntem vardır [19]. Çalışmada kapsamlı hassasiyet analizinde regresyon tabanlı yöntem tercih edilmiştir. Regresyon tabanlı yöntem, örneklem tabanlı analiz yöntemidir. Hızlı hesaplanır ve kolay anlaşılır olduğundan bina enerji analizi çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntemdir [19]. Hassasiyet analizinin yapılması aşamasındaki ilk adım, hassasiyet analizinde kullanılacak tasarım parametrelerinin tanımlanması ve bu parametrelere ait değerlerin aralıklarının belirlenmesidir. Tasarım parametrelerinin değerleri farklı örneklem yöntemleri ile atanabilir. Önerilen modelin uygulanması aşamasında Latin Hypercube örnekleme (LHS) kullanılmıştır. LHS katmanlaşma özellikleri sebebiyle çok kullanılan bir yöntemdir [19].

Hassasiyet analizinde parametrelerin tanımlanması ve değer aralıklarının belirlenmesi aşamasından sonra, taban model üzerinden bu parametrelere LHS yöntemi ile değerler atanıp dosyalar oluşturulmuştur. Dosyaların oluşturulabilmesi için jEPlus programı kullanılmıştır. jEPlus Programı ilk olarak 2009 yılında EnergyPlus için parametrik bir araç olarak tanıtılmıştır. Program kullanıcılara, grafik bir kullanıcı ara yüzünde parametreleri tanımlamasına ve otomatik olarak EnergyPlus simülasyonu işlerini oluşturmasına ve sürdürmesine olanak tanımaktadır [20]. JEPlus programı ile, EnergyPlus programı aracılığı ile elde edilen idf dosyası üzerinden, Latin Hypercube örnekleme yöntemi ile dosyaların çoklu simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyon sırasında tanımlanan tüm parametreler aynı anda değer olarak simülasyon sonuçlandırılmıştır. Simülasyon sonuçları jEPlus+EA programına girilerek hassasiyet analizi sonuçları elde edilmiştir. jEPlus+EA programı hassasiyet analizi ve optimizasyon yapabilmek üzere hazırlanmıştır. Bu program; çok amaçlı optimizasyon algoritması, hem çok amaçlı hem de tek amaçlı problemlere uygunluğu, kullanım anında ayarlama ile tam etkileşim sağlaması, programın tam kontrolünü ve ilerleme izleme, çözüm incelemesi ve algoritma analizi için veri erişimini sağlayan JSON tabanlı Uygulama Programlama Arayüzü (API) sebebiyle seçilmiştir [21]. Çalışmaya ait önerilen yöntem, bina enerji modelinin oluşturulması ve hassasiyet analizinin yapılması olmak üzere Şekil 1’de görülmektedir.

3. Önerilen Yöntemin Uygulanması (Application of the Proposed Method)

Önerilen yöntemde bina enerji modelinin oluşturulması ve hassasiyet analizinin yapılması aşamalarının uygulanması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda çalışmada tasarım sürecinde, enerji yüklerini azaltmak amacıyla cephe ile ilgili çok sayıda tasarım girdisinin eş zamanlı olarak analiz edilebilmesi için bir yöntem geliştirilmesi esas alınmıştır. Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin iklimsel



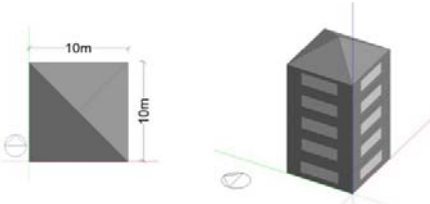
Şekil 1. Önerilen yöntemin şematik açıklaması (Schematic description of the proposed method)

tasarımı sınırlayıcı etkileri olabileceği ve binaların enerji etkin olarak tasarlanırken ideal sonuçlara ulaşılmasına her zaman olanak vermeyebileceği önceki bölümlerde açıklanmıştır. Çalışmada, buna örnek olarak en geniş cephe açıklığı kuzey cephesinde olan binalar ele alınarak, cephe parametrelerinin binanın enerji yükleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu sebeple çalışma alanı olarak Samsun ili belirlenmiştir. Samsun'da zaman içinde konut ihtiyacının artmasıyla birlikte, özellikle tarım alanlarının imara açılmasıyla denize paralel lineer bir şekilde büyüyen kentte, kentin geleneksel dokusunda izlenen yönlendirilişin aksine manzaraya karşı yönlendiriliş hâkim olmuştur. Bu durum, manzara yönünün diğer bir deyişle deniz yönünün kuzeyde yer alması sebebiyle, konut binalarının ana yönlendirmesinde kuzey ve kuzeye yakın yönlerin etkin olması ile sonuçlanmaktadır.

3.1. Bina Enerji Modelinin Oluşturulması (Creating the Building Energy Model)

Çalışma kapsamında bir konut modeli önerilmiş ve bina enerji modelinin oluşturulmasında Design Builder programı kullanılmıştır. Design Builder programıyla bina üç boyutlu olarak modellenmiştir. Bina enerji modeli taban modele ilişkin kabuller baz alınarak üretilmiştir. Bina enerji modelinde Samsun ili iklim verileri esas alınmıştır. Samsun ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer almaktadır. Samsun'da yıllık ortalama minimum sıcaklık şubat ayı içerisinde oluşur ve 3,9°C'dir. Yıllık ortalama maksimum sıcaklık ağustos ayı içerisinde 27,1°C olmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık ise yaklaşık 14,6°C'dir [22]. Dış iklimsel faktörlere ilişkin hesaplarda Tipik Meteorolojik Yıl (TMY) dosyası kullanılmıştır [23]. Bina, TÜİK'in Samsun'da 2010-2019 yılları arasında yapılan konut kat sayısı istatistik verilerinin irdelenmesi sonucu yaygın olarak kullanılması nedeni ile beş katlı modellenmiştir [24]. Her katta bir daire yer almakta ve her daire bir ısıl zon olarak kabul edilmektedir. Bina formu 10mx10m ölçülerinde, kare şeklindedir. Bina taban alanı 100m²'dir. Kat yüksekliği 3 m'dir. Çatı formu saçaksız kırma çatıdır. Dört yönde cephesi bulunmaktadır. Binanın çevresinde başka binaların olmadığı varsayılmıştır. Kullanıcı sayısı her bir daire için 3 kişidir (Tablo 1).

Tablo 1. Taban modele ait veriler (Information about the building)



Program Bilgileri	Design Builder 4.6 EnergyPlus 8.9.0
Enlem - Boylam	41.28 - 36.30
Rakım	4.00 m
Kat Yüksekliği	3 m
Dış Duvar U Değeri	0.59 W/m ² K
Döşeme U Değeri	0.53 W/m ² K
Çatı U Değeri	0.36 W/m ² K
Pencere U değeri	2.4 W/m ² K
Hava Değişim Oranı	0.5 ach

Kullanıcı şeması; biri çalışan iki ebeveyn ve bir çocukta oluşan 3 kullanıcının gün içinde belli saatlerde konutta bulunacağı varsayımı ile oluşturulmuştur. Kullanıcı aktivite faktörü: 1.00, Kullanıcı giysi tipi: Isıtma döneminde 1clo, soğutma döneminde 0,5clo olarak belirlenmiştir. Hava değişim oranı: 0,50 ac/h alınmıştır. Isıtma sistemi, ısıtmanın istendiği dönemlerde iç hava konfor sıcaklığı 20°C, ayar sıcaklığı 13°C'yi sağlayacak bireysel doğalgazlı ısıtma sistemi,

soğutma sistemi ise ısıtmanın istenmediği dönemlerde iç hava konfor sıcaklığı 26°C, ayar sıcaklığı 32°C'yi sağlayacak bireysel duvar tipi split klima olarak belirlenmiştir [25]. Aydınlatma elemanı olarak aydınlatma gücü 7,5 W/m² olan LED lamba tercih edilmiştir. Elektrikli ekipman gücü 5 W/m² olacak şekilde konut kullanım programına göre ayarlanmıştır. Gölgeleme elemanı olarak dış entegre edilen jaluzi kullanılmaktadır. Gölgeleme elemanı, dış hava sıcaklığı 24°C, güneş değeri 120 W/m² olduğunda devrede olacak şekilde kontrol edilmektedir.

Bina kabuğuna ilişkin bilgiler bina enerji modelinde ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Gerekli veriler, TS825 binalarda ısı yalıtım standardında kabul edilmiş olan değerlerden elde edilmiştir (Tablo 2).

3.2. Hassasiyet Analizi Yönteminin Uygulanması (Applying Sensitivity Analysis Method)

Hassasiyet analizi yönteminin uygulanması, girdi parametrelerinin tanımlanması, girdi dosyalarının oluşturulması, simülasyon sonuçlarının elde edilmesi ve girdi parametrelerinin enerji yükleri üzerindeki etki düzeylerinin belirlenmesi aşamalarını içermektedir.

3.2.1. Girdi Parametrelerinin Tanımlanması (Defining Input Parameters)

Hassasiyet analizi yönteminin ilk aşamasını kapsayan parametreler Tablo 3'de verilmiştir. Bina kabuğuna ilişkin, beş grupta toplam on bir adet parametre hassasiyet analizinde incelenmek üzere belirlenmiştir. Bu parametrelerden pencere başlığında belirtilen; pencere genişliği, pencere yüksekliği, güneş ısı kazanım katsayısı, pencere toplam ısı geçirme katsayısı parametreleri, dış duvar başlığında belirtilen; ısı yalıtım malzemesi özgül ısı değeri, ısı yalıtım malzemesi kalınlığı, ısı yalıtım malzemesi ısı iletkenlik değeri parametreleri, gölgeleme elemanı başlığında belirtilen; gölgeleme elemanı derinliği ve gölgeleme elemanı açısı parametreleri kuzey, güney, doğu ve batı cepheleri için ayrı ayrı ele alınmıştır. Yönlenme ve hava değişim oranı tüm binada uygulanmıştır.



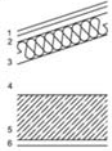
Hassasiyet analizinin yapılabilmesi için, parametreler belirlendikten sonra parametre değer aralıkları belirlenmiştir. Tablo 4'de 1. sütunda parametre isimlerini ve etkiledikleri cepheleri, 2. sütunda parametrelerin kısaltmaları, 3. sütunda her bir parametrenin birimleri gösterilmiştir. Her bir parametrenin alacağı minimum ve maksimum değerden oluşan değer aralığı 4. sütunda gösterilmektedir.

Bina için yönlendirme, pencere, gölgeleme elemanı, hava değişim oranı başlıklarından toplam otuz sekiz adet tasarım parametresi tanımlanmıştır. Parametrelerin değer aralıkları, yönlenme parametresi hariç olmak üzere, minimum ve maksimum değerleri arasında 10° ar değer elde edilecek şekilde bölünerek tanımlanmıştır. Her parametre için maksimum ve minimum değer aralıkları belirlenirken inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin sınır değerleri ve TS825 dikkate alınmıştır [25].

3.2.2. Girdi Dosyalarının Oluşturulması (Generating Input Files)

Girdi parametreleri tanımlanıp değer aralıkları belirlendikten sonra, parametrelerin her bir dosyada alacağı değeri belirlemek için jEPlus programı kullanılmıştır. jEPlus programında parametreler ve değer aralıkları girilerek Latin Hypercube örnekleme seçimi ile bir örnekleme dosyası üretilmiştir. Örnekleme sayısı, Latin Hypercube örnekleme yöntemi için tavsiye edildiği şekilde, parametre sayısının 1,5-10 katı aralığından 8 kat olarak seçilmiş, parametre sayısıx8 (38x8=304) olarak belirlenmiştir [26], [9]. jEPlus programında taban modeldeki 38 parametreye ait her değer, her bir modelde eş zamanlı olarak değişecek şekilde 304 adet dosya oluşturulmuştur.

Tablo 2. Bina kabuğuna ilişkin bilgiler (Information about the building envelope)

Kabuk Bileşeni	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	U değeri (W/m ² K)
	Alçı sıva	20	0,7	0,59
	Yatay delikli tuğla	190	0,36	
	Isı yalıtım	40	0,034	
	Çimento bazlı sıva	30	1,4	
	Ahşap kaplama	20	0,2	0,53
	Düzeltilme betonu	30	1,65	
	Isı yalıtım	40	0,034	
	Betonarme temel	500	2,5	
	Grobeton	100	1,65	
	Zemin dolgusu	100	0,52	
	Tavan sıvası	20	0,7	0,36
	Betonarme döşeme	150	2,5	
	Isı yalıtım	70	0,034	
	Yatay Hava Boşluğu	d=10	$d/\lambda=0,17$	
	Kiremit altı tahtası	12	0,13	
	Kiremit	15	0,5	
Pencere	12 mm düz cam + 20 mm xenon gazı + 12 mm düz cam			2,40

Tablo 3. Hassasiyet analizi yapılacak tasarım (girdi) parametreleri (Design (input) parameters for sensitivity analysis)

Tasarım (Girdi) Parametreleri	
	Yönlenme
Pencere	Pencere Genişliği
	Pencere Yüksekliği
	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı
	Pencere Toplam Isı Geçirme Katsayısı
Gölgeleme Elemanı	Gölgeleme Elemanı Derinliği
	Gölgeleme Elemanı Açısı
Dış Duvar	Isı Yalıtım Malzemesi Özgül Isı Değeri
	Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı
	Isı Yalıtım Malzemesi Isı İletkenlik Değeri
	Hava Değişim Oranı

3.2.3. Simülasyon Sonuçlarının Elde Edilmesi (Getting Simulation Results)

Bu çalışmada performans göstergesi olarak ele alınacak çıktılar, yıllık ısıtma enerjisi yükü (kWh), yıllık soğutma enerjisi yükü (kWh) ve yıllık toplam enerji (ısıtma ve soğutma enerjisi toplamı) yüküdür. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için Design Builder ile elde edilen taban model, Energy Plus programında kullanılmak üzere idf

dosyasına dönüştürülmüş ve bu dosya ile jEPlus programında 304 adet dosyanın simülasyonu yapılarak çıktı dosyası haline getirilmiştir. Bir sonraki aşama, parametrelere atanmış değerler ve bu değerlere göre hesaplanmış simülasyon değerleri arasındaki matematiksel ilişkilerin belirlenmesidir.

3.2.4. Girdi Parametrelerinin Enerji Yükleri Üzerindeki Etki Düzeylerinin Belirlenmesi (Determination of Effect Levels of Input Parameters on Energy Loads)

Girdi parametrelerinin enerji yükleri üzerindeki etki düzeylerinin belirlenmesi aşamasında, parametrelerin ısıtma enerjisi yükü, soğutma enerjisi yükü ve toplam enerji yükü üzerindeki etkisi ayrı ayrı ele alınmaktadır. jEPlus+EA programı kullanılarak, her parametrenin enerji yüklerine olan etki düzeylerinin belirlenmesi sağlanacaktır. Çalışma kapsamında, ele alınan parametrelerin binanın yıllık ısıtma enerjisi yükü, yıllık soğutma enerjisi yükü ve toplam enerji yükü üzerindeki etki düzeylerine göre sıralanmıştır.

Isıtma enerjisi yükleri üzerindeki etkisi en fazla olan parametreler şu şekilde sıralanmaktadır: Hava değişim oranı, pencere genişliği güney cephesi, pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısısı kazanç katsayısı güney cephesi, pencere yüksekliği güney cephesi, duvar yalıtım malzemesi kalınlığı batı cephesi, pencere toplam ısı geçirme katsayısı doğu cephesi, güneş ısısı kazanç katsayısı doğu cephesi. Soğutma enerjisi yükleri üzerindeki etkisi en fazla olan parametreler ise şu şekilde sıralanmaktadır: Pencere genişliği doğu cephesi, hava değişim oranı, güneş ısısı kazanç katsayısı doğu cephesi, pencere genişliği güney cephesi, pencere genişliği kuzey cephesi, güneş ısısı kazanç

Tablo 4. Parametrelerin maksimum ve minimum değer aralıkları (Max. and min. value ranges of parameters)

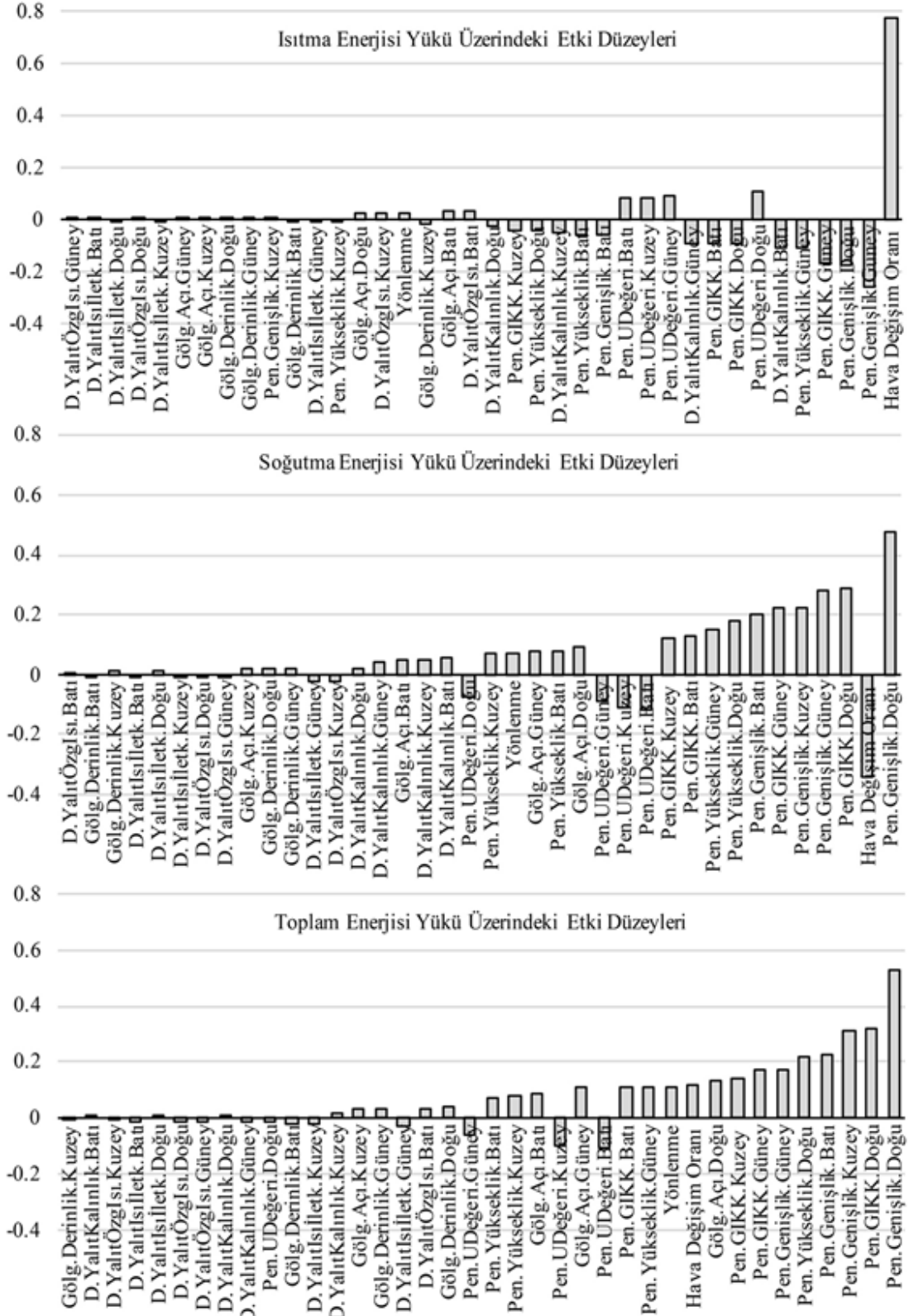
Girdi Parametreleri	Parametre Kısaltma	Birim	Aralık
Yönlenme	Yönlenme	derece	0,45,315
Pencere Genişliği Kuzey Cephesi	Pen.Genişlik.Kuzey	m	1,5-9,0
Pencere Genişliği Güney Cephesi	Pen.Genişlik.Güney	m	1,5-9,0
Pencere Genişliği Doğu Cephesi	Pen.Genişlik.Doğu	m	1,5-9,0
Pencere Genişliği Batı Cephesi	Pen.Genişlik.Batı	m	1,5-9,0
Pencere Yüksekliği Kuzey Cephesi	Pen.Yükseklik.Kuzey	m	0,5-2,5
Pencere Yüksekliği Güney Cephesi	Pen.Yükseklik.Güney	m	0,5-2,5
Pencere Yüksekliği Doğu Cephesi	Pen.Yükseklik.Doğu	m	0,5-2,5
Pencere Yüksekliği Batı Cephesi	Pen.Yükseklik.Batı	m	0,5-2,5
Pencere Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Kuzey Cephesi	Pen.GIKK.Kuzey	-	0,51-0,86
Pencere Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Güney Cephesi	Pen.GIKK.Güney	-	0,51-0,86
Pencere Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu Cephesi	Pen.GIKK.Doğu	-	0,51-0,86
Pencere Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Batı Cephesi	Pen.GIKK.Batı	-	0,51-0,86
Pencere Toplam Isı Geçirime Katsayısı Kuzey Cephesi	Pen.UDeğeri.Kuzey	W/m ² K	0,8-2,4
Pencere Toplam Isı Geçirime Katsayısı Güney Cephesi	Pen.UDeğeri.Güney	W/m ² K	0,8-2,4
Pencere Toplam Isı Geçirime Katsayısı Doğu Cephesi	Pen.UDeğeri.Doğu	W/m ² K	0,8-2,4
Pencere Toplam Isı Geçirime Katsayısı Batı Cephesi	Pen.UDeğeri.Batı	W/m ² K	0,8-2,4
Gölgeleme Elemanı Derinliği Kuzey Cephesi	Gölg.Derinlik.Kuzey	m	0,1-1,0
Gölgeleme Elemanı Derinliği Güney Cephesi	Gölg.Derinlik.Güney	m	0,1-1,0
Gölgeleme Elemanı Derinliği Doğu Cephesi	Gölg.Derinlik.Doğu	m	0,1-1,0
Gölgeleme Elemanı Derinliği Batı Cephesi	Gölg.Derinlik.Batı	m	0,1-1,0
Gölgeleme Elemanı Açısı Kuzey Cephesi	Gölg.Açı.Kuzey	derece	10-90
Gölgeleme Elemanı Açısı Güney Cephesi	Gölg.Açı.Güney	derece	10-90
Gölgeleme Elemanı Açısı Doğu Cephesi	Gölg.Açı.Doğu	derece	10-90
Gölgeleme Elemanı Açısı Batı Cephesi	Gölg.Açı.Batı	derece	10-90
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Özgül Isı Değeri Kuzey Cephesi	D.YalıtÖzgIsı.Kuzey	J/kg-K	600-2000
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Özgül Isı Değeri Güney Cephesi	D.YalıtÖzgIsı.Güney	J/kg-K	600-2000
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Özgül Isı Değeri Doğu Cephesi	D.YalıtÖzgIsı.Doğu	J/kg-K	600-2000
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Özgül Isı Değeri Batı Cephesi	D.YalıtÖzgIsı.Batı	J/kg-K	600-2000
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı Kuzey Cephesi	D.YalıtKalınlık.Kuzey	m	0,01-0,1
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı Güney Cephesi	D.YalıtKalınlık.Güney	m	0,01-0,1
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı Doğu Cephesi	D.YalıtKalınlık.Doğu	m	0,01-0,1
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı Batı Cephesi	D.YalıtKalınlık.Batı	m	0,01-0,1
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Isı İletkenlik Değeri Kuzey Cephesi	D.YalıtIsıİletk.Kuzey	W/mK	0,03-0,04
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Isı İletkenlik Değeri Güney Cephesi	D.YalıtIsıİletk.Güney	W/mK	0,03-0,04
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Isı İletkenlik Değeri Doğu Cephesi	D.YalıtIsıİletk.Doğu	W/mK	0,03-0,04
Dış Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Isı İletkenlik Değeri Batı Cephesi	D.YalıtIsıİletk.Batı	W/mK	0,03-0,04
Hava Değişim Oranı	Hava Değişim Oranı	ACH	0,1-1,0

katsayısı güney cephesi, pencere genişliği batı cephesi. Toplam enerji yükleri üzerindeki etkisi en fazla olan parametreler şu şekilde sıralanmaktadır: Pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanc katsayısı doğu cephesi, pencere genişliği kuzey cephesi, pencere genişliği batı cephesi, pencere yüksekliği doğu cephesi, pencere genişliği güney cephesi, güneş ısı kazanc katsayısı güney cephesi (Şekli 2).

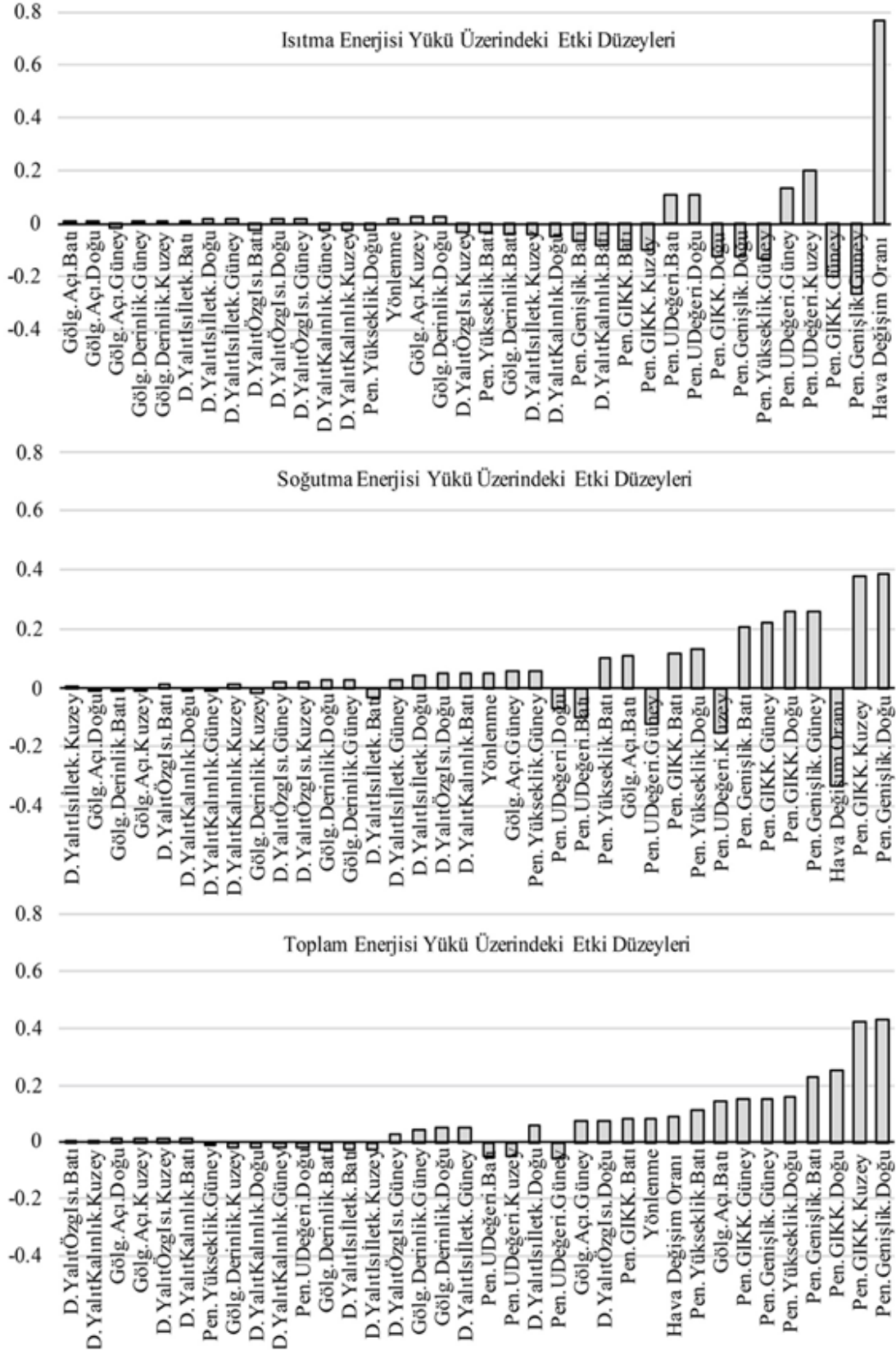
Çalışmada, manzaranın kuzeyde olduğu yerleşimlerde, binanın en geniş cephe açıklığının kuzey yönünde olması sebebiyle binaların enerji kayıpları arttığından, en geniş cephe açıklığının kuzeyde olduğu binalar üzerinde çalışılması hedeflenmektedir. Bu sebeple, taban modelin kuzey cephesindeki saydamlık oranı en geniş şekilde sabit

tutulurken, bu yerleşimlere yönelik bir model alternatifi geliştirilmiştir. Alternatif model, taban modelin kuzey cephesindeki saydamlık oranı %80 olarak belirlenip, diğer tüm özellikler taban model baz alınarak oluşturulmuştur. Alternatif modelin ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri üzerine etkili olan parametreler Şekil 3’de verilmiştir.

Isıtma enerjisi yükleri üzerindeki etkisi en fazla olan parametreler şu şekilde sıralanmaktadır: Hava değişim oranı, pencere genişliği güney cephesi, güneş ısı kazanc katsayısı güney cephesi, pencere toplam ısı geçirime katsayısı kuzey cephesi, pencere toplam ısı geçirime katsayısı güney cephesi, pencere yüksekliği güney cephesi. Soğutma enerjisi yükleri üzerindeki etkisi en fazla olan parametreler şu şekilde sıralanmaktadır:



Şekil 2. Girdi parametrelerinin, taban model ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükü üzerindeki etki düzeyleri (Effect levels of input parameters on base model heating, cooling and total loads)



Şekil 3. Girdi parametrelerinin, alternatif model ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükü üzerindeki etki düzeyleri (Effect levels of input parameters on alternative model heating, cooling and total loads)

Pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı kuzey cephesi, hava değişim oranı, pencere genişliği güney cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı güney cephesi. Isıtma ve soğutma enerjisi toplam yükü üzerindeki etkisi en fazla olan parametreler şu şekilde sıralanmaktadır: Pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı kuzey cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı doğu cephesi, pencere genişliği batı cephesi, pencere yüksekliği doğu cephesi, pencere genişliği güney cephesi. Hassasiyet analizi sonuçlarındaki parametrelerin binanın ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükü üzerindeki etki düzeylerine bakıldığında, taban model ve alternatif model arasında farklılıklar gözlenmiştir. Tablo 5'te taban model ve alternatif model girdi parametrelerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükü üzerindeki etki düzeyleri görülmektedir.

Tablo 5'te görüldüğü üzere taban model ve alternatif modele ait hassasiyet analizi ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerine etki düzeyi kapsamında karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgularda tasarım parametrelerinin ısıtma ve soğutma enerji yüklerine etki düzeyine bakıldığında, taban modelde en önemli parametreler hava değişim

oranı, pencere genişliği güney ve doğu cephesi ve güneş ısı kazanç katsayısı güney ve doğu cephesi değerleri iken, alternatif modelde hava değişim oranı, pencere genişliği güney ve doğu cephesi ve güneş ısı kazanç katsayısı kuzey ve güney cephesi parametreleri öne çıkmaktadır.

Bu alanda yapılan benzer çalışmalara ait bulgular şu şekildedir: Yıldız ve diğerleri, sıcak-nemli iklimde az katlı apartmanda yıllık soğutma enerjisini yükünü etkileyen en hassas parametrelerin, doğal havalandırma, pencere alanı ve güneş ısı kazanç katsayısı olduğunu bulmuşlardır [10]. Gerçek ve Arsan, sıcak-nemli iklimde az katlı apartman binalarının bina kabuğu üzerindeki güneş ısı kazanç katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı parametrelerinin, enerji ve çevresel performans bakımından en etkili parametreler olduklarını bulmuşlardır [11]. Bu irdelemelerden görüldüğü üzere bu çalışmadaki bulgular, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak cephe tasarım parametrelerinin, geniş cephe açıklığının kuzeyde olduğu konut yapılarındaki etkisini analiz etmeye yönelik bir yaklaşıma dayandırılması açısından önem taşımaktadır.

Tablo 5. Taban model ve alternatif model girdi parametrelerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükü üzerindeki etki düzeyleri (Effect levels of base model and alternative model design parameters on heating, cooling and total loads)

Tasarım Parametrelerinin Isıtma Enerjisi Yüküne Etki Düzeyi			
Taban Model		Alternatif Model	
1	Hava Değişim Oranı	1	Hava Değişim Oranı
2	Pencere Genişliği Güney C.	2	Pencere Genişliği Güney C.
3	Pencere Genişliği Doğu C.	3	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Güney C.
4	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Güney C.	4	Pencere Isı Geçirme Katsayısı Kuzey C.
5	Pencere Yüksekliği Güney C.	5	Pencere Isı Geçirme Katsayısı Güney C.
6	Dış Duvar Yalıtım Kalınlığı Batı C.	6	Pencere Yüksekliği Güney C.
7	Pencere Isı Geçirme Katsayısı Doğu C.	7	Pencere Genişliği Doğu C.
8	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu C.	8	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu C.
9	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Batı C.	9	Pencere Isı Geçirme Katsayısı Doğu C.
10	Dış Duvar Yalıtım Kalınlığı Güney C.	10	Pencere Isı Geçirme Katsayısı Batı C.
Tasarım Parametrelerinin Soğutma Enerjisi Yüküne Etki Düzeyi			
Taban Model		Alternatif Model	
1	Pencere Genişliği Doğu C.	1	Pencere Genişliği Doğu C.
2	Hava Değişim Oranı	2	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Kuzey C.
3	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu C.	3	Hava Değişim Oranı
4	Pencere Genişliği Güney C.	4	Pencere Genişliği Güney C.
5	Pencere Genişliği Kuzey C.	5	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu C.
6	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Güney C.	6	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Güney C.
7	Pencere Genişliği Batı C.	7	Pencere Genişliği Batı C.
8	Pencere Yüksekliği Doğu C.	8	Pencere Isı Geçirme Katsayısı Kuzey C.
9	Pencere Yüksekliği Güney C.	9	Pencere Yüksekliği Doğu C.
10	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Batı C.	10	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Batı C.
Tasarım Parametrelerinin Toplam Enerji Yüküne Etki Düzeyi			
Taban Model		Alternatif Model	
1	Pencere Genişliği Doğu C.	1	Pencere Genişliği Doğu C.
2	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu C.	2	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Kuzey C.
3	Pencere Genişliği Kuzey C.	3	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Doğu C.
4	Pencere Genişliği Batı C.	4	Pencere Genişliği Batı C.
5	Pencere Yüksekliği Doğu C.	5	Pencere Yüksekliği Doğu C.
6	Pencere Genişliği Güney C.	6	Pencere Genişliği Güney C.
7	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı (Güney C.	7	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Güney C.
8	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı Kuzey C.	8	Gölgeleme Elemanı Açısı Batı C.
9	Gölgeleme Elemanı Açısı Doğu C.	9	Pencere Yüksekliği Batı C.
10	Hava Değişim Oranı	10	Hava Değişim Oranı

5. Simgeler (Symbols)

Ach	: Air Change Rate
Clo	: Giysi yalıtımı
d	: Kalınlık
idf	: Energy Plus programı çıktı dosyası uzantısı, Instrument Definition File
J	: Joule
kWh	: Kilowatt saat
m ²	: Metrekare
W	: Watt
U	: Isı geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
λ	: Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)

6. Sonuçlar (Conclusions)

Konutların iklimsel tasarım hedefine yönelik olarak tasarlanması, binaların kullanım sırasında daha az enerji harcamasını sağlama ve bununla birlikte enerji ve çevre sorunlarının azaltılmasında ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma, iklimsel tasarımın erken aşamalarında alınan cephe tasarım kararlarının, iki konut modeline ait ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerine etkisinin hassasiyet analizi ile ortaya çıkarılmasına odaklanmıştır. Çalışmada yönelme, pencere genişliği, pencere yüksekliği, güneş ısı kazanç katsayısı, toplam ısı geçirme katsayısı, gölgeleme elemanı derinliği, gölgeleme elemanı açısı, ısı yalıtım malzemesi özgül ısı değeri, ısı yalıtım malzemesi kalınlığı, ısı yalıtım malzemesi ısı iletkenlik değeri, hava değişim oranı parametrelerinin, Samsun ili koşullarında bir taban ve bir alternatif konut modeli olmak üzere iki model üzerinden incelenmiştir.

Çalışmada ele alınan taban modelde tüm cephelerde saydamlık oranı, pencere yüksekliği ve pencere genişliği parametreleri ile incelenmektedir. Alternatif modelde ise kuzey cephe oranı %80 olarak ele alınırken, diğer üç cephedeki pencere yüksekliği ve pencere genişliği parametrelerine değer atanmaya devam edilmiştir. Taban model ile kuzey cephesine %80 saydamlık oranı verilerek geliştirilmiş alternatif modele ait hassasiyet analizlerinde farklılıklar gözlenmiştir. Taban model ve alternatif modelde tasarım parametrelerinin hassasiyet analizinde parametreler ısıtma enerjisi yükü, soğutma enerjisi yükü ve toplam enerji yükü (ısıtma+soğutma) üzerindeki etki düzeylerine göre sıralanmıştır. Isıtma enerjisi yükü üzerindeki en etkili parametreler;

- taban modelde; hava değişim oranı, pencere genişliği güney cephesi, pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı güney cephesi, pencere yüksekliği güney cephesi, dış duvar yalıtım kalınlığı batı cephesi parametreleri iken,
- alternatif modelde; hava değişim oranı, pencere genişliği güney cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı güney cephesi, pencere ısı geçirme katsayısı kuzey cephesi, pencere ısı geçirme katsayısı güney cephesi, pencere yüksekliği güney cephesi, pencere genişliği doğu cephesi parametreleridir.

Soğutma enerjisi yükü üzerindeki en etkili parametreler;

- taban modelde; pencere genişliği doğu cephesi, hava değişim oranı, güneş ısı kazanç katsayısı doğu cephesi, pencere genişliği güney cephesi, pencere genişliği kuzey cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı güney cephesi parametreleri iken,
- alternatif modelde; pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı kuzey cephesi, hava değişim oranı, pencere genişliği güney cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı güney cephesi parametreleridir.

Toplam enerji yükü (ısıtma+soğutma) üzerindeki en etkili parametreler;

- taban modelde; pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı doğu cephesi, pencere genişliği kuzey cephesi, pencere genişliği batı cephesi, pencere yüksekliği doğu cephesi, pencere genişliği güney cephesi parametreleri iken,
- alternatif modelde; pencere genişliği doğu cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı kuzey cephesi, güneş ısı kazanç katsayısı doğu cephesi, pencere genişliği batı cephesi, pencere yüksekliği doğu cephesi, pencere genişliği güney cephesi parametreleridir.

Çalışmada taban model ve alternatif modele ait hassasiyet analizi sonuçları karşılaştırıldığında, parametrelerin etki düzeyi sıralamasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Daha açık bir ifade ile, iklimsel tasarımın hedeflendiği binalarda binanın bulunduğu yeri tanımlayan yerey parçasının yönü, eğimi ve konumu açısından kuzey yönünün hakim olduğu (manzaranın kuzeyde olduğu) yerleşimlerde, binanın en büyük saydamlık oranına sahip cephesinin kuzeye yönelmesi durumunda, üzerine çalışılması gereken öncelikli tasarım parametrelerinin değişiklik gösterdiği sonucu çıkarılmaktadır. Çalışma, manzaranın kuzeyde olduğu konutlarda cephe tasarım parametreleri üzerinde çalışılması açısından literatürdeki diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir. İleride yapılacak çalışmalarda, hassasiyet analizinden elde edilen sonuçlarla, ısıtma ve soğutma enerjisi yüklerini minimize etmeye yönelik optimizasyon çalışması gerçekleştirilebilir. Ayrıca, çalışmada geliştirilen yaklaşımın farklı iklim bölgelerine ve geleceğe dair farklı iklim senaryolarına bağlı analiz yapılması ile konu alanında gelecekte yapılacak çalışmalara temel oluşturacağı açıktır.

Kaynaklar (References)

1. International Energy Agency [IEA]. Key world energy statistics 2021. <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/energy-efficiency>. Erişim tarihi Mart 14, 2022.
2. Berköz, E., Küçükdoğan, M., Yılmaz, Z., ve diğerleri, Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, TÜBİTAK İNTAG201, İstanbul, 1995.
3. Tavares, P.F.A.F., Martins, A.M.O.G., Energy efficient building design using sensitivity analysis. A case study. *Energy and Buildings*, 39 (1), 23–31, 2007.
4. Attia S, Gratia E, De Herde A, Hensen JLM., Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy Build*, 49, 2–15, 2002.
5. Hopfe, C. J., & Hensen, J. L. M., Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. *Energy and Buildings*, 43 (10), 2798–2805, 2011.
6. Saltelli, A., Tarantola, F., Campolongo, F., Ratto, M., Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models, John Wiley & Sons Ltd., 2004.
7. Lam, J.C and Hui, S.C.M., Sensitivity analysis of energy performance of office buildings. *Building and Environment*, 31 (1), 27-39, 1996.
8. Tian, W., A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20 (0), 411-419, 2013.
9. Nguyen, A. T., Sustainable housing in Vietnam: climate responsive design strategies to optimize thermal comfort. Doktora Tezi, Liege Üniversitesi, Liege, Belçika, 2013.
10. Yıldız, Y., Korkmaz, K., Gökşal Özbalt, T., & Durmuş Arsan, Z. An approach for developing sensitive design parameter guidelines to reduce the energy requirements of low-rise apartment buildings. *Applied Energy*, 93, 337–347, 2012.
11. Gerçek, M., Arsan, Z.D., Energy and environmental performance-based decision support process for early design stages of residential buildings under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101580, 2019.
12. Altensis. Design Builder Yazılımı. <https://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software/> Erişim tarihi Ağustos 19, 2021.

13. Energy Plus, https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/TUR//TUR_Izmir.172180_IWEC. Erişim tarihi Aralık 15, 2021.
14. Ulukavak Harputlugil, G., Enerji Performansı Öncelikli Mimari Tasarım Sürecinin İlk Aşamasında Kullanılabilecek Tasarıma Destek Değerlendirme Modeli, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
15. Şenel Solmaz, A., Bina Enerji Performansını Geliştirmede Optimum Çözüm Belirlemeye Yönelik Simülasyon ve Çok Amaçlı Optimizasyon Tabanlı Bir Karar Destek Modeli, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2015.
16. Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., Campolongo, F., Sensitivity Analysis Practices: Strategies for Model Based Inference, Reliability Engineering and System Safety, 91, 1109-1125, 2006.
17. Hansen, H. T. R., Sensitivity Analysis as a Methodical Approach to the Development of Design Strategies for Environmental Sustainable Buildings, PhD Thesis, Department of Architecture and Design and Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Science and Medicine, Aalborg University, Denmark, 141-199, 2007.
18. Nguyen, A. T., Reiter, S., A performance comparison of sensitivity analysis methods for building energy models. Building Simulation, 8 (6), 651-664, 2015.
19. Tian, W., A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 411-419, 2012.
20. Zhang, Y., Korolija, I., Performing complex parametric simulations with jEPlus, SET2010-9th International Conference on Sustainable Energy Technologies, Shanghai-China, 24-27 Ağustos, 2010.
21. Zhang Y., Jankovic L., JEA, An Interactive Optimisation Engine for Building Energy Performance Simulation, IBPSA Building Simulation 2017, San Francisco-USA, 7-9 Ağustos, 2017.
22. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=SAMSUN>. Erişim tarihi Ağustos 10, 2021.
23. Crawley, D., A., Lawrie, L., Climate Files. climate.onebuilding.org. Erişim tarihi Ekim 01, 2021.
24. Türkiye İstatistik Kurumu. Gösterge Uygulaması. <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge/?locale=tr>. Erişim tarihi Ekim 05, 2019.
25. T.C. Resmî Gazetesi (2010). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (No: YİG/2010-02), 27778. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/12/20101207M1-1.htm>
26. SimLab, <http://simlab.jrc.ec.europa.eu/>, Simlab version 2.2 reference manual, European Commission -IPSC, 2008.