



Enerji Etkin Yerleşme Dokusu ve Bina Tasarımına Yönelik Parametrik Bir Model Önerisi: Ilımlı-Nemli İklim Bölgesi

A Parametric Model Proposal for Energy Efficient Settlement Texture and Building Design: Temperate-Humid Climate Zone

İdil ERDEMİR KOCAGİL, Gül KOÇLAR ORAL

EXTENDED ABSTRACT

Energy consumption in urban areas is constantly increasing to satisfy human needs that are shaped in line with developing technology and changing life conditions. Currently, urban areas account for three-quarters of global primary energy use and 70% of the world's greenhouse gas emissions (UN-Habitat, 2020). It is extremely important to transform existing urban settlements considering energy-efficient solutions to keep the natural balance for ensuring a more sustainable world. Thus, the design of settlements is held responsible not only for the development of common urban spaces but also for the energy performance of buildings depending on the complex settlement geometry. Therefore, many different variables should be integrated into the settlement design process to provide optimum conditions for buildings by reducing heating, cooling, and lighting energy consumption. Regarding this goal, the proposed model aimed to reveal the interaction between settlement geometry and building form with a parametric approach by comparing the impact level of each design parameter related to settlement and building on building energy performance at different scales. A performance-oriented simulation method was used to assess settlement scenarios generated from simplified urban geometries to narrow down design options regarding the principles of early design stage exploration and iteration. The approach was implemented in Istanbul (temperate-humid climate), where ongoing urban renewal has already been changing existing settlement textures and increasing urban density, for making a significant contribution to the country's economy by offering sustainable measures. In this framework, a four-staged model has been proposed to develop suitable design solutions via the determination of energy-efficient values for the design parameters providing minimum energy consumption for a reference building in settlement texture. At the first stage, parameters related to climate, user, settlement texture, building, and active building sub-systems were defined based on the result of detailed research regarding related standards, regulations, and statistical data to establish reference building. At the second stage, as the outcome of the various combinations of identified values for design parameters related to settlement texture and building (plan type, number of floors, H/W ratio, settlement type), 18 settlement scenario alternatives composed of exactly identical buildings were generated. In the third stage, the effect of each design parameter on building energy performance was evaluated by calculating annual heating, cooling and lighting energy consumption per module for reference building defined in scenarios. Within this scope, respectively, the design parameters related to settlement and building (plan type, number of floors, H/W ratio, and settlement type), building envelope (opaque envelope layering and transparency ratio) and building control systems (solar control) were analysed from upper scale to lower scale by presenting the results comparatively to reveal energy efficiency level obtained from each design alternatives. In the fourth stage, due to the inability to determine the absolute solution in urban design (Oke, 1988), the data obtained as a result of the comprehensive evaluations were compiled for Istanbul in a sample application format on how decisions to be taken for the design parameters affect the energy performance of the building. The study revealed that heating energy consumption of buildings in the temperate-humid climate zone is higher than cooling energy consumption due to shorter cooling periods and then lighting energy consumption due to less need for artificial lighting in the residential buildings. In other words, various applications of design solutions aiming to reduce the heating energy consumption of buildings for the settlements to be developed in Istanbul are beneficial regarding the increase in energy efficiency level. In this respect, it was found that square plan due to more compact form than rectangular, pavilion due to higher amount of solar radiation gain through three façades than slabs, higher buildings due to better solar access than lower buildings and lower H/W ratios due to wider distance between buildings than higher H/W ratios ensured lower heating energy consumption for buildings. According to the results, in the settlements established based on proper decisions taken during the preliminary design process, a decrease of up to 26% was achieved in the total energy consumption of the building compared to other alternatives. In addition, it has been determined that the energy performance of buildings can be improved up to 19% with the integration of building envelope optimisation and solar control systems. Consequently, this approach has an opportunity to bridge an existing gap by synthesising best practices for decision-makers based on building energy performance objectives and energy-efficient design solutions by contributing to developing comprehensive awareness that will lead to a more sustainable built environment.

Keywords: Building energy performance; design parameters; energy efficiency; residential building design; settlement texture.

Bu makale, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalında İdil ERDEMİR KOCAGİL tarafından Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL danışmanlığında hazırlanan Konut Yerleşmelerinin Tasarımında Enerji ve Gün Işığı Etkinliğini Hedefleyen Parametrik Bir Model Önerisi: İstanbul Örneği başlıklı doktora tezi çalışmasından üretilmiştir.

Istanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul

Başvuru tarihi: 06 Eylül 2021 - Kabul tarihi: 11 Ekim 2021

İletişim: İdil ERDEMİR KOCAGİL. e-posta: erdemiridil@gmail.com

© 2021 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2021 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

ÖZ

Kentsel yerleşmeler küresel enerji tüketiminin önemli bölümlerinden sorumlu oldukları için yeni geliştirilecek yerleşmelerin enerji etkin olarak tasarlanması güncel ve önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda çalışmada enerji etkin yerleşme dokusu ve bina tasarımına yönelik geliştirilen parametrik bir model önerisinin sunulması amaçlanmıştır. Modelde tasarım parametrelerinin bina enerji tüketimi üzerindeki etki düzeylerini değerlendirmek için performans odaklı bir simülasyon yöntemi kullanılarak tasarım aşamasına yönelik uygun çözümlerin üretilmesi hedeflenmiştir. Önerilen model, ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan ve hızlı bir kentsel dönüşüm sürecinden geçen İstanbul için uygulanmıştır. Belirlenen yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametrelerinin (plan tipi, kat sayısı, H/W oranı, yerleşme tipi) kombinasyonlarıyla 18 senaryo alternatifi üretilerek farklı ölçeklerde (yerleşme, bina, bina kabuğu, kontrol sistemleri) alınan tasarım kararlarının referans binanın enerji performansına etkileri analiz edilmiştir. Yerleşmelerin geometrisi, binaların birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak güneş erişim düzeylerini kontrol etmekte ve enerji performansını etkilemektedir. İstanbul için konutlarda ısıtma enerjisi tüketimi soğutma ve aydınlatma enerjisine kıyasla yüksektir; dolayısıyla, ısıtma enerjisi tüketiminin azaltılabilmesi için yüksek güneş erişimi sağlayan düşük H/W oranlarına sahip ve ayrıklı nizamda konumlanmış binaların yer aldığı yerleşme dokuları öne çıkmaktadır. Enerji analizlerine göre, tasarım sürecinde alınan doğru tasarım kararlarıyla kurulan yerleşmelerde diğer alternatiflere kıyasla toplam enerji tüketiminde %26 oranına varan düşüş sağlanmış; bina kabuğu optimizasyonu ve güneş kontrol sistemlerinin entegrasyonu binaların enerji performansının %19 oranına kadar iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Yüksek enerji performansına sahip binalar ve sürdürülebilir yerleşmelere yönelik olarak tasarım kararlarının önemini vurgulayan bu çalışmada sunulan yaklaşım, karar verici paydaşlar için alternatif uygulamaları sentezleyerek kentsel planlama alanındaki mevcut boşluğun doldurulmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar sözcükler: Bina enerji performansı; enerji etkinliği; konut binası tasarımı; tasarım parametreleri; yerleşme dokusu.

Giriş

Globalleşme etkisiyle toplumların değişen kültürel ve sosyal dinamikleri nedeniyle nüfusun büyük bölümünün şehirlerde yoğunlaşması, kentleşme oranının hızla artmasına neden olmuştur. Nüfus ve kentleşme oranlarındaki mevcut artışla birlikte küresel kentsel alanların 20. yüzyılın başına göre üç kat artacağı ve 2050 yılına kadar küresel nüfusun üçte ikisinin kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir (UN DESA, 2014). Bu yoğunlaşmanın yanı sıra insanların hayat standartlarındaki değişimler, kentsel alanların enerji tüketimini artırmaktadır. Bugün kentsel alanlar toplam küresel birincil enerji kullanımının dörtte üçünden ve küresel sera gazı emisyonlarının %70'inden sorumludur (UN-Habitat, 2020). Kentsel alanlarda yaygın olarak kullanılan fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve yüksek enerji harcaması sonucunda ortaya çıkan yüksek sera gazı emisyonu oranlarına yakın gelecekte önlem alınmazsa küresel ısınma sorununun önüne geçmek mümkün olmayacaktır. Bu nedenle mevcut kentsel alanların hızla sürdürülebilir olarak dönüştürülerek yeni yerleşmelerin enerji etkin olarak tasarlanması, bu hususta en doğru çözüm olarak görülmektedir.

Kentsel yerleşmelerin çevresel açıdan sürdürülebilir koşullar sağlayabilmesi için kompleks geometrilerine bağlı olarak uzun yıllar boyunca binaların enerji harcamaları üzerinde etkili olacakları tasarım sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle yerleşme tasarımı sürecine birçok farklı bileşen entegre edilerek aralarında bir denge sağlanmalıdır. Özellikle yerleşme dokuları içinde yer alacak binaların enerji harcamalarını minimize etmek amacıyla enerji etkin tasarım parametrelerine uygun değerler tanımlayarak optimum performans sağlayacak çözümlerin üretilmesi önemlidir. Stromann-Andersen ve Sattrup,

yerleşme geometrisinin toplam enerji tüketimi üzerinde konut binalarında %19'a, ofis binalarında %30'a varan bir etkiye sahip olduğunu göstererek tasarımın önemini ortaya koymuşlardır (Stromann-Andersen ve Sattrup, 2011). Ancak yerleşme tasarımında çok sayıda değişken olduğu için genellemeler yaparak sınırsız alternatif arasında mutlak doğruya ulaşmak mümkün değildir (Oke, 1988). Bunun yerine her yerleşme için analizler doğrultusunda tasarım parametrelerine uygun değerler tanımlayarak, alternatifli çözümler üretmeye yönelik yaklaşımlar izlenmelidir.

Bu çalışmada, yerleşme dokusu ve bina tasarımının bina enerji performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen parametrik bir model sunulmaktadır. Çalışmanın hedefi; gerçek karmaşık yerleşme dokularının parametrik bir yaklaşımla basitleştirilmesi ve tanımlanan tasarım parametrelerinin bina enerji tüketimine etkilerinin senaryolar aracılığıyla analiz edilmesidir. Bu model, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde yeni açılan ve dönüşüme giren kentsel alanların enerji etkin olarak tasarlanmasına yönelik veriler sunarak sürdürülebilirlik çerçevesinde çevresel katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Literatür Özeti

Son dönemlerde bina enerji performansının yerleşme dokusuna bağlı olarak analiz edilebilmesi amacıyla yerleşme ve bina tasarımlarının etkileşimini inceleyen çalışmalar önem kazanmıştır. Çalışmalarda yerleşme geometrisi tarafından tanımlanan güneş erişimi düzeyi bina enerji tüketimini etkileyen bir faktör olarak açıklanmaktadır. Bu kapsamda binaların güneş erişiminin yerleşme geometrilerini tanımlayan tasarım parametreleriyle ilişkisi değerlendirilirken H/W oranı, yerleşme tipi, yönlenme ve bina formu etkili parametreler olarak ele alınmaktadır.

Yerleşmelerin bina performansı üzerindeki etkilerini tanımlayan temel geometri, binalar arası etkileşimin temelini oluşturan ve doğal kanyonlara benzer geometrik özellikleri nedeniyle “kent kanyonu” olarak adlandırılan bina yüksekliği (H) ve sokak genişliği (W) arasındaki ilişkidir. Bu kavramı ilk ortaya koyan araştırmacılar Oke, iki boyutlu kesitte kavşakları ihmal ederek sokak eksenini boyunca binaların yarı-sonsuz uzunlukta olduğu varsayımıyla kent kanyonunu basit bir geometriyle tanımlamış ve kent kanyonlarının derinliklerine (H/W) ve yönlendirilmelerine bağlı olarak binaların güneş erişimini etkilediğini belirtmiştir (Oke, 1988). Kent kanyonunun derinliği H/W oranının 1,00’e eşit olması durumunda üniform, 0,50’den küçük olması durumunda sığ ve 2,00’ye eşit olması durumunda derin olarak sınıflandırılmaktadır (Ahmed ve ark., 2005). Kanyon derinliğinin etkilerini analiz eden çalışmalarda Van Esch ve arkadaşları sokak genişliklerinin 5 metre artırılmasıyla ortaya çıkan daha sığ kent kanyonlarındaki binalarda kışın %19, yazın %25 oranında daha yüksek güneş radyasyonu kazancı sağlandığı sonucuna varırken, Ali-Toudert dar sokaklardan oluşan derin kent kanyonlarındaki binaların güneş ışınımı kazancının azalmasına bağlı olarak soğutma yüklerinin önemli oranda düştüğünü tespit etmiştir (Van Esch ve ark., 2012; Ali-Toudert, 2009). Ratti ve arkadaşları çalışmalarında, ılıman iklim bölgelerinde uygun olarak tasarlanmış yerleşme dokuları sayesinde optimum düzeyde güneş ışınımı kazancı sağlayan binalarla toplam enerji harcamalarında %10 oranında tasarruf sağlamışlardır (Ratti ve ark., 2005).

Yerleşme tipinin ve yönlenmesinin binaların enerji harcamaları üzerindeki etkileri ele alındığında Vartholomaios, Akdeniz ikliminde kompakt formda olan avlulu tipte yerleşmelerin, sıra blok ve nokta blok yerleşmelerine kıyasla daha düşük enerji tükettiklerini ve yapı bloklarının uzun kenarlarının güneşe yönlendirilmesinin sonuçları olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur (Vartholomaios, 2017). Sıcak iklim bölgelerinde Omar ve arkadaşları, yerleşme tiplerini kıyaslayarak sıra blokların daha düşük güneş ışınımı kazançlarına bağlı olarak nokta bloklara kıyasla %28 oranında daha az enerji harcadıklarını tespit etmişlerdir (Omar ve ark., 2015). Tropikal iklim bölgelerinde 30 farklı kentsel blok tipolojisinin performansını test eden Zhang ve arkadaşları, yerleşme tipinin binaların güneş enerjisinden yararlanma potansiyelinde iki katına varan artışa ve toplam enerji harcamalarında %25 oranına varan düşüşe yol açabileceğini göstermişlerdir (Zhang ve ark., 2019). Soğuk iklim için yapılan çalışmalarda Kanters ve Horvat (2021) İsveç’te komşu binaların konumlarının yerleşme tipine bağlı olarak binaların güneş enerjisinden yararlanma potansiyellerini %75 oranına kadar etkileyebileceğini belirtmişlerdir (Kanters ve Horvat, 2021). Kuzey yarımküre için birim alan başına düşen güneş ışınımı miktarını maksimize etmek bakımından cephe ve çatı için en uygun yönlendirme güney yönüdür. Yapılan çalışmada yaz döneminde so-

ğutma yükünü azaltmak amacıyla güneş ışınımı kazançlarını düşürmek için cephenin güneyden batıya doğru 60 derecelik açıyla yönlendirilmesinin, kış dönemindeki güneş ışınımı kazançlarında %50 oranında azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir (Hachem ve ark., 2011).

Yerleşme dokusu içindeki binaların komşu binalarla kurdukları geometrik ilişkinin yanı sıra binaya ilişkin tasarım parametrelerinin de güneş erişimi üzerinde etkisi vardır. Gupta, güneş ışınımı kazançlarının binaya ilişkin tasarım parametrelerinden bina formu, saydamlık oranı ve bina yönlendirilişine bağlı olarak değişiklik göstereceğini açıklarken, sıcak-kuru iklim bölgeleri için kompakt binalarının termal açıdan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir (Gupta, 1987). Binaya ilişkin tasarım parametrelerinin pasif ısıtma stratejileri bakımından verimliliği analiz edildiğinde saydamlık oranının artırılmasının ve opak bina kabuğunun ısı yalıtım düzeyinin iyileştirilmesinin her durumda pasif performansı artırmadığı ve bina kabuğu tasarımının ısı kazanç-kayıp dengesi dikkate alınarak yapılması gerektiği belirlenmiştir (Van Esch ve ark., 2012). Natanian ve arkadaşları, binalarda saydamlık oranının yükseltilmesi ile gün ışığı performansının artmasına bağlı olarak aydınlatma yüklerinin azaldığını; derin kent kanyonlarında yer alan binalarda ise yüksek gölgeleme etkisi sonucu soğutma yüklerinin düşük çıkmasına karşın gün ışığı performansı ve güneş radyasyonu kazançlarının olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir (Natanian ve ark., 2019). Bu bağlamda güneş ışınımı kazançlarını optimize etmek için kış döneminde güneş ışınımı kazancı maksimize edilirken, yaz döneminde pasif olarak soğutma yüklerinin azaltılabilmesi için uygun güneş kontrolü sistemleri binaya entegre edilmelidir. Allegrini ve arkadaşları, yerleşme dokusu içindeki ve dokudan bağımsız konumdaki binalara uygulanan güneş kontrolü stratejilerini karşılaştırmış ve daha yüksek güneş ışınımına maruz kalmalarına bağlı olarak soğutma yüklerini azaltmak amacıyla yerleşme dokusundan bağımsız olan binaların güneş kontrol elemanlarının %10-50 aralığında daha uzun süre kapalı kaldığı sonucuna varmıştır (Allegrini ve ark., 2016).

Bu alanda gerçekleştirilen birçok çalışmada yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametrelerinin bina enerji tüketimi üzerindeki etkileri yaygın olarak analiz edilmiştir; ancak görüldüğü üzere çalışmalar genellikle belli bir bölge veya alana yönelik olarak yapılarak spesifik sonuçlar sunmaktadır. Bu nedenle sonuçların kentsel dönüşüm süreçlerinde daha yaygın olarak uygulanabilmesi amacıyla çalışmaların farklı iklim bölgeleri, bina tipolojileri ve fonksiyonlarına uygun olarak çeşitlendirilmesi gereklidir. Bu doğrultuda, kentsel dokuların tasarım parametrelerini sistematik halde kavramsallaştırarak farklı alternatifler geliştirmek ve bunların enerji etkinliği düzeylerini ortaya koymak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada geliştirilen enerji etkin yerleşme dokusu ve bina tasarımına yönelik

modelin, yüksek enerji tüketen konut stokuna sahip olmasının yanı sıra hızla büyüyen ve sürekli bir kentsel dönüşüm süreci içinde olan İstanbul için uygulanması ve sonuçların üretilecek yeni yerleşmelerde sürdürülebilir planlama stratejileri olarak sunulması hedeflenmektedir. İstanbul için yapılan önceki çalışmalarda yerleşme ve binaya ilişkin tasarım parametrelerinin bina enerji performansı üzerindeki etkisi farklı açılardan ele alınarak sonuçlar enerji, maliyet ve dış mekân konforu bakımından değerlendirilmiş ve yerleşme tasarımının bina performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ortaya konulmuştur. İstanbul'un mevcut kent dokularını referans alarak üretilen 24 yerleşme alternatifinde yer alan binaların üç farklı opak kabuk katmanlaşmasıyla yapılan analizleri sonucunda, bina kabuğu katmanlaşmasının %51,7'ye, yerleşme dokusu tasarımının ise %44,7'ye kadar bina enerji tüketiminde azalma sağlayabileceğini tespit etmişlerdir (Beyaztaş ve Koçlar Oral, 2020). Yerleşme tasarımı enerji, maliyet ve dış mekân konforu üzerinden ele alındığında İstanbul'da ısıtma istenen dönemin soğumaya göre daha uzun olması nedeniyle ısıtma enerjisi tüketiminin toplam enerji tüketimi ve maliyetler üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı opak bina kabuğu alternatifleri için yapılan hesaplamalar ısıtma enerjisi tüketimini düşürmek için uygulanacak yalıtım katmanının kalınlığının maliyet açısından da analiz edilerek optimize edilmesinin sürdürülebilirlik açısından önemini göstermiştir (Mangan ve ark., 2020). Yerleşme ve binaya ilişkin çeşitli tasarım parametrelerinin farklı kombinasyonlarıyla üretilen 120 yerleşme alternatifi analiz edildiğinde ise konut binasının enerji ve maliyet performansı üzerinde bina yüksekliği ve H/W oranının yönlenmeden daha etkili olduğu belirlenmiştir (Mangan ve ark., 2021). Bu çalışmada ise daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak binaların enerji performansı düzeylerinin yerleşme geometrisinin tanımladığı güneş erişimi miktarına bağlı olarak analiz edilmesi ve üst ölçekten alt ölçeğe yerleşme dokusu (yerleşme tipi ve H/W oranı) ve binaya (plan tipi, kat sayısı, opak bina kabuğu, saydamlık oranı ve kontrol sistemleri) ilişkin farklı ölçeklerdeki tasarım parametrelerinin etkilerinin birlikte değerlendirilmesi hedeflenmektedir. İstanbul'a uygun olarak seçilen tasarım parametrelerinin enerji performansına etkilerinin sunulduğu çalışmanın kentsel dönüşüm sürecine katılacak paydaşlara enerji etkinliği doğrultusunda yol gösteren bir kaynak niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

Metodoloji

Modelin amacı, enerji etkin yapma çevrelerin tasarlanmasında doğru kararların alınmasını sağlayacak örnek verilerin kapsamlı bir yaklaşım esasına dayalı olarak hazırlanması ve sunulmasıdır. Bu çerçevede tasarım parametreleri için enerji etkin değerlerin tanımlanmasında, ele alınan yerleşme dokusunda referans bir binanın minimum enerji harcamasına yönelik olarak uygulanabilir alternatiflerin ge-

liştirilmesi öngörülmektedir. Bu kapsamda kurulacak yeni yerleşmelere veri sağlamak amacıyla aynı tasarım değerlerine sahip binalardan oluşan farklı yerleşme dokusu senaryolarının geliştirilmesi ve seçilen tasarım parametrelerinin bina enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak sunulması hedeflenmektedir.

Modelin uygulanmasına yönelik olarak Şekil 1'de verilen adımları sırasıyla şu şekildedir:

1. Tasarım parametrelerinin tanımlanması: İklim ve dış çevreye ilişkin, kullanıcıya ilişkin, yerleşme dokusu ve binaya ilişkin ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin tasarım parametreleri için değerlerin belirlenmesi.
2. Yerleşme dokusu senaryolarının geliştirilmesi: Tanımlanan bir varsayımsal alan üzerine aynı tasarım parametrelerine sahip binaların yerleştirilmesiyle farklı yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi.
3. Geliştirilen senaryoların enerji performansı analizleri: Yerleşme dokusu senaryolarında belirlenen referans binanın enerji performansının analiz edilmesi.
4. Öneriler sunulması: Elde edilen sonuçlara bağlı olarak enerji etkin yerleşme dokusu ve bina tasarımına yönelik önerilerin sunulması.

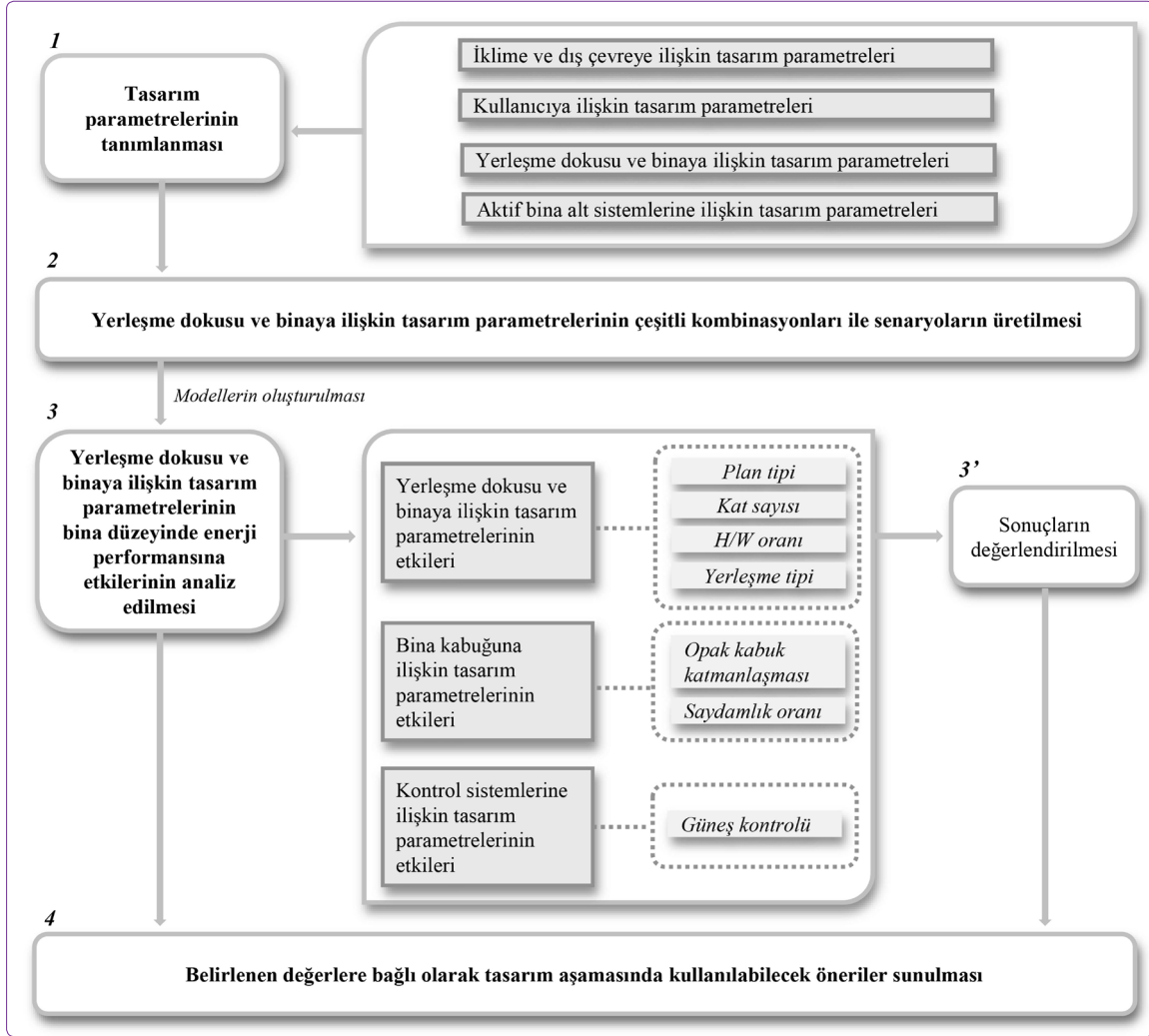
Bu model basitleştirilmiş parametrik bir yaklaşımla yerleşme dokularının binalarla kurdukları kompleks ilişkileri, üst ölçekten alt ölçeğe yerleşme dokusu ve binaya ilişkin her bir tasarım parametresinin bina enerji performansı üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Yerleşme ve binalarda ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimlerinin azaltılması, tasarım parametreleri için değerlerin iklim uygun olarak belirlenmesiyle mümkün olabilmektedir. Bu açıdan geliştirilen model, ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul için uygulanmıştır.

Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması

Modelin uygulanacağı İstanbul ili için enerji etkin yerleşme dokusu ve bina alternatifleri sunabilmek amacıyla tasarım parametrelerine detaylı analizler sonucu belirlenen değerler tanımlanmıştır. Bu kapsamda ulusal ve uluslararası standartlar, yönetmelikler ile Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) elde edilen istatistiksel verilere dayalı olarak iklim ve dış çevreye ilişkin, kullanıcıya ilişkin, yerleşme dokusu ve binaya ilişkin ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin parametreler tanımlanmıştır.

İklim ve Dış Çevreye İlişkin Tasarım Parametreleri

İstanbul, yapılan araştırmalarda Türkiye'nin ılımlı-nemli iklim kuşağının karakteristik özelliklerini temsil eden pilot şehir olarak belirlenmiştir (Berkoz ve ark., 1995). Çalışma kapsamında İstanbul ili için dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, güneş ışınımı ve rüzgârdan oluşan dış iklim ilişkili veriler, "Tipik Meteorolojik Yıl (TMY)" formatında Meteorolog 7.0 isimli iklim verileri elde etme programı yardımıyla oluşturulmuştur. İç mekân iklimine ilişkin tasarım



Şekil 1. Çalışmada önerilen modelin akış şeması.

parametreleri kapsamında ısıtma istenen dönemde iç hava konfor sıcaklığı 20°C, ayar sıcaklığı 13°C; soğutma istenen dönemde ise iç hava sıcaklığı konfor değeri 26°C, ayar sıcaklığı 32°C olarak kabul edilmiştir (T.C. Resmi Gazetesi, 2010). Soğutma istenen dönemde doğal havalandırmanın aktif konumda olacağı kabul edilmiş ve kişi başına düşen minimum taze hava miktarı 10 L/s olarak tanımlanmıştır (Çilingiroğlu, 2010).

Kullanıcıya İlişkin Tasarım Parametreleri

Kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri, hesaplamalarda yaşama mekânı koşulları ve iklimsel konfor koşulları dikkate alınarak referans binaya ilişkin kullanıcı yoğunluğu 0,04 m²/kişi ve aktivite düzeyi 110 W/kişi olarak tanımlanmıştır (ASHRAE, 2010; TÜİK, 2013). Kullanıcı giysi tipi, ısıtma istenen dönem için 1,00 clo ve soğutma istenen dönem için 0,50 clo olarak belirlenmiştir.

Yerleşme Dokusu ve Binaya İlişkin Tasarım Parametreleri

Bu çalışmada, yapma çevre tanımlanırken yerleşme dokusu, bina formu, bina kabuğunun optik ve termofiziksel

özellikleri ve bina kontrol sistemleri gibi enerji verimliliğinde etkili olan yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametreleri dikkate alınmıştır. İlgili parametrelere dair varsayımlar ve değerler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliklerinde tanımlanan mimari tasarım ilkelerine ve minimum standart sınıflandırmalarına uygun olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan model tasarım parametrelerinin bina performansı ile ilişkisini araştırmayı hedeflediği için parametrik değişkenliği kontrol edebilmek amacıyla kentsel yerleşmelerde rastlanan üniform yerleşme dokusu senaryoları geliştirilmiştir. Bu amaçla çalışma alanı İstanbul ilinde yer alan 30.000 m²'lik düz bir arazi olarak tanımlanmıştır. Farklı yerleşme dokularının güneş ışınlamı ve enerji tüketimine etkilerini araştırmak üzere 1,00 ve 2,00 olarak iki farklı H/W oranı (bina yüksekliklerinin bina aralıklarına oranı) değeri seçilmiştir.

2006 yılından beri bina sektöründe faaliyet gösteren Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından inşa edilmiş toplu konut projeleri taranmış ve Türkiye'de üretilen tipik

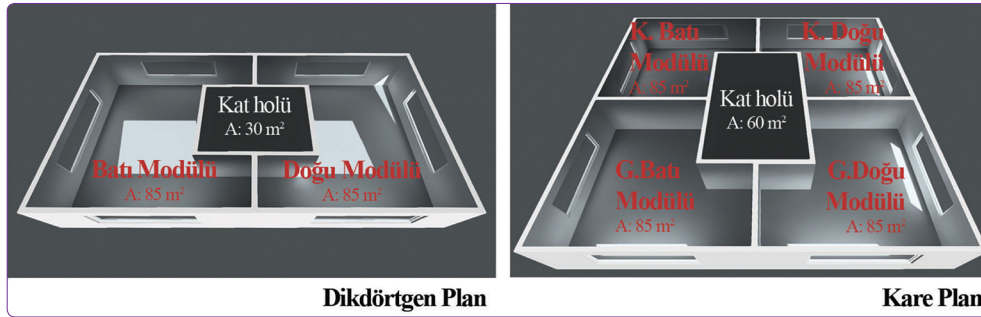
konut modelinden elde edilen veriler çalışmada kullanılan bina formları için referans alınmıştır. Bu incelemeye dayanarak çalışmada 100 m² brüt alana sahip konut modüllerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Binaların plan tipi dört modülden oluşan biçim faktörü (plandaki bina uzunluğu/ bina derinliği) 1,00 olan kare plan ve iki modülden oluşan biçim faktörü 2,00 olan dikdörtgen plan olarak tanımlanmıştır (Şekil 2). Bina formu alternatifleri ise kat yüksekliği 3 m olarak kabul edilerek 5 (15 m), 10 (30 m) ve 15 (45 m) katlı üç farklı bina yüksekliği belirlenerek türetilmiştir (Şekil 3).

Bina formunun yerleşme dokusuyla kurduğu etkileşimi araştırmak için çalışmada iki arketipik yerleşme tipolojisi analiz edilmiştir: nokta blok ve sıra blok (Şekil 4). Senaryolar kare ve dikdörtgen taban planlı binalar kullanarak nokta blok yerleşimi, dikdörtgen taban planlı binalar kullanarak sıra blok yerleşimi olarak üretilmiştir.

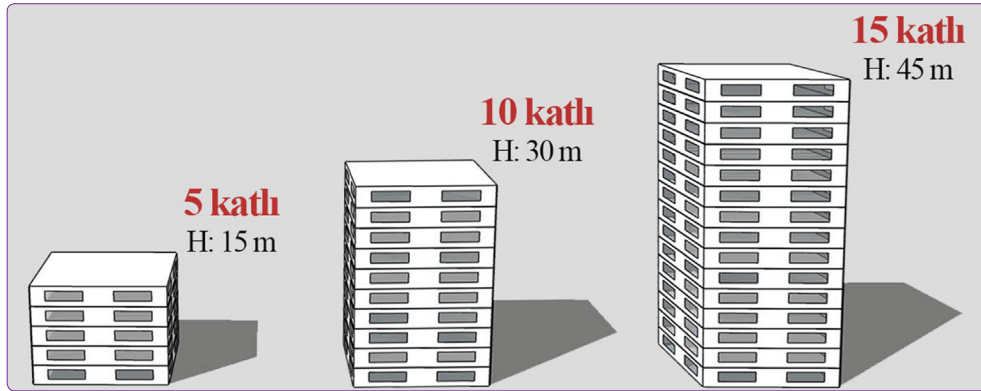
Tanımlanan opak ve saydam bileşenlere ilişkin katmanlaşma detayları, TS 825'te (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı) İstanbul ili için belirtilen limit değerlere uygun olarak oluşturulmuştur (TSE, 2008). Referans bina modelinin katmanlaşma detayları, opak ve saydam bileşenler için hesaplanan U değerleri (W/m²K) ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir.

Aktif Bina Alt Sistemlerine İlişkin Tasarım Parametreleri

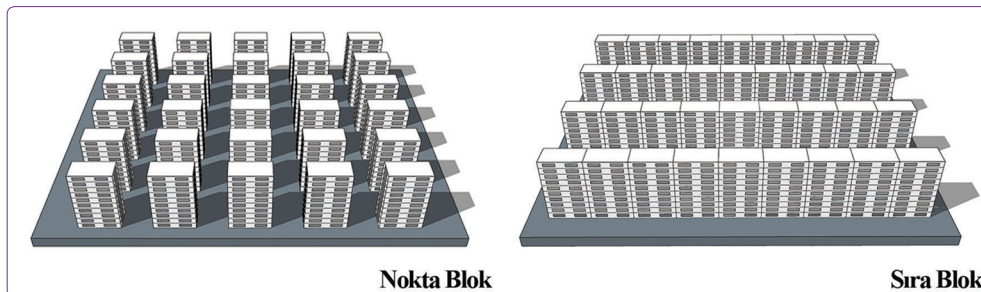
Çalışmada konut binası ele alındığı için aktif bina alt sistemleri kapsamında kullanılan ısıtma sistemi, enerji türü doğal gaz olan çatı katı yoğunlaşmalı kazan tipli merkezi sistem olarak belirlenmiştir. Çalışmada elektrik enerjisiyle çalışan 4,50 performans katsayısına (COP değerine) sahip soğutma sistemi kullanılmıştır. Konut modüllerindeki yapma aydınlatma sisteminde üç kademeli kontrolle çalışan LED lambalar kullanılarak hedeflenen minimum aydınlık düzeyi 100 lux olarak tanımlanmıştır (IESNA 2011).



Şekil 2. Analiz edilen kare ve dikdörtgen plan tipine ait kat planları.



Şekil 3. Analiz edilen alternatif bina kat sayıları.



Şekil 4. Analiz edilen nokta blok ve sıra blok yerleşim tipleri.

Tablo 1. Referans binaya uygulanan opak ve saydam bina kabuğu bileşenlerine ait katmanlaşma detayları**Referans bina kabuğu katmanlaşma detayları**

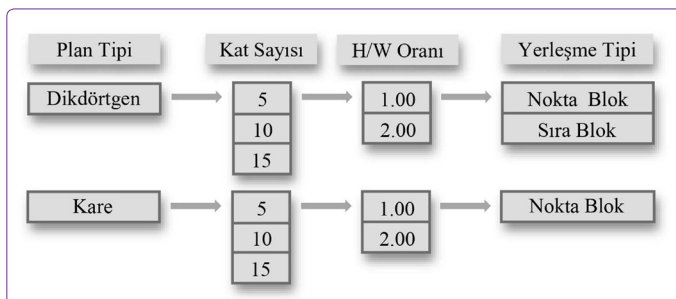
Bileşen Adı	Katmanlaşma (dışarıdan içeri doğru)	U-değeri (W/m ² K)
Dış duvar	0.6 cm anorganik esaslı dış sıva + 5 cm taşıyünü + 3 cm çimento esaslı sıva + 19 cm delikli tuğla + 2 cm alçı sıva	0.57
Zemine oturan döşeme	100 cm betonarme + 3 cm tesviye betonu + 4 cm XPS + 4 cm koruma betonu + 5 cm katkı + şap + 1 cm parke	0.53
Düz çatı döşemesi	çakıl + 2 cm keçe + 8 cm XPS + bitümlü membran + 4 cm koruma betonu + 14 cm betonarme + 2 cm alçı sıva	0.38
Pencere	6 cm PVC çerçeve + 0.4 cm Low-e kaplamalı cam + 1.2 cm hava boşluğu (argon) + 0.4 cm Low-e kaplamalı cam	1.40

Yerleşme Dokusu Senaryolarının Geliştirilmesi

Senaryolar tanımlanan varsayımsal alan üzerine tamamen aynı tasarım parametrelerine sahip binaların yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her senaryo için H/W oranına bağlı olarak bina sayısı değişse de yerleşmeler en az 3 x 3 matris dizilimine sahip dokuz yapıdan oluşacak şekilde düzenlenmiştir. Bu matrisin merkezinde yer alan bina "referans bina" olarak belirlenmiş ve bu binanın enerji analizleri yapılarak senaryoyu tanımlayan tasarım parametrelerinin etkileri değerlendirilmiştir. Senaryoların geliştirilmesi için kullanılan plan tipi (kare/dikdörtgen), kat sayısı (5/10/15), H/W oranı (1,00/2,00) ve yerleşme tipi (nokta blok/sıra blok) parametreleri Şekil 5'te verilen sırayla tanımlanarak, çalışma kapsamında analiz edilmek üzere 18 senaryo alternatifi geliştirilmiştir (Şekil 6). Yönlendiriliş durumunun etkisi kapsama dahil edilmeyerek çalışma öncesinde yapılan detaylı analizler sonucu senaryolar için elde edilen sonuçlara bağlı olarak referans binanın en düşük toplam enerji harcamasına sahip olduğu yönlendiriliş durumu değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre dikdörtgen planlı binaların yer aldığı senaryolarda arazinin uzun kenarları kuzey-güney doğrultusunda, kare planlı binaların yer aldığı senaryolarda ise arazinin kısa kenarları kuzey-güney doğrultusunda yönlendirilmiştir.

Senaryoların Enerji Performansı Analizleri

Çalışmada yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametrelerinin bina enerji performansı üzerindeki et-

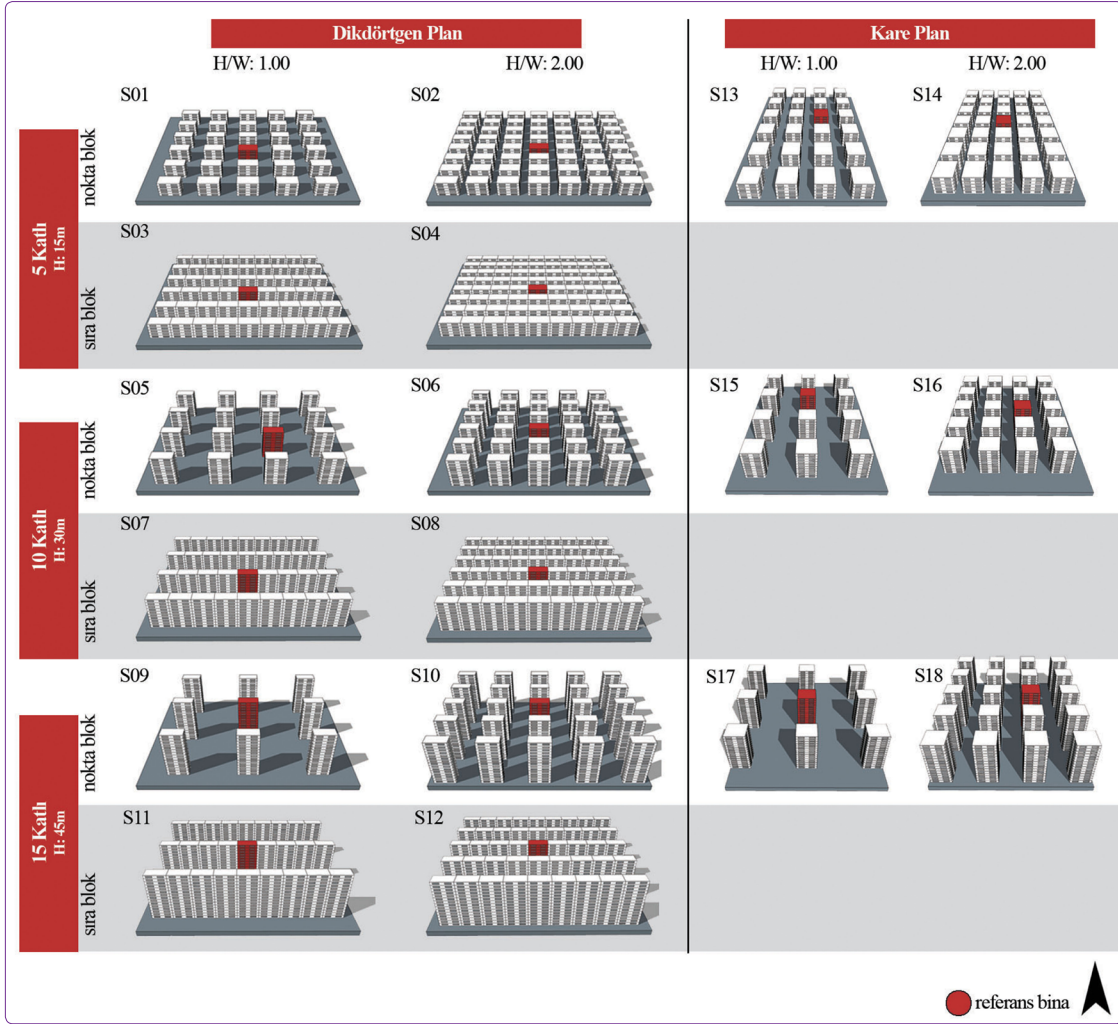
**Şekil 5.** Senaryoların tanımlanmasında kullanılan parametreler.

kilerini kapsamlı olarak ortaya koyabilmek için geliştirilen 18 senaryoda tanımlanan referans binanın (Şekil 6) enerji performansı analiz edilmiştir. Enerji performansı değerlendirmeleri için senaryolarda yer alan referans binanın yıllık enerji tüketimi ve güneş ışınımı kazançları EnergyPlus ısı simülasyon motorunun arayüzü DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar referans binada yer alan bir modül başına düşen ortalama değer olarak verilmiştir. Senaryolara ilişkin bina enerji performansı analizleri kapsamında;

- nihai enerji tüketimine ilişkin olarak ısıtma enerjisi tüketimi, soğutma enerjisi tüketimi, aydınlatma enerjisi tüketimleri, toplam (ısıtma + soğutma + aydınlatma) enerji tüketimi (kWh/modül/yıl),
- güneş ışınımı kazancına ilişkin olarak saydam bina kabuğundan elde edilen toplam direkt ve yaygın güneş ışınımı miktarı (kWh/modül/yıl) sonuçları verilmiştir.

Bina enerji analizleri, belirlenen tasarım parametrelerinin bina enerji performansı üzerindeki etkisini üst ölçekten alt ölçeğe doğru detaylı olarak değerlendirebilmek amacıyla aşağıda açıklanan üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. Yerleşme dokusu ve bina ölçeğine ilişkin tasarım parametreleri; senaryoların geliştirilmesini sağlayan yerleşme ve bina ölçeğine ilişkin tasarım parametrelerinden plan tipi, kat sayısı, H/W oranı ve yerleşme tipine ait belirlenen değerlerin etkisinin analiz edilmesi.
2. Bina kabuğu ölçeğine ilişkin tasarım parametreleri; referans opak kabuk katmanlaşması dışında beş farklı alternatif opak kabuk katmanlaşması ve referans saydamlık oranı olan %30 dışında üç farklı saydamlık oranı referans binaya uygulanarak opak ve saydam bina kabuğu etkilerinin analiz edilmesi.
3. Kontrol sistemlerine ilişkin tasarım parametreleri: Beş farklı güneş kontrol sistemi alternatifinin referans binaya uygulanarak güneş kontrolünün etkisinin analiz edilmesi.

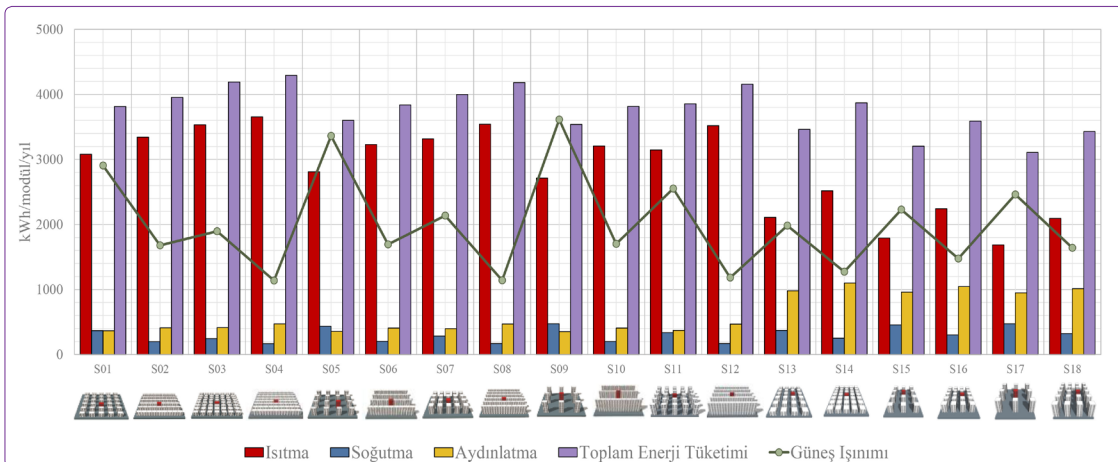


Şekil 6. Çalışmada analiz edilen 18 senaryo alternatifi.

Yerleşme ve Bina Ölçeğine İlişkin Tasarım Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi

Çalışmanın ilk analiz aşaması kapsamında 18 senaryo için referans binadan elde edilen modül başına dü-

şen ortalama yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi ve toplam enerji tüketimi güneş ışınımı kazancı sonuçlarıyla birlikte Şekil 7’de verilen grafikte sunulmuştur.



Şekil 7. Referans binadan elde edilen modül başına düşen ortalama yıllık enerji tüketimi ve güneş ışınımı kazançları.

Plan tipi parametresi ele alınarak sonuçlar değerlendirildiğinde kare planın dikdörtgene göre daha düşük toplam enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Dikdörtgen planlı binada yer alan modüllerin üç cepheden güneş erişimine sahip olmalarına bağlı olarak, iki cepheden güneş erişimi olan kare plandaki modüllere kıyasla %35,70 oranına kadar daha fazla güneş ışınımı kazancına ve %63,24 oranına kadar düşük aydınlatma enerjisi tüketimine sahip oldukları tespit edilmiştir. İki plan tipinin soğutma enerjisi bakımından performansı ise birbirine daha yakındır; dikdörtgen plan kare plana göre %0,16-5,46 oranları aralığında daha düşük soğutma enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Biçim faktörü 1,00 olan kare planın biçim faktörü 2,00 olan dikdörtgen plana kıyasla ısıtma enerjisi tüketiminin %28,71-37,84 oranları aralığında daha düşük olduğu hesaplanmıştır. Toplam enerji tüketimi ele alındığında en büyük fark 15 katlı H/W oranı 1,00 olan senaryolar arasında ortaya çıkmıştır; kare plan (S17) dikdörtgen plandan (S09) %12,15 oranında daha düşük toplam enerji tüketimine sahiptir.

Kat sayısı parametresi değerlendirildiğinde kat sayısı arttıkça referans binanın güneş ışınımı kazancı ve buna bağlı olarak soğutma enerjisi tüketiminin arttığı; ısıtma enerjisi, aydınlatma enerjisi ve toplam enerji tüketiminin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kat sayısı parametresinin nokta blok tipi yerleşimlerde, sıra ev tipi yerleşimlere kıyasla referans bina üzerinde daha büyük değişimlere neden olduğu tespit edilmiştir. H/W oranı 2,00 olan dikdörtgen planlı nokta blok senaryolarından beş katlı (S03) ve 15 katlı (S11) senaryolar kıyaslandığında 15 katlı referans binanın ısıtma enerjisi %10,92 ve toplam enerjisi %7,98 oranında daha düşük iken bu fark aynı özelliklere sahip sıra blok yerleşimleri arasında (S04-S12) sırasıyla %3,69 ve %3,19 oranına inmiştir. Kare plan tipinin bulunduğu yerleşmelerde yer alan referans binaların dikdörtgen plan alternatifine kıyasla kat sayısındaki değişikliklerden daha fazla etkilendiği görülmektedir. H/W oranı 2,00 olan kare planlı senaryolardan 15 katlı (S18) senaryo beş katlı (S14) senaryoya nazaran %28,78 oranında daha yüksek güneş ışınımı kazancının yanı sıra ısıtma için %16,82 ve aydınlatma için %7,90 oranında daha düşük, soğutma için %22,35 oranında daha yüksek enerji tüketmektedir.

H/W oranı parametresi sonuçlarına göre H/W oranı 1,00 olan senaryoların geniş bina aralıkları nedeniyle kazandıkları güneş ışınımı miktarı H/W oranı 2,00 olanlara göre %32,19-35,74 oranları aralığında daha yüksektir. Bu sonuca bağlı olarak H/W oranı 1,00 olan yerleşmelerin daha düşük ısıtma enerjisi, aydınlatma enerjisi ve toplam enerji tüketimine sahip oldukları; ancak soğutma enerjisi tüketimlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. H/W oranı 1,00 olan nokta blok senaryolarının 2,00 olan alternatiflerine kıyasla ısıtmada %14,70-25,33, aydınlatmada %5,12-11,55, toplamda %8,25-10,71 oranları aralığında enerji tüketimleri

daha düşük iken, soğutmada %32,02-34,68 oranları aralığında daha yüksektir. Sıra blok yerleşmeleri için sonuçlar kıyaslandığında ise ısıtmada %9,73, aydınlatmada %12,92 ile toplamda %8,19 oranına kadar daha düşük ve soğutmada %16,36 oranına kadar daha yüksek enerji tüketimleri hesaplanmıştır.

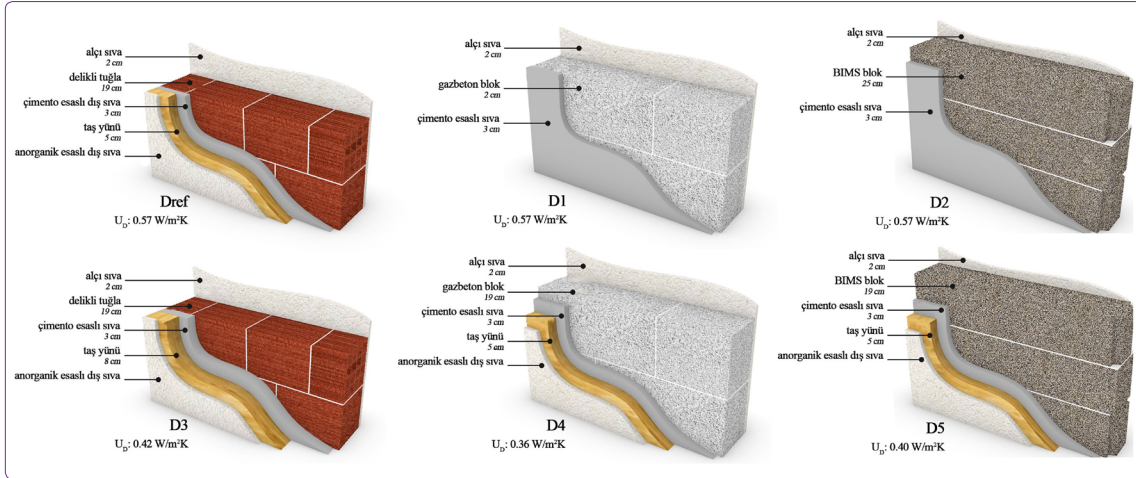
Yerleşme tipi parametresi analizleri nokta blok ve sıra blok olarak yerleşen dikdörtgen planlı senaryolar üzerinden yapılmıştır. Elde edilen verilere göre nokta blok yerleşimlerinde yer alan referans bina dört cepheden güneş erişimine sahip olması nedeniyle sıra bloğa kıyasla %29,39-36,43 oranları aralığında daha fazla güneş ışınımı kazancına sahiptir. Bu durum enerji performansına daha düşük ısıtma enerjisi, aydınlatma enerjisi ve toplam enerjinin yanı sıra daha yüksek soğutma enerjisi olarak yansımaktadır. Nokta blok senaryolarında sıra blok senaryolarına göre ısıtma enerjisinde %3,33-10,59, aydınlatma enerjisinde %10,86-20,49 ile toplam enerjide %2,39-7,28 oranları aralığında daha düşük olarak hesaplanan tüketim, soğutma enerjisinde %31,20-57,46 oranları aralığında daha yüksektir. Ayrıca yerleşmedeki binaların kat sayısı arttıkça yerleşim tipinin enerji tüketimi üzerinde yarattığı etkinin arttığı tespit edilmiştir. H/W oranı 1,00 olan dikdörtgen planlı yerleşmelerden beş katlı binaların yer aldığı nokta blok (S01) senaryosu aynı özelliklere sahip sıra blok (S02) senaryosundan %3,57 oranında daha az toplam enerji tüketimine sahip iken, bu oran 10 katlı (S05-S06) senaryolarda %6,21 ve 15 katlı (S09-S10) senaryolarda %7,28 oranına yükselmektedir.

Bina Kabuğu Ölçeğine İlişkin Tasarım Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi

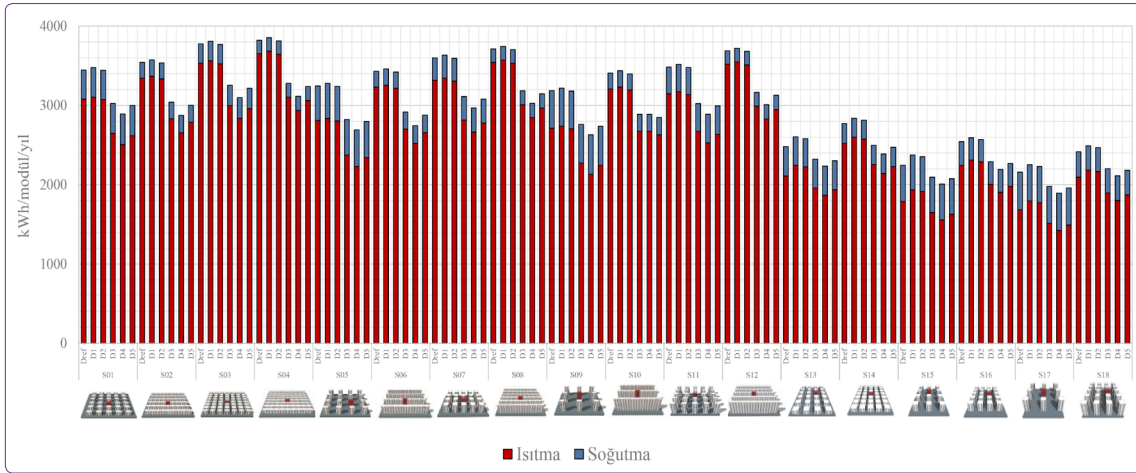
İkinci analiz aşaması kapsamında yapma çevrelerde tasarımcı tarafından kontrol edilmesi daha olanaklı olan bir tasarım parametresi olarak tanımlanan bina kabuğunun bina enerji performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, 18 yerleşme senaryosu için belirlenen referans binanın opak dış duvar katmanlaşması ve saydamlık oranının enerji harcamalarını nasıl etkileneceğini tespit etmek için uygun alternatifler üretilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Opak kabuk katmanlaşmasının etkisini analiz etmek için referans dış duvar "Dref" (Tablo 1) Şekil 8'de verilen beş farklı dış duvar alternatifleriyle (D1, D2, D3, D4 ve D5) kıyaslanmıştır. Dış duvar alternatifleri, katmanlaşmalarında yapılan değişikliklerle gövde malzemesi, yalıtım kalınlığı ve U-değerinin etkisini analiz etmeye yönelik olarak TS 825'te (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı) [39] İstanbul ili için belirtilen limit değerlere uygun olarak oluşturulmuştur.

On sekiz senaryoda yer alan referans binaya beş alternatif dış duvar katmanlaşması uygulanarak elde edilen sonuçlar Şekil 9'da sunulmuştur. Öncelikle ısı yalıtımı kullanımının ve duvar gövde malzemesi seçiminin etkisini analiz



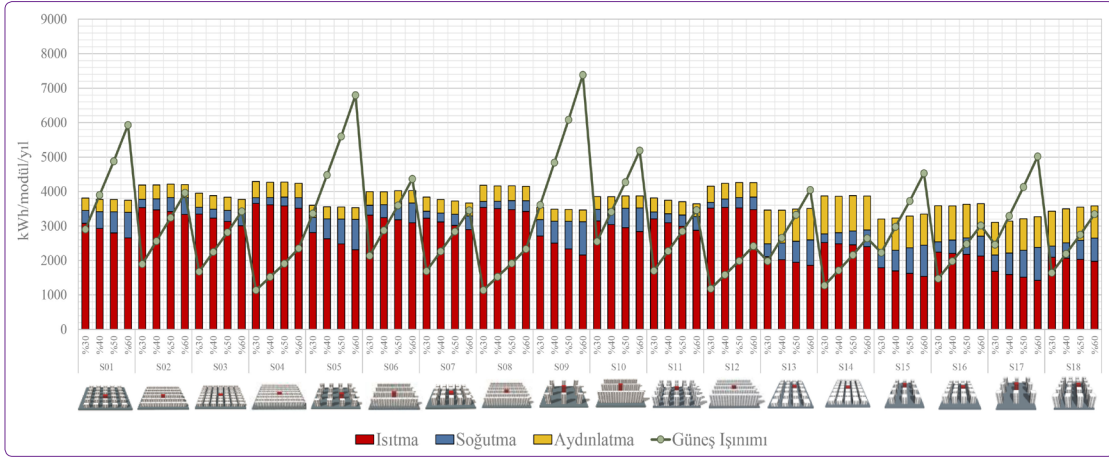
Şekil 8. Opak kabuk analizi için geliştirilen alternatif dış duvar katmanlaşmaları.



Şekil 9. Referans binaya uygulanan beş farklı dış duvar katmanlaşmasıyla elde edilen modül başına düşen yıllık ortalama enerji tüketimi.

etmek için ısı yalıtımı olmadan aynı U-değerine ($0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$) sahip D1 ve D2 alternatifleri Dref ile kıyaslanmıştır. Duvar gövdesi gaz beton olan D1 alternatifi Dref'e göre daha yüksek toplam enerji tüketimine neden olurken duvar gövdesi BİMS blok olan D2 dikdörtgen planlı senaryolarında daha düşük ve kare planlı senaryolarında daha yüksek toplam enerji tüketimi sonuçları vermiştir. D1 alternatifinin Dref'e göre enerji tüketiminde sağladığı maksimum fark kare planlı senaryolarda ısıtmada S15 senaryosu için %7,56 oranında daha yüksek, soğutmada S16 senaryosu için %6,37 ve toplam enerjide S15 senaryosu için %5,47 oranlarında daha düşük olarak hesaplanmıştır. D2 alternatifi ise dikdörtgen planlı senaryolarda toplam enerji harcamalarında %0,14-0,33 oranları aralığında daha düşük toplam enerji tüketimi sağlarken, kare planlı senaryolarda %1,04-4,82 oranları aralığında daha yüksek toplam enerji tüketimine neden olmuştur. Farklı duvar gövde malzemesi kullanılarak Dref ile aynı katmanlaşma detayına ancak farklı U-değerlerine sahip D4 ve D5 alternatiflerinden elde

edilen sonuçlara göre U-değeri azaldıkça ısıtma enerjisi ve toplam enerji tüketimlerinin azaldığı, soğutma enerjisi tüketimlerinin arttığı tespit edilmiştir. En düşük toplam enerji tüketimi U-değeri en düşük olan gaz beton gövdeli D4 ($0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$) alternatifinden sağlanmış ve Dref'e göre ısıtma enerjisi %13,02-20,93 ve toplam enerji %9,93-20,01 oranları aralığında daha düşük, soğutma enerjisi %0,71-13,02 oranları aralığında daha yüksek olarak hesaplanmıştır. BİMS blok gövdeli D5 ($0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$) duvar alternatifinin Dref'e göre toplam enerji tüketimi sonuçları %7,18-16,46 oranları aralığında daha düşüktür. Isı yalıtımı katmanının kalınlığının etkisi ise 5 cm kalınlığındaki ısı yalıtımının 8 cm olarak değiştirilmesiyle oluşturulan D3 alternatifleriyle analiz edilmiştir. Isı yalıtımının kalınlaşmasına bağlı olarak azalan U-değeri ($0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$) sayesinde beklendiği üzere ısıtma enerjisi ve toplam enerji tüketiminde Dref'e kıyasla daha düşük ama soğutma tüketiminde daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. D3 alternatifleriyle en belirgin farkların hesaplandığı S10 senaryosunda ısıtma enerjisi %16,67 ve top-



Şekil 10. Referans binaya uygulanan üç farklı saydamlık oranıyla elde edilen modül başına düşen yıllık ortalama enerji tüketimi ve güneş ışıınımı kazancı.

lam enerji %15,31 oranında daha düşük, soğutma enerjisi %6,44 oranında daha yüksektir.

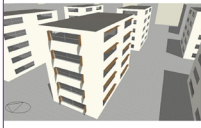
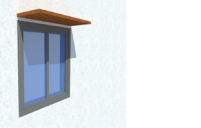



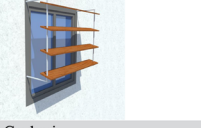
Saydamlık oranı aynı yerleşme dokusu içinde yer alan binanın pasif olarak güneş ışıınımı kazancı miktarını değiştirdiği için enerji tüketimi üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle %30 olan referans saydamlık oranı Tablo 1'de tanımlanan özelliklere sahip aynı tip pencereler kullanılarak sırasıyla %40, %50 ve %60 olarak artırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 10'da sunulmuştur. Saydamlık oranı arttıkça bina cephesinde yer alan saydam yüzey alanının artmasına bağlı olarak kazanılan güneş ışıınımı miktarı da artmaktadır. Saydamlık oranının %30 olmasına kıyasla saydamlık oranı %40 olduğunda %25,98; %50 olduğunda %41,48; %60 olduğunda %52,15 oranlarına kadar daha yüksek güneş ışıınımı kazancı sağlanmaktadır. Güneş ışıınımı kazancındaki bu artış enerji performansına ısıtma enerjisi tüketiminde azalma ve soğutma enerjisi tüketiminde artma olarak yansımaktadır. Ayrıca saydamlık oranının artmasıyla gün ışığından daha fazla fayda sağlanmasının doğal sonucu olarak aydınlatma enerjisi tüketimi de azalmaktadır. Saydamlık oranının sırasıyla %40, %50 ve %60 olarak artırılması sonucu senaryolarda oransal olarak ortaya çıkan maksimum değişimler soğutma enerjisinde %27,98, %44,05, %52,19 oranlarında artış; ısıtma enerjisinde %5,57, %10,28, %15,47 ve aydınlatma enerjisinde %4,19, %6,82, %10,51 oranlarında azalma olarak hesaplanmıştır. Toplam enerji tüketimi sonuçları değerlendirildiğinde, saydamlık oranının artması kare planlı senaryolara artış olarak, dikdörtgen planlı senaryolardan nokta bloklara düşüş, sıra bloklara ise artış olarak yansımaktadır.

Kontrol Sistemlerine İlişkin Tasarım Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi

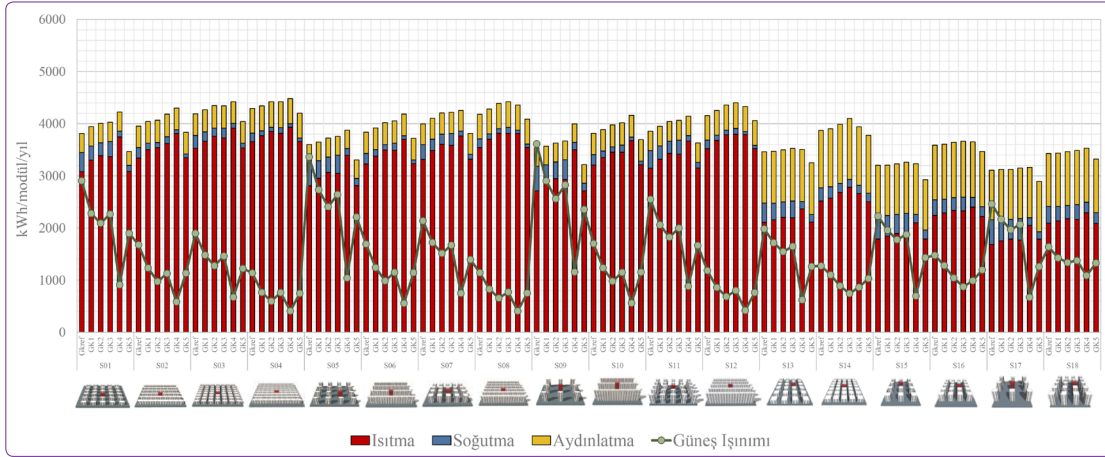
Saydamlık oranının artmasıyla ısıtma ve aydınlatma enerjisi tüketiminin düştüğü, soğutma enerjisi tüketiminin ise arttığı ikinci analiz aşamasında yapılan değerlendirmelerle ortaya konulmuştur. Bu durum referans binaya ait ener-

ji performansının optimize edilmesi için güneş ışıınımının kontrollü olarak ısıtma istenen dönemde maksimize edilmesi ve soğutma istenen dönemde minimize edilmesinin gerekliliğini göstermektedir. Bu amaçla üçüncü analiz aşamasında farklı güneş kontrol sistemlerinin bina enerji performansı üzerindeki etkisini analiz etmek üzere Şekil 11'de açıklanan beş farklı güneş kontrol sistemi geliştirilmiştir.

Güneş kontrol sistemi olmayan referans durum "GKref" ve beş farklı güneş kontrol sisteminin (GK1, GK2, GK3, GK4 ve GK5) uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 12'de verilmiştir. Cephe üzerine monte edilen sabit güneş kontrol elemanlarının yer aldığı GK1, GK2 ve GK3 alternatiflerinde kullanılan elemanların tipleri ve boyutları farklı olsa da

	
GK1	Güney Cephesi yatay saçak: 50 cm MDF Levha
	
GK2	Güney Cephesi yatay saçak: 100 cm MDF Levha
	
GK3	Güney Cephesi jalu: 30 cm boşluk+20 cm MDF Levha
GK4	Bütün Cepheler panjur: %80 güneş ışıınımı yansıtıcı kaplama 120 W/m ² üzeri güneş ışıınımı kazancı
GK5	Bütün Cepheler panjur: %80 güneş ışıınımı yansıtıcı kaplama 120 W/m ² üzeri güneş ışıınımı kazancı + dış ortam sıcaklığının 21°C'nin üzerinde olması durumunda kapanma

Şekil 11. Geliştirilen alternatif güneş kontrol sistemleri.



Şekil 12. Referans binaya uygulanan beş farklı güneş kontrol sistemiyle elde edilen modül başına düşen yıllık ortalama enerji tüketimi ve güneş ışınımı kazancı.

sonuçları birbirine paralellik göstermektedir. Sabit güneş kontrol elemanlarının kullanımıyla güneş ışınımı kazancının azalmasına bağlı olarak soğutma enerjisi tüketimleri düşerken, ısıtma istenen dönemde de güneş kontrolü uygulanması nedeniyle ısıtma enerjisi tüketimleri artmıştır. Soğutma enerjisindeki azalmaya karşılık ısıtma ve aydınlatma enerjisindeki artış sonucunda toplam enerji tüketimlerinin üç alternatifte de arttığı görülmektedir. S01 senaryosu için elde edilen sonuçlara göre GK1, GK2 ve GK3 için sırasıyla GKref'e kıyasla güneş ışınımı kazancında %21,57, %27,98, %21,97 ve soğutma enerjisinde %26,26, %32,30, %21,58 oranlarında azalmaya karşılık ısıtma enerjisinde %6,77, %9,05, %8,59 ve aydınlatma enerjisinde %1,09, %1,70, %1,65 oranlarında artış olmuştur. Bu durum toplam enerji tüketimine sırasıyla %3,32, %4,85 ve %5,67 oranlarında artış olarak yansımıştır. Bu sonuçlar güneş kontrol sistemleri kullanılarak güneş ışınımı kazançlarını optimize etmek için sabit elemanlar yerine dönemsel ihtiyaca uygun olarak çalışan hareketli elemanların tercih edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda hareketli güneş kontrol sistemlerinin etkinliği geliştirilen GK4 ve GK5 alternatifleri aracılığıyla analiz edilmiştir. GK4 alternatifinde dört cephede kullanılan panjurlar pencere düzlemine düşen güneş ışınımı miktarı 120 W/m^2 'yi geçince kapanacak şekilde düzenlenmiştir. Ancak sonuçlar incelendiğinde bu uygulamanın sağladığı güneş ışınımı ve soğutma enerjisi tüketimlerinde görülen artışa ısıtma ve aydınlatma enerjisi tüketimlerinde artışa bağlı olarak toplam enerji tüketimi yükselmiştir. S01 senaryosu için GK4 ile elde edilen sonuçlardan GKref'e kıyasla güneş ışınımı kazancı %68,68 ve soğutma enerjisi %69,97 oranlarında daha düşük; aydınlatma enerjisi %1,87, ısıtma enerjisi %17,84 ve toplam enerji %10,80 oranlarında daha yüksektir. Bu sonuçlar enerji tüketiminin azaltılması için daha etkin bir çalışma prensibine gereksinim olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu amaçla, GK5 alternatifinde dört cepheye yerleşen panjurlar pencere düzlemine düşen güneş ışınımı miktarı 120 W/m^2 'yi

ve dış ortam sıcaklığı 21°C 'yi geçince kapanacak şekilde düzenlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde güneş kontrolüyle hem ısıtma hem de soğutma için ihtiyaç duyulan dönemde güneş ışınımı optimizasyonunun sağlandığı görülmektedir. S01 senaryosuna GK5 uygulanarak elde edilen sonuçlara göre GKref'e kıyasla güneş ışınımı kazancının %34,68 oranında daha düşük olmasının yanı sıra aydınlatma enerjisi %1,35 oranında artarken, soğutma enerjisine %68,33 ve toplam enerjiye %6,45 oranlarında daha az ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Kapsamı ılımlı-nemli iklim bölgesi olarak tanımlanan bu çalışmadan elde edilen verilerin yapma çevrelerde enerji etkinliğini artırmak amacıyla çözüm önerileri olarak sunulması hedeflenmiştir. Ancak yerleşme tasarımı çok fazla değişken olması nedeniyle mutlak doğruyu belirlemek mümkün değildir (Oke, 1988). Bu nedenle çalışmada sunulan çözüm önerileri tasarım parametrelerine ilişkin olarak alınan kararların bina enerji performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeye yönelik örnek uygulamalar şeklindedir.

Modelin birinci analiz aşamasında yerleşme dokusu ve binaya ilişkin olarak belirlenen plan tipi, kat sayısı, H/W oranı ve yerleşme tipi parametreleriyle geliştirilen senaryoların bina enerji performansları karşılaştırılmıştır. Modül başına düşen yıllık ortalama ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi ve toplam enerji sonuçları bakımından minimum tüketime sahip senaryo alternatiflerine kıyasla diğer senaryoların sağladığı değerler yüzdesel olarak Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlara göre;

- H/W oranı 1,00 olan 15 katlı kare nokta blok S17 senaryosu en düşük ısıtma enerjisi,
- H/W oranı 2,00 olan 5 katlı dikdörtgen sıra blok S04 senaryosu en düşük soğutma enerjisi,
- H/W oranı 1,00 olan 15 katlı dikdörtgen nokta blok S09 en düşük aydınlatma enerjisi,

Tablo 2. En düşük enerji tüketimine sahip senaryolara kıyasla ortaya çıkan yüzdesel farklar**Minimum enerji harcayan senaryo ile kıyaslama**

Plan Tipi	Kat Sayısı	H/W Oranı	Yerleşme Tipi	Senaryo	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Toplam Enerji
Dikdörtgen	5	1.00	Nokta Blok	S01	45,25%	54,32%	3,84%	18,49%
			Sıra Blok	S02	49,57%	15,89%	14,29%	21,40%
	2.00	Nokta Blok	S03	52,27%	31,20%	14,95%	25,83%	
		Sıra Blok	S04	53,86%	min. (167,69 kWh/modül/yıl)	25,20%	27,60%	
	10	1.00	Nokta Blok	S05	39,99%	61,50%	0,90%	13,69%
			Sıra Blok	S06	47,78%	17,24%	13,56%	19,04%
	2.00	Nokta Blok	S07	49,15%	41,07%	11,27%	22,25%	
		Sıra Blok	S08	52,39%	1,06%	24,94%	25,65%	
	15	1.00	Nokta Blok	S09	37,84%	64,56%	min. (352,42 kWh/modül/yıl)	12,15%
			Sıra Blok	S10	47,43%	16,70%	13,38%	18,54%
		2.00	Nokta Blok	S11	46,42%	50,39%	5,12%	19,40%
			Sıra Blok	S12	52,09%	0,90%	24,56%	25,21%
Kare	5	1.00	Nokta Blok	S13	20,09%	54,88%	64,07%	10,23%
			Sıra Blok	S14	33,05%	33,63%	67,97%	19,71%
	10	1.00	Nokta Blok	S15	5,76%	63,23%	63,25%	3,00%
			Sıra Blok	S16	24,81%	44,28%	66,28%	13,38%
	15	1.00	Nokta Blok	S17	min. (1686,07 kWh/modül/yıl)	64,62%	62,83%	min. (3108,16 kWh/modül/yıl)
			Sıra Blok	S18	19,51%	47,81%	65,22%	9,37%

- H/W oranı 1,00 olan 15 katlı kare nokta blok S17 en düşük toplam enerji tüketimine sahiptir.

Minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar, tasarım parametrelerinin pasif olarak bina enerji performansı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Bu karşılaştırmalı verilerden yola çıkarak enerji etkinliği bağlamında ön tasarım aşamasında alınacak kararlar için yol gösterici öneriler sunmak mümkündür.

Isıtma enerjisi açısından en yüksek enerji tüketimine sahip H/W oranı 2,00 olan beş katlı dikdörtgen sıra blok S04 senaryosu, minimum ısıtma tüketimine sahip S17 senaryosundan %53,86 oranında daha fazla ısıtma enerjisi harcamaktadır. Sonuçlara göre ısıtma enerjisinde kare planlı senaryolar daha kompakt formları sayesinde dikdörtgen planlı senaryolardan; nokta blok yerleşimler ise dört cepheden daha yüksek miktarda güneş ışınımı kazanması nedeniyle sıra blok yerleşimlerden daha düşük ısıtma enerjisi tüketimine sahiptir. Ayrıca kat sayısı arttıkça ve H/W oranı küçüldükçe (binalar arası mesafe genişledikçe) ısıtma enerjisi tüketiminin düştüğü belirlenmiştir. Soğutma enerjisi tüketimi en düşük olan S04 senaryosu en yüksek ısıtma enerjisi tüketimine sahipken en düşük ısıtma enerjisi tüketimine sahip S17 senaryosunun en yüksek soğutma enerjisi tüketimine sahip olduğu görülmüş ve senaryoların

soğutma enerjisi tüketimi arasında fark %64,62 olarak hesaplanmıştır. Aydınlatma enerjisi bakımından H/W oranı 1,00 olan 15 katlı dikdörtgen nokta bloktan oluşan S09 en düşük, H/W oranı 2,00 olan beş katlı kare nokta bloktan oluşan S14 en yüksek enerji tüketimine sahip senaryolar olarak belirlenmiş ve senaryolar arasında %67,97 oranında fark olduğu tespit edilmiştir. Aydınlatmanın güneş erişimi miktarıyla ilişkili olmasına bağlı olarak daha geniş sokak aralıklarına sahip küçük H/W oranlarının, daha yüksek binaların, daha fazla cephesi olan modüllerin yer aldığı plan tiplerinin ve ayırık nizam yerleşme tiplerinin aydınlatma enerjisi bakımından daha verimli sonuçlar verdiği görülmektedir. Toplam enerji tüketimi performansları kıyaslandığında aynı zamanda en düşük ısıtma enerjisi tüketimine sahip olan S17 senaryosu toplam enerji bakımından da en düşük tüketime sahiptir. Bu veriler ılımlı-nemli iklim bölgesinde binaların sahip olduğu ısıtma yükünün, soğutma istenen dönemin daha kısa olmasına bağlı olarak soğutma yüküne göre ve ele alınan konut fonksiyonunda gündüz yapma aydınlatmaya az ihtiyaç duyulmasına bağlı olarak aydınlatma yüküne göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bir başka deyişle, İstanbul için geliştirilecek yerleşme tasarımlarında binaların ısıtma enerjisi tüketimini düşürmeyi hedefleyen çözümlerin uygulanması, enerji etkinlik düzeylerini arttıracaktır.

Tablo 3. S17 senaryosunun referans duruma kıyasla bina kabuğu alternatiflerinden ortaya çıkan yüzdesel farklar

Referans senaryo ile kıyaslama: Bina kabuğu

S17	Opak Bina Kabuğu					Saydamlık Oranı		
	D1	D2	D3	D4	D5	40%	50%	60%
Isıtma	6,09%	5,26%	-10,22%	-15,56%	-11,47%	-5,57%	-10,28%	-15,47%
Soğutma	-3,61%	-3,87%	-1,95%	-0,71%	-1,36%	24,13%	39,66%	50,31%
Aydınlatma						-2,51%	-3,96%	-5,89%
Toplam Enerji	4,09%	3,15%	-8,40%	-12,31%	-9,25%	1,05%	3,14%	4,99%

Yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametrelerinin etkileri, senaryolardan elde edilen enerji tüketimi sonuçlarının yüzdesel olarak kıyaslanması sayesinde analiz edilerek bu veriler yardımıyla her bir değişkenin tasarım aşamasında binanın enerji etkinliğini nasıl etkileyeceği ön görülebilir. Ancak maliyet, yönetmelikler, çevresel ve sosyo-ekonomik koşullar gibi tasarımı sınırlayan etmenler nedeniyle her durumda yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametrelerini belirlemek mümkün olmayabilir. Üst ölçekte kontrol edilemeyen parametrelerin olduğu durumlarda enerji etkinliği düzeyini artırmak için alt ölçekteki parametrelerin optimize edilmesi gerekmektedir. Alt ölçekte uygun bina kabuğu tasarımlarıyla ortamlar arası ısı geçişini düzenleyerek ve doğru güneş kontrolü stratejileriyle güneş ışınımı kazancını optimize ederek binaların enerji etkinliği düzeyini artırmak mümkündür. Bu bağlamda, birinci analiz aşamasında yerleşme dokusu ve binaya ilişkin tasarım parametrelerine bağlı olarak en iyi enerji performansına sahip S17 senaryosuna ait ikinci ve üçüncü analiz aşamaları kapsamında elde edilen hesaplama sonuçları derlenerek alternatiflerin referans duruma göre sağladığı farklar değerlendirilmiştir.

Tablo 3'te verilen bina kabuğu analizi sonuçlarına göre referans dış duvar Dref alternatifine (U-değeri: 0,57 W/m²K) kıyasla en düşük U-değerine sahip dış duvar D4 alternatifi (U-değeri: 0,36 W/m²K) %12,31, D5 alternatifi (U-değeri: 0,40 W/m²K) %9,25 ve D3 alternatifi (U-değeri: 0,42 W/m²K) %8,40 oranında toplam enerji tüketimini düşürmüştür. Buna göre ılımlı-nemli iklim bölgelerinde ısıtma enerjisini düşürmek öncelikli hedef olduğu için U-değeri düşük dış kabuk kullanarak enerji etkinliği düzeyini artırmak mümkündür. Ancak bu çalışmada ele alınmayan maliyet konusu bu açıdan önemlidir; maliyet ve enerji optimizasyonu birlikte yapılarak yalıtım katmanının kalınlığına ve malzemelere karar vermek doğru bir yaklaşım olacaktır (Mangan ve ark., 2020). Saydamlık oranı açısından kıyaslama yapıldığında saydamlık oranı arttıkça ısıtma ve aydınlatma enerjisi tüketiminin düştüğü, soğutmanın ise arttığı görülmektedir. Ancak saydamlık oranının artması toplam enerji tüketimini olumsuz yönde etkilemektedir; başka bir deyişle saydamlık oranını %30'dan %60'a çıkarmak ısıtma enerjisini %15,47 ve aydınlatma enerjisini %5,89 oranında düşürse de soğutma

enerjisinde %50,31 oranında artışa neden olarak toplam enerji tüketimini %4,99 oranında artırmaktadır.

İlımlı-nemli iklim bölgelerinde saydamlık oranı artırılarak elde edilen yüksek güneş ışınımı kazancı sayesinde ısıtma yüklerini azaltmak için öncelikle soğutma istenen dönemde gerekli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler ancak uygun güneş kontrolü stratejilerinin uygulanmasıyla sağlanabilir. Tablo 4'te verilen güneş kontrolü alternatifleri arasında sabit güneş kontrol sistemleriyle (GK1, GK2 ve GK3) güneş ışınımı kazançlarının her dönem azaltılmasına bağlı olarak soğutma enerjisi tüketimi düşerken, ısıtma ve aydınlatma enerjisi tüketiminin arttığı görülmektedir. Buna karşılık hareketli güneş kontrol sistemlerinden panjurları pencere düzlemine düşen güneş ışınımı miktarı 120 W/m²'yi ve dış ortam sıcaklığı 21°C değerini aştığı anda kapatan GK5 alternatifiyle toplam enerjide %4,40 oranında bir düşüş sağlanabilmektedir. İlımlı-nemli iklim bölgeleri için güneş kontrolü sistemleri tasarlanırken hedef yaz döneminde güneş ışınımı kazancını azaltan ama kış döneminde güneş ışınımı kazancını engellemeyerek optimizasyon sağlayan hareketli sistemler olmalıdır.

İlımlı-nemli iklim bölgesinde enerji etkinliği düzeyini optimize etmek için en uygun tasarıma sahip olduğu belirlenen S17 senaryosunda iyileştirmeler yapmak amacıyla; Tablo 3'te verilen bina kabuğu ve Tablo 4'te verilen güneş kontrol sistemleri alternatifleri arasında en düşük toplam enerji tüketimini sağlayan alternatiflerin çeşitli kombinasyonlarıyla dört iyileştirme önerisi geliştirilmiştir. Bina kabuğu için D4, saydamlık oranı için %60 ve güneş kontrol sistemi için GK5

Tablo 4. S17 senaryosunun referans duruma kıyasla güneş kontrol sistemi alternatiflerinden ortaya çıkan yüzdesel farklar

Referans senaryo ile kıyaslama: Güneş kontrol sistemleri

S17	Güneş Kontrolü				
	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5
Isıtma	-2,52%	-4,77%	-4,22%	16,32%	1,25%
Soğutma	13,67%	20,20%	12,63%	-38,88%	-35,31%
Aydınlatma	-0,90%	-7,39%	-0,35%	1,84%	0,98%
Toplam Enerji	0,77%	-0,99%	-0,15%	4,97%	-4,40%

Tablo 5. S17 senaryosunun referans durumuna kıyasla 4 iyileştirme önerisiyle ortaya çıkan yüzdesel farklar**Referans senaryo ile kıyaslama**

S17	İyileştirme Önerisi 1	İyileştirme Önerisi 2	İyileştirme Önerisi 3	İyileştirme Önerisi 4
	D4 + %60 Saydamlık Oranı	%60 Saydamlık Oranı + GK5	D4 + GK5	D4 + %60 Saydamlık Oranı + GK5
Isıtma	-24,37%	-15,23%	-15,50%	-24,30%
Soğutma	51,27%	-27,86%	-58,14%	-25,65%
Aydınlatma	-2,85%	-2,84%	0,50%	-2,84%
Toplam Enerji	-6,94%	-13,25%	-15,38%	-18,98%

olarak belirlenen parametre değerleri ile geliştirilen iyileştirme önerilerinden elde edilen sonuçların referans değerlere sahip senaryoya göre enerji harcamalarında sağladığı değişimler yüzdesel olarak Tablo 5'te sunulmuştur. Sonuçlarda bütün iyileştirme önerilerinde toplam enerji tüketimi bakımından referans duruma kıyasla düşüş sağlandığı gözlenmektedir. Saydamlık oranının %60'a çıkarılması ve bina kabuğu U-değerinin 0,36 W/m²K'ye düşürülmesiyle oluşturulan "İyileştirme Önerisi 1" referans duruma göre ısıtma enerjisi tüketiminde %24,37 oranında düşüş sağlarken soğutma enerjisi tüketiminde %51,27 oranında artışa neden olmuştur. Oysa bina kabuğunun U-değerinin düşürülmesiyle uygun güneş kontrolünün birlikte uygulanması durumunun analiz edildiği "İyileştirme Önerisi 3" hem ısıtma enerjisi tüketimini %15,50 hem de soğutma enerjisi tüketimini %58,14 oranında azaltarak referans duruma göre %15,38 oranında daha az toplam enerji tüketmektedir. Bu veriler doğrultusunda bina kabuğunun U-değerinin düşürülmesi ve saydamlık oranının artırılması güneş ışınımı kazançlarını maksimize ederek ısıtma yüklerini düşürse de doğru güneş kontrolü uygulamalarının güneş ışınımı optimizasyonu için gerekli olduğu görülmektedir. Üç parametrenin birlikte uygulandığı "İyileştirme Önerisi 4" ise referans senaryoya göre ısıtmada %24,30, soğutmada %25,65 ve aydınlatmada %2,84 oranında daha az enerji tüketerek toplamda referans duruma göre %18,98 oranında enerji etkinliği sağlamıştır. Görüldüğü üzere uygun yerleşme dokusu ve bina tasarımı belirlendikten sonra doğru bina kabuğu ve güneş kontrol sistemi entegrasyonu binalarda enerji tüketimini önemli ölçüde düşürmek mümkündür.

Sonuç

Enerji etkin yerleşme dokusu ve bina tasarımına yönelik olarak geliştirilen parametrik model, çalışma kapsamında ılımlı-nemli iklim bölgesi için uygulanmış ve ele alınan tasarım parametrelerinin bina enerji performansı üzerindeki etkileri analiz edilerek sonuçlar yeni tasarlanacak yapıma çevreler için öneriler niteliğinde sunulmuştur. Çalışmanın hedefi ön tasarım sürecinde tasarım parametreleri için alınan kararların bina enerji performansı üzerinde ne derecede etkili olduğunu vurgulamaktır. Çalışmada elde edi-

len sonuçlara göre öncelikle ılımlı-nemli iklim bölgesinde ısıtma istenen dönemin daha uzun olmasına bağlı olarak ısıtma enerjisinin toplam enerji tüketimi üzerinde aydınlatma ve soğutma enerjilerine kıyasla oransal olarak daha etkili olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda enerji etkinliğinin sağlanması açısından güneş ışınımı kazancının yerleşme geometrisiyle optimize edilerek pasif ısıtma etkisinin artırılması ve ısıtma enerjisi tüketimini azaltmaya yönelik tasarımların üretilmesi gereklidir.

Binalar arası mesafenin genişletilmesi, çalışmada ele alındığı şekliyle H/W oranının 2,00'den 1,00'e düşürülmesiyle %21 oranına ve bitişik nizam sıra blok yerine nokta blok yerleşiminin tercih edilmesiyle %20 oranına kadar ısıtma enerjisi tüketimini düşürmek mümkündür. Biçim faktörü 1,00 olan kare plan tipi, biçim faktörü 2,00 olan dikdörtgen plan tipine göre %38 oranına ve 15 katlı binalar beş katlı alternatiflere göre %20 oranına kadar daha düşük ısıtma enerjisi tüketimine sahiptir. Bina kabuğunun U-değerinin 0,57 W/m²K'den 0,36 W/m²K'ye düşürülmesi sayesinde %22 ve saydamlık oranının %30'dan %60'a çıkarılması ile %20 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca çalışma sonuçları uygun güneş kontrolü sistemlerinin enerji tüketiminde optimizasyon açısından etkili olduğunu ortaya koymaktadır; uygun güneş kontrolü ile toplam enerji tüketiminde %9 oranında düşüş elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen model, parametrik bir yaklaşımla küresel ölçekte toplam birincil enerji kullanımının dörtte üçünden sorumlu olan konutların [3] enerji tüketimini düşürmeye yönelik olarak ön tasarım sürecinde alınacak analitik kararlar ile optimizasyon sağlamaya odaklanmıştır. Bu amaçla çalışmada tanımlanan çerçeve içinde binaların enerji performansı üzerinde etkili olan tasarım değişkenleri ele alınmış ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile tasarım kararlarının enerji etkinliğine etkisini değerlendirilmiştir. İklimsel verilerin enerji etkin yerleşme dokusu ve bina tasarımına yön veren temel kriter olarak öne çıkmasına bağlı olarak ilerleyen süreçlerde çalışmada geliştirilen modelin farklı iklim bölgelerine uygulanması hedeflenmektedir. Ayrıca küresel ısınma sonucu yaşanan iklim değişikliği ve ısı adası etkisinin yakın gelecekte kentsel alanları oldukça etkileyeceği göz önünde bulun-

durularak çalışma sonuçlarının değişen iklimsel verilerine bağlı olarak güncellenmesi önem taşımaktadır (Mangan ve Koçlar Oral, 2020). Bu sayede yapılacak çalışmalardan elde edilen verilerin kentsel dönüşüm süreçlerine ve proje paydaşlarına sağlayacağı katkılar ile sürdürülebilir, iklime duyarlı ve enerji etkin yapma çevrelerin kurulması olanaklı olabilecektir.

Kaynaklar

- Ahmed, K. S., Khare, M. ve Chaudhry, K. (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections-a review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(9), 697-717. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.04.002>
- Allegrini, J., Dorer, V. ve Carmeliet, J. (2016). Impact of radiation exchange between buildings in urban street canyons on space cooling demands of buildings. *Energy and Buildings*, 1(127), 1074-1084. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.073>
- Asfour, O. S. ve Alshawaf, E. S. (2015). Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climate. *Energy and Buildings*, 91, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.030>
- ASHRAE (2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, (55-2010). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>
- Berköz, E., Küçükdoğu, M., Yılmaz, Z., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Köknel, A., Unver, R., Ak, F., Enarun, D. ve Yıldız, D. (1995). Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (Proje No: Tübitak-Intag 201).
- Beyaztaş, H. ve Koçlar Oral, G. (2020). Optimizing urban texture and building typology for the goal of achieving near-zero mid-rise residential building. *Gazi University Journal of Science*, 33(3), 592-611. <https://doi.org/10.35378/gujs.654664>
- Çilingiroğlu, S. (2010). İç Hava Kalitesi. Tesisat Mühendisliği, 115, 23-42. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7f2a4ea3bedd425_ek.pdf?dergi=966
- Gupta, V. (1987). Thermal efficiency of building clusters: an index for nonair-conditioned buildings in hot climates. In D. Hawkes ve P. Steadman (Eds.), *Energy and Urban Built Form* (s. 133-145). Butterworth-Heinemann.
- Hachem, C., Athienitis, A. ve Fazio, P. (2011). Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs. *Energy and Buildings*, 43(9), 2262-2273. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.008>
- IESNA (2011). The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application, 10th Edition. Illuminating Engineering Society of North America.
- Kanters, J. ve Horvat, M. (2012). Solar energy as a design parameter in urban planning. *Energy Procedia*, 30, 1143-1152. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.127>
- Mangan, S. D. ve Koçlar Oral, G. (2020). Impacts of future weather data on the energy performance of buildings in the context of urban geometry. *Cogent Engineering*, 7(1), 1714112. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1714112>
- Mangan, S. D., Koçlar Oral, G., Sozen, İ. ve Erdemir Kocagil, İ. (2020). Evaluation of settlement textures in terms of building energy, economic performance, and outdoor thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102110. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102110>
- Mangan, S. D., Koçlar Oral, G., Erdemir Kocagil, İ. ve Sozen, İ. (2021). The impact of urban form on building energy and cost efficiency in temperate-humid zones. *Journal of Building Engineering* 33, 101626. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101626>
- Natanian, J., Aleksandrowicz, O. ve Auer, T. (2019). A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental quality: The case of Mediterranean districts. *Applied Energy* 254, 113637. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113637>
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1-3), 103-113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Ratti, C., Baker N. ve Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37(7), 762-776. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010>
- Stromann-Andersen, J. ve Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8), 2011-2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.007>
- T.C. Resmi 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>
- Toudert, F. A. (2009). Energy efficiency of urban buildings: significance of urban geometry, building construction and climate conditions. *Proceeding of The 7th International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan. http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/384605-1-090524193443-004.pdf
- TSE (2008). Binalarda ısı yalıtım kuralları (TS 825). Türk Standartları Enstitüsü. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/10/20081009-2.htm>
- TÜİK (2013). Nüfus ve Konut Araştırması 2011. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-ve-Konut-Arastirmasi-2011-15843>
- UN-Habitat (2020). World cities report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights (ST/ESA/SER.A/352). <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>
- Van Esch, M. M. E, Looman, R. H. J. ve Bruin-Hordijk, G. J. (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings*, 47, 189-200. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042>
- Vartholomaios, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. *Sustainable Cities and Society*, 28, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.006>
- Zhang, J., Xu, L., Shabunko, V., Tay, S. E. R., Sun, H., Lau, S. S. Y. ve Reindl, T. (2019). Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. *Applied Energy*, 240, 513-533. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.033>