



Investigation of the effects of curtain wall angle on energy consumption in buildings

Kübra Sümer-Haydaraslan^{1*}, Neşe Dikmen²

¹Department of Architecture, Faculty of Architecture, Süleyman Demirel University, 32260, Isparta, Türkiye

²Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Isparta University of Applied Sciences, 32260, Isparta, Türkiye

Highlights:

- Reducing the energy consumption of a building with a glass curtain wall
- The effect of glass curtain wall slope angle on the energy consumption of the building
- The effect of inclined glass curtain wall orientation on energy consumption of the building.

Keywords:

- Glass curtain wall,
- Façade angle,
- Building orientation,
- Building energy consumption
- Self-shading

Article Info:

Research Article

Received: 17.03.2022

Accepted: 14.02.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1089497

Correspondence:

Author: Kübra Sümer-

Haydaraslan

e-mail: kubrahaydaraslan@

sdu.edu.tr

phone: +90 246 211 8258

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the effect of the curtain wall slope angle change on energy consumption was investigated. A building model was created with the DesignBuilder energy simulation program. The energy consumption values of the models with different curtain wall angles were calculated. The effect of the orientation of the inclined glass curtain wall was also examined. It was observed that the angle and direction of the glass curtain wall affects the solar energy gain, heating and cooling loads, and primary energy consumption values of the building. Figure A shows the effect of curtain wall angle change on building shading.

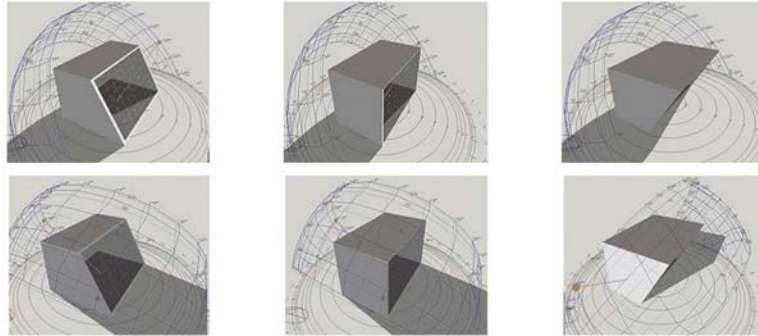


Figure A. The effect of curtain wall angle change on building shading

Purpose:

In this study, it is aimed to examine the effect of glass curtain wall slope angle on energy consumption of building.

Theory and Methods:

Nowadays, glass curtain wall systems have been widely applied. There are many examples where these systems are applied to buildings with inclined facades. Inclined curtain walls are generally designed without considering the energy consumption values of the building. This situation affects the comfort conditions of the building users and the energy consumption of the building negatively. In this study, the effect of the curtain wall slope angle change on energy consumption was investigated. A building model was created with the DesignBuilder energy simulation program. The energy consumption values of the models with different curtain wall angles were calculated. In the study, the effect of the orientation of the inclined glass curtain wall was also examined.

Results:

The cooling loads of the building in hot climate are higher than the heating loads. When the glass curtain wall is facing towards the south, the annual cooling loads increased by 7%, 15% and 22%, respectively, with the decrease of the facade angle from 90° to 80°, 70°, 60°. In addition, when the glass curtain wall is facing towards the south, the annual cooling loads decreased by 9%, 17% and 23%, respectively, as the facade angle increased from 90° to 100°, 110° and 120°. If the glass curtain wall angle is less than 90°, the solar energy gain of the building is higher. This increases the annual cooling energy consumption.

Conclusion:

In the study, it was observed that the angle and direction of the glass curtain wall affects the solar energy gain, heating and cooling loads, and primary energy consumption values of the building.



Binalarda giydirmce cephe açısının enerji tüketimine etkilerinin incelenmesi

Kübra Sümer-Haydaraslan^{1*}, Neşe Dikmen²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Giydirmce cam cepheli binaların enerji tüketiminin azaltılması
- Giydirmce cam cephe eğim açısının bina enerji tüketimine etkisi
- Eğimli giydirmce cam cephe yönünün bina enerji tüketimine etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.03.2022

Kabul: 14.02.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1089497

Anahtar Kelimeler:

Giydirmce cam cephe,
cephe açısı,
bina yönü,
bina enerji tüketimi,
gölgeleme

ÖZ

Giydirmce cam cephe sistemleri bina cephelerine eğimli olarak uygulanabilmektedir. Mimari tasarım aşamasında binanın enerji tüketim değerleri dikkate alınmadan verilen bu karar, kullanıcıların konforunun olumsuz etkilenmesine ve binaların enerji tüketimlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada cam giydirmce cephenin zemin ile yaptığı açı değişiminin enerji tüketim değerlerine etkisi incelenmiştir. Çalışma için DesignBuilder bina enerji simülasyon programı kullanılarak cam giydirmce cephenin zemini ile yaptığı açısının ve cam cephe yönünün değiştirilmesi ile bina enerji tüketimindeki değişim incelenmiştir. Yapılan çalışmada cam giydirmce cephenin açısı ile yönünün, binanın güneş enerjisi kazancı, ısıtma ve soğutma yükleri ile birincil enerji tüketimi değerlerini etkilediği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda cam giydirmce cephe açısı azaldıkça güneş enerjisi kazancı arttığına, cam giydirmce cephe açısı arttıkça ise ısıtma yüklerinin arttığına ulaşılmıştır. Cam giydirmce cephe açısı arttıkça soğutma yükleri azalmıştır. Giydirmce cam cephe güney yöne yönlendiğinde ve zemin ile yaptığı açı 90°den to 80°,70°,60°ye azaldığında binanın soğutma yükü %7, %15 ve %22 oranında artmıştır. Buna ek olarak giydirmce cam cephenin zemin ile yaptığı açı 100°, 110° ve 120°ye arttığında, binanın soğutma yükü %9, %17 ve %23 oranında azalmıştır. Yapılan çalışma giydirmce cam cephe tasarımında bina enerji tüketiminin azaltılması açısından referans bir kaynaktır.

Investigation of the effects of curtain wall angle on energy consumption in buildings

HIGHLIGHTS

- Reducing the energy consumption of a building with a glass curtain wall
- The effect of glass curtain wall slope angle on the energy consumption of the building
- The effect of inclined glass curtain wall orientation on energy consumption of the building

Article Info

Research Article

Received: 17.03.2022

Accepted: 14.02.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1089497

Keywords:

Glass curtain wall
façade angle
building orientation
building energy consumption
self shading

ABSTRACT

Nowadays, glass curtain wall systems have been widely applied. There are many examples where these systems are applied to buildings with inclined facades. Inclined curtain walls are generally designed without considering the energy consumption values of the building. This situation affects the comfort conditions of the building users and the energy consumption of the building negatively. In this study, the effect of the curtain wall slope angle change on energy consumption was investigated. A building model was created with the DesignBuilder energy simulation program. The energy consumption values of the models with different curtain wall angles were calculated. In the study, the effect of the orientation of the inclined glass curtain wall was also examined. The cooling loads of the building in hot climate are higher than the heating loads. When the glass curtain wall is facing towards the south, the annual cooling loads increased by 7%, 15% and 22%, respectively, with the decrease of the facade angle from 90° to 80°, 70°, 60°. In addition, when the glass curtain wall is facing towards the south, the annual cooling loads decreased by 9%, 17% and 23%, respectively, as the facade angle increased from 90° to 100°, 110° and 120°. In the study, it was observed that the angle and direction of the glass curtain wall affects the solar energy gain, heating and cooling loads, and primary energy consumption values of the building.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *kubrahaydaraslan@sdu.edu.tr, nesedikmen@isparta.edu.tr /

Tel: +90 246 211 8258

1. Giriş (Introduction)

Enerjiye talep giderek artmaktadır ve bu durumun gelecekte de devam etmesi ön görülmektedir [1]. Binalarda enerji tüketiminin dünyadaki enerji talebinde önemli bir paya sahiptir [2]. Dünya çapında enerji tüketiminin %40'ı binalardan kaynaklıdır [3]. Bu nedenle, son yıllarda binalarda enerji tüketimi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [2]. Enerji kullanımının neden olduğu çevre sorunları ve yüksek maliyetler nedeniyle binalarda enerji tüketiminin hem tasarım hem de kullanım sırasında azaltılması gerekmektedir [4]. Mimari tasarım aşamasında estetik değerler, binalarda iklim koşulları nedeniyle oluşacak ısıtma ve soğutma yüklerinden daha fazla dikkate alınmaktadır [5]. Erken tasarım aşamasında alınan kararlar, binaların enerji tüketimini etkilemektedir [6, 7]. Bir binanın enerji ihtiyacını belirleyen çeşitli faktörler vardır. Bunlar; iklim, bina kabuğunu oluşturan elemanların özellikleri, kullanıcı davranışı, yönlenme ve bina formu olarak sıralanabilir [8]. Bina kabuğu, dış hava koşullarına maruz kaldığı için enerji tüketimini önemli derecede etkilemektedir [9]. Bina kabuğunu oluşturan elemanlardan olan saydam yüzeyler; gün ışığı, havalandırma ve görsel iletişim sağlamaktadır [10]. Bunun yanında saydam elemanlar, bina kabuğunun en yüksek ısı geçirgenlik katsayısına sahip bölümleridir [6]. Cam yüzeyler kış aylarında ısı kaybı, yaz aylarında ise aşırı ısı kazancına neden olarak binaların

enerji tüketiminde etkilidir [2]. Binalarda saydam yüzeylerden kaynaklı ısı transferini azaltmak için yüksek teknoloji gerektiren çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. İki cam plaka arasına hava sızdırmaz çözümler ile saydam yüzeylerde yalıtım sağlamak mümkündür [11]. Günümüzde estetik nedenlerle büyük pencereler ve cam giydirme cepheleler oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [12]. Diğer bir yandan bazı binalarda cam giydirme cepheleler estetik kaygılarla eğimli kullanılmaktadır (Şekil 1) [13-18].

Cam yüzeyde kullanılan eğim binanın enerji tüketimini etkilemektedir [19-21]. Güneş ışınlarının cephe yüzeyine geliş açısı camın toplam ısı transferinde etkilidir [22]. Yüzeye gelen güneş ışının geliş açısı hem ışınla hem de ışının çarptığı yüzey ile ilişkilidir. Tasarım kaygısı ile farklı açılarda oluşturulan cephelelere çarpan güneş ışınlarının geliş açıları farklılıklar göstermektedir [23]. Eğimli camlarda eğim açısına bağlı olarak direk güneş ısı kazancı üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın sonucunda direk güneş ısı kazancı hesaplarında kullanılması için hesap tablosu geliştirilmiştir [24]. Yapılan başka bir çalışmada bina kabuğunun kendi kendini gölgelemesinin binanın enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Çalışmada binanın başka bir gölgeleme elemanı kullanılmadan gölgeleme yapması düşünülmüştür. Binanın kendi geometrisi ile kendini gölgelemesinin en etkili yönlerinin doğu ve batı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [25]. Cephelelerin



Unicredit Tiriac Bank Binası



The Leadenhall Binası



Bolzano Yönetim Binası



West Taihu İş Merkezi



Freiburg Kütüphane Binası



Paragon Tower Binası

Şekil 1. Eğimli cam cephe örnekleri (Examples of sloped glass curtain wall)

gölgeleme sistemleri üzerine yapılan bir literatür çalışmasında pasif güneş kontrol sistemleri ile enerji tüketiminin azaltılabileceği belirtilmiştir. İncelenen çalışmalarda binanın güneş ışığından korunması ya da güneş ışığından daha fazla fayda sağlaması için binaların kendi kendilerini gölgelemesinin ve gölgeleme elemanı kullanımının enerji tüketiminde etkili olduğuna ulaşılmıştır [26]. Bina cephesinin kendi kendini gölgelemesi konusunda yapılan başka bir araştırma üç farklı şehir için yapılmıştır. Çalışmada sıcak iklim bölgesinde olan bina için cephenin kendi kendini gölgelemesi ile soğutma yükünde %0,6 ile %10,9 arasında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Çalışmanın yapıldığı konum için eğimli cephe yapılması ısıtma yükünü artırsa da soğutma için yapılan enerji tasarrufu daha fazla olmuştur [19]. Bir başka çalışma prizmatik ve çokgen cepheye sahip binaları dikey cepheye sahip binalara göre yıllık enerji tüketimindeki değişimi incelemiştir. Prizmatik yapının dikey duruma kıyasla daha düşük güneş kazanıma sahip olduğuna ulaşılmıştır. Bu durum yıllık enerji tüketimini %7,88 oranında azaltmıştır. Ayrıca eğimli cephelerin yönlenmesine bağlı olarak yıllık enerji ihtiyacı farkı %2,51 ile %16,01 arasında değişmiştir. Çalışmanın sonucunda prizmatik bina formunun sıcak iklim için daha düşük enerji tüketimi sağladığı belirtilmiştir [27]. Küp forma sahip bir binanın güneş radyasyon kazanımı ile serbest forma sahip binaların (öne ve arkaya eğimli cephe) güneş radyasyon kazanımını incelenmiştir. Küp şeklindeki binaya göre serbest forma sahip binanın toplam güneş radyasyonu kazancı %30-53 daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır [28]. Binaların enerji tüketiminin azaltılması için yapılan bina kabuğu ile ilgili çalışmaların yanı sıra ısıtma ve soğutma sistemleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır [29,30]. Bu çalışmalardan bazıları binanın kullanım saatleri dışında olduğu zamanlarda binanın daha az ısıtılması ya da soğutulması ile ilgilidir. Bina kullanımında iken iç mekan sıcaklık değerleri setpoint, bina kullanım dışında olduğunda ise setback olarak ifade edilmektedir. Bir çalışmada bina ısıtma, soğutma ve havalandırma sisteminin tasarımında, binayı kullananların binayı kullanım zamanlarının bina enerji tüketimine etkisini incelemişler [30]. Ayrıca bina kullanım durumuna göre bina iç mekân sıcaklıklarının değiştirilmesi ile enerji tüketimindeki değişimleri inceleyen başka bir çalışma yapılmıştır [31]. Dört farklı kullanıcı tipinin binayı kullanımı durumunda enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir [32]. İncelenen bu çalışmalarda, binanın kullanım zamanının, kullanıcı tipinin ve bina özelliklerinin enerji tüketimini etkilediğine ulaşılmıştır. Ayrıca başka bir çalışma farklı illerde olduğu düşünülen konutlar için kullanıcı özelliklerinin değişiminin ve buna bağlı olarak setpoint ve setback değerlerinin değişim göstermesinin bina enerji tüketimine etkisini incelemişler [33]. Çalışmada ısıtma sisteminin sürekli setpoint değerinde çalışması referans alınarak farklı

setback değerleri tanımlanmıştır. Isıtma sisteminin kullanıcıların binada olmadığı zamanlarda setback değerinde çalışması ile enerji tüketiminde azalma gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada setpoint ile setback değeri arasında farkın artması ya da azalması durumu da incelenmiştir. Bu farkın artması bina ve mahaller için ısıtma ve soğutma yüklerinde daha fazla azalmaya imkân sağlasa da kullanıcılar için ısı konforun ve bina içinde homojen sıcaklık dağılımlarının sağlanabilmesi için bu farkın daha artmamasının önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada ise; sıcak iklimde bulunduğu düşünülen ofis binasının, cam giydirme cephesi eğim açısının binanın enerji tüketimine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada bina enerji simülasyon programı kullanılmış ve ofis binasının setpoint, setback değerleri ve kullanıcı profili tanımlanmıştır. Çalışmada giydirme cam cephe ile zemin arasındaki açının 60° ve 120° arasında 10° ar derece değişiminin binanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjileri ile yıllık birincil enerji tüketimlerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada ayrıca açılı değişiminin farklı yönlerdeki etkisi de incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Referans Bina (Reference Building)

Çalışma için varsayımsal bir ofis binası tasarlanarak bina enerji simülasyon programında modellenmiştir. Bina dikdörtgen formdadır ve teras çatıya sahiptir. Üç duvarı alüminyum kaplama giydirme, bir cephesi ise giydirme cam cephedir. Bina ölçüleri ile ilgili bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bina Özellikleri (Building Features)

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Derinlik	15 m	Zemin Alanı	375 m ²
Genişlik	25 m	Hacim	1875 m ³
Yükseklik	14	Kat Sayısı	5

Binanın Antalya ilinde olduğu varsayılmaktadır. Antalya, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı’na göre I. Derece gün bölgesinde yer almaktadır. Akdeniz iklimi etkisinde olan Antalya’da yazlar sıcak ve kurak kışlar ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Antalya, Türkiye’de yıllık güneşlenme süresi en yüksek illerden biridir. Referans binanın yapı kabuğunu oluşturan elemanlar, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı’nın I. Derece gün bölgesi için önerilen U değerlerine göre oluşturulmuştur. Tablo 2’de bina yapı kabuğunun opak ve saydam bileşenlerine ait termofiziksel özellikler verilmiştir.

Tablo 2. Yapı kabuğunun opak ve saydam bileşenlerine ait termofiziksel özellikler (Thermophysical properties of opaque and transparent components of the building envelope)

Opak Bileşen			
	Zemin (0,536 W/m ² K)	Duvar (0,601 W/m ² K)	Çatı (0,435 W/m ² K)
Opak bileşen katmanları	Granit 3 cm	Alüminyum 3mm	Çakıl 5 cm
	Çimento Harcı 2 cm	Astar Sıvası 2 cm	Filtre Katmanı
	Döşeme 10 cm	Isı Yalıtımı Levhası 4cm	Isı Yalıtım Levhası 7 cm
	Düzeltilme Beton 4 cm	Yapıştırma Harcı	Su Yalıtımı 3 mm
	Radye Temel 45 cm	Kaba Sıva 2,5 cm	Eğim Beton 5 cm
	Koruyucu Beton 5cm	Tuğla Duvar 20 cm	Döşeme 15 cm
	Isı Yalıtım Levhası 4cm	Kaba Sıva 2,5 cm	Saten Alçı 2 cm
	Su Yalıtımı 3 mm	İnce Sıva 1,5 cm	Boya
	Tesviye Beton 5cm	Boya	
	Grobeton 10 cm		
Dolgu Malzemesi 15 cm			
Saydam Bileşen			
	Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC)	Gün ışığı geçirgenlik (%)	U değeri (W/m ² K)
Giydirmce cephe	0,598	0,63	1,786

2.2. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Binaların enerji tüketimlerinin hesaplamasında aylık/mevsimsel statik hesaplama yöntemi, basit saatlik dinamik hesaplama yöntemi ve detaylı dinamik hesaplama yöntemi kullanılmaktadır [34-36]. Aylık/mevsimsel statik hesaplama yönteminde, binaların enerji hesabı aylık ya da mevsimsel dönemler için hesaplanmaktadır [37, 38]. Bu hesap yönteminde uzun zaman aralıklarında hesap yapıldığı için gerçek tüketim değerlerinden uzak sonuçlar çıkmaktadır [39]. Basit saatlik dinamik hesaplama yönteminde, binaların ısıtma ve soğutma için tükettikleri enerjinin hesabı saatlik olarak yapılmaktadır. Bu yöntem yarı dinamik hesaplama yöntemi olarak da bilinmektedir. Diğer bir hesaplama yöntemi olan detaylı dinamik hesap yöntemi ise, binaların birbirleri ile olan etkileşimlerini de hesaba katarak detaylı saatlik hesaplama yapmaktadır. Bu hesaplama yöntemi karmaşık matematiksel işlemler gerektirir. Bu nedenle hesapların yapılabilmesi için bina enerji simülasyon programları geliştirilmiştir [40]. Aylık/mevsimsel statik hesaplama yöntemi ve basit saatlik dinamik hesaplama yöntemi, binaların enerji tüketiminde gerçek tüketim değerlerine detaylı dinamik hesap yöntemi kadar yaklaşmamaktadır. Detaylı dinamik hesap yöntemi ise detaylı ve gerçeğe en yakın sonuçların alınabilmesinden dolayı Avrupa Birliği tarafından kullanılması tavsiye edilen yöntemdir [41]. Bu nedenle çalışmada binaların enerji tüketimlerinin hesaplanması için dinamik hesap yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle ilişkin denklemler Tablo 3'te verilmiştir.

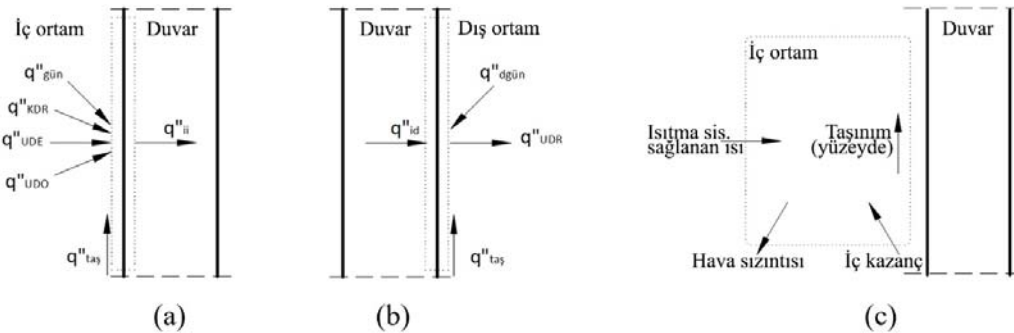
Binaların enerji tüketim değerlerinin eşit koşullarda karşılaştırılabilmesi için, enerji tüketim değerlerinin birincil enerji

değerine dönüştürülmesi gerekmektedir [42]. Bir binanın birincil enerji tüketimi, enerji tüketen her bir bileşenin enerji tüketiminin ilgili yakıtın dönüşüm faktörüyle çarpılarak hesaplanmaktadır [43]. Buna göre birincil enerji tüketimi (kWh/yıl) Eş. 1 ile belirlenir. Burada K_{BE} dönüşüm katsayısıdır. Bu katsayı yakıtın veya kaynağın cinsine bağlıdır ve ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Türkiye'de birincil enerji dönüşüm katsayıları elektrik için 2.36, doğal gaz ve diğer yakıtlar için 1'dir [44]. $\dot{Q}_{tüketim}$ ise yıllık ısıtma ve soğutma için enerji tüketimidir (kWh/yıl) ve Eş. 2 ile hesaplanmıştır. Burada IDK ısıtma / soğutma sistemi dağıtım kaybı, COP sistemdeki cihazın etkinlik katsayısıdır. Çalışmada $\dot{Q}_{saatlik,yük}$ değerlerin hesaplanması için detaylı dinamik hesap yöntemi kullanılmıştır. Detaylı dinamik hesap yöntemi, hesaplamalar için ASHRAE'nin ısı denge yaklaşımını kullanmaktadır. Bu yaklaşım binanın her bir yüzeyinin dış ve iç ortama bakan kısımları ile iç ortamları çevreleyen her bir ortama uygulanmaktadır (Şekil 2 a, Şekil 2 b, Şekil 2 c) [45, 46].

İç ve dış ortama bakan yüzeye göre ısı denge eşitlikleri sırasıyla Eş. 3 ve Eş. 4 ile hesaplanmıştır (Tablo 3). Burada q''_{UDO} ortam yüzeyleri arasında net uzun dalga radyasyonla ısı girişi (W/m^2), q''_{KDR} Ortam içindeki aydınlatmalardan yüzeylere net kısa dalga radyasyonla ısı girişi (W/m^2), q''_{UDE} ortam içindeki ekipmanlardan uzun dalga radyasyonla ısı girişi (W/m^2), $q''_{gün}$ yüzeyde absorbe edilen güneş radyasyonu ile ısı girişi (W/m^2), q''_{ii} duvarda iletimle ısı geçiştir (iç ortama göre) (W/m^2), $q''_{dgün}$ absorbe edilmiş direkt ve dağınık güneş (kısa dalga boyu) radyasyonu ile ısı girişi (W/m^2), q''_{UDR} dış havaya net uzun dalga (ısı) radyasyonu ile ısı geçiştir (W/m^2), q''_{id} duvarda iletimle ısı geçiştir (dış ortama göre) (W/m^2). $q''_{taş}$ ise taşınımı ısı

Tablo 3. Binaların enerji tüketiminde kullanılan dinamik hesap yöntemi denklemleri (Dynamic calculation method equations used in the energy consumption calculation of buildings)

Eşitlik	Eşitlik No
$\dot{Q}_{birincil\ enerji\ tüketimi} = \sum (\dot{Q}_{tüketim} \times K_{BE})$	(1)
$\dot{Q}_{tüketim} = \frac{\sum \dot{Q}_{saatlik,yük} \times (1 + \frac{IDK}{100})}{COP}$	(2)
$q''_{UDO} + q''_{KDR} + q''_{UDE} + q''_{gün} + q''_{taş} - q''_{ii} = 0$	(3)
$q''_{dgün} - q''_{UDR} - q''_{taş} + q''_{id} = 0$	(4)
$\dot{Q}_{sis} = - \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{yüzey}} h_i A_i (T_o - T_{yi}) + \sum_{i=1}^{N_{ortam}} \dot{m}_i C_p (T_o - T_{oi}) + \dot{m}_{inf} C_p (T_o - T_{\infty})$	(5)
$T_o^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i^t + \dot{m}_{sis} C_p T_{bh}^t + (C_o \frac{dT_o}{dt} + \sum_{i=1}^{N_{yüzey}} h_i A_i T_{yi} + \sum_{i=1}^{N_{ortam}} \dot{m}_i C_p T_{oi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty})^{t-\delta t}}{\frac{C_o}{\delta t} + (\sum_{i=1}^{N_{yüzey}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{ortam}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{sis} C_p)}$	(6)



Şekil 2. Isı yükünün belirlenmesinde ısı denge şeması (ısıtma yükü için) (a) iç ortama bakan yüzeye göre (b) dış ortama bakan yüzeye göre (c) iç ortam ısı denge yaklaşımı (Thermal balance scheme in determining the heat load (for heating load) (a) according to the surface facing the indoor environment (b) according to the surface facing the outside environment (c) indoor thermal balance approach)

girişidir (W/m^2) ortam sıcaklığına göre hesaplanır. Ortam sıcaklığı iç ortam ısı denge yaklaşımına göre belirlenir (Şekil 2c). Bu yaklaşımda, Eş. 5 eşitliğin sağ tarafındaki ilk ifade iç ısı yükler toplamını (W), ikinci ifade ortam yüzeylerine taşınma ısı geçiş toplamını (W), üçüncü ifade iç ortamdan komşu iç ortamlara hava sızıntısı ile ısı geçiş toplamını (W) ve son ifade ise iç ortamdan dış ortama hava sızıntısı ile ısı geçişini (W) göstermektedir. Q_{sis} ise ısıtma sisteminden ortama verilmesi gereken ısıdır (W) ve aynı zamanda $Q_{sis} = -Q_{yük}$ olarak ifade edilir. Eşitlikte yer alan T_o iç ortam sıcaklığıdır ve Eş. 6'ya göre hesaplanır (Tablo 3). Eş. 2' de yer alan $Q_{saatlik,yük}$, $Q_{yük}$ 'ün yıl boyu her bir saat hesaplanıp toplanması ile elde edilir. Bu eşitlikler ile ortamın ısıtma ısıtma yükü hesaplanabilirken, soğutma yükü bu eşitliklerde ısı geçiş yönü göz önünde bulundurularak hesaplanabilir. Binaların ısı yükleri bu eşitliklerin eş zamanlı olarak çözülmesiyle elde edilmektedir. Bu çalışmada bu eşitlikler DesignBuilder bina enerji simülasyon programı ile çözdürülmüştür.

2.3. Nümerik Simülasyon (Numerical Simulation)

Bina performansı, binaların farklı koşullar altındaki davranışlarıdır. Bina performansı incelenirken çevre, maliyet, konfor ve enerji açısından performans durumları incelenmektedir [47]. Bina enerji performansı; binanın ısıtılması soğutulması, kullanım sıcak suyu eldesi, aydınlatma ihtiyacı için nihai enerji tüketimi/talebi, birincil enerji tüketimi/talebi, enerji maliyetleri, CO₂ salınımları vb. olarak tanımlanmaktadır [48-50]. Binaların enerji performansının artırılması için tasarım aşamasında iken kullanılacak tasarım destek sistemleri geliştirilmiştir [51]. Bu sistemlerden biri bina enerji simülasyonudur. Enerji simülasyon programları ile bina boyutu, yapı elemanı, ısıtma, soğutma, aydınlatma vb. özellikler gerçeğe en yakın şekilde tanımlanması sağlanmaktadır. Bu tanımlamalar yapılarak binanın enerji tüketimi/talebi hesaplanabilir [52, 53]. Bu çalışmada referans binanın enerji tüketimi/talebi DesignBuilder bina enerji simülasyon programı kullanılarak hesaplanmıştır. Programın çalışma prensibini gösteren akış şeması Şekil 3'te verilmiştir. Programda hesapların yapılması için kullanılan algoritma, Chan [54] ve Alam ve ark. [55] tarafından, Kuznik ve Virgone [56]'nin yaptığı deneysel bir çalışma sonuçları ile doğrulanmıştır. Referans binada ısıtma sistemi kaynağı olarak doğalgaz kullanılırken, soğutma sistemi kaynağı olarak elektrik

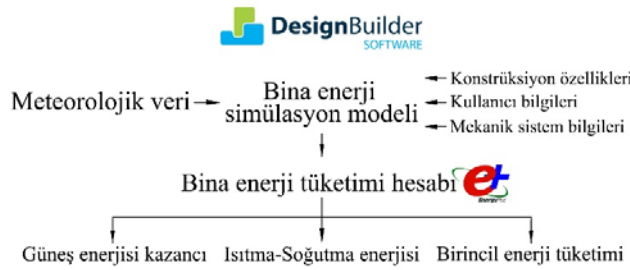
kullanılmıştır. Kapı ve pencere açıklıklarının dışarıdan içeriye neden olduğu infiltrasyon değeri 0,8 (kez/saat) [50] ve iç ortam sıcaklığı kış ayları için 22°C ve yaz ayları için 24°C [51] olarak tanımlanmıştır. Bina ofis amaçlı kullanıldığı için, kullanıcıların saat 08:00 ile 18:00 arasında binada oldukları varsayılmıştır. Bu saatler dışında ise bina kullanılmamaktadır. Binanın kullanılmadığı zamanlardaki sıcaklık değerleri kış ayları için 18°C ve yaz ayları için 28°C olarak tanımlanmıştır (Şekil 4). Antalya iline ait iklim verileri Meteorolog programından elde edilmiştir. Çalışmada giydirmeye cam cephe açısının etkisi incelendiği için bina boş bir hacim olarak düşünülmüştür. Ayrıca enerji tüketim hesaplarında sadece giydirmeye cephenin etkisini görmek için giydirmeye cephe dışında kalan yüzeyler adyabatik olarak tanımlanmıştır.

Çalışmada giydirmeye cephenin eğim açısının değiştirildiği 7 tane model hazırlanmıştır. Hazırlanan bu modellerdeki giydirmeye cephelerin zeminleri ile yaptıkları açılar; 60°, 70°, 80°, 90°, 100°, 110° ve 120° dir. Cephe açısı değişimi ile binanın hacmi ve cephenin yüzey alanı değişmektedir. Bu durumda enerji tüketimi değerlerinin değişiminde cephe açısının etkisi net olarak belirlenmemektedir. Bu nedenle cephe açısı değişse bile, giydirmeye cephenin yüzey alanı ve binanın hacmi sabit olacak şekilde binanın ölçülerinde değişiklik yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Giydirmeye cephe dışındaki yüzeyler adyabatik kabul edildiği için bu değişimler enerji tüketimini etkilememiş sadece cephe açısının değişimi ile enerji tüketimindeki değişimler elde edilmiştir. Cephe açısı değişiminin farklı yönlerdeki etkisini inceleyebilmek adına her modelin cam cephesi kuzey, güney, doğu ve batıya yönlendirilerek enerji analizleri yapılmıştır.

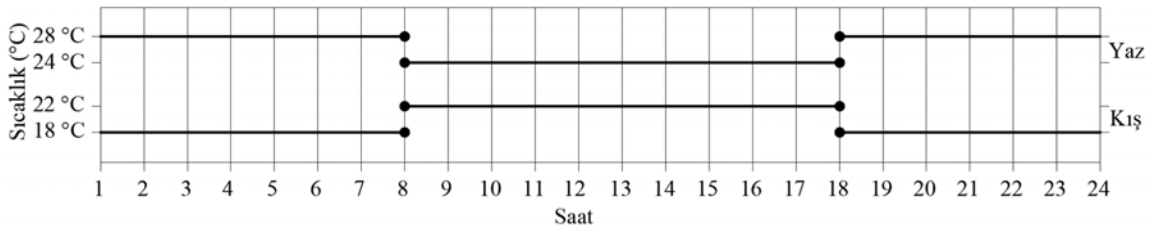
3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

3.1. Güneş Enerjisi Kazanımı ve Gölgeleme (Solar Energy Gain and Shading)

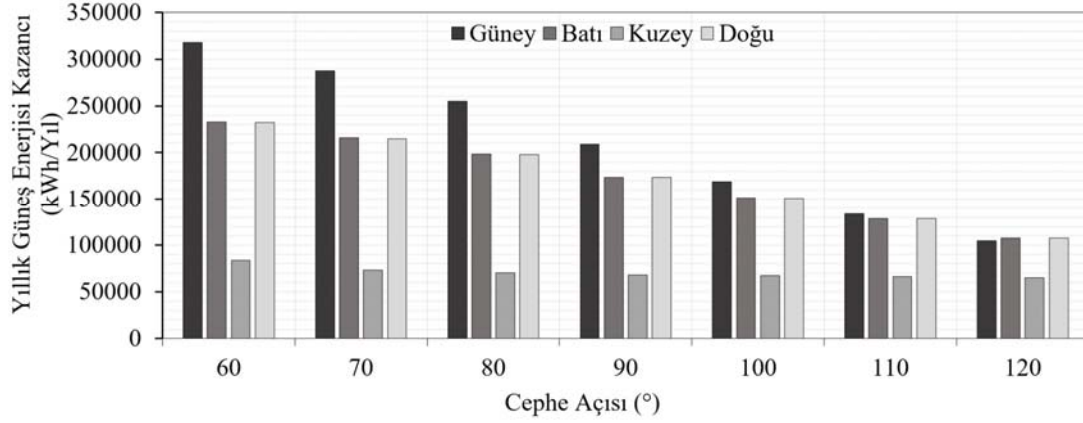
Binanın güneş enerjisi ile olan ilişkisini belirleyebilmek için iki farklı analiz yapılmıştır. Öncelikle giydirmeye cephe açısı değişimine ve binanın yönlendirilmesine göre yıllık güneş enerjisi kazançları hesaplanmıştır (Şekil 5). Daha sonra belirli bir gün için gölge analizleri yapılmıştır. Temmuz ayı içerisinde saat 09:00 ve 17:00'da cephe açısının 60°, 90° ve 120° olduğu durumlar için dört farklı yöne göre gölgeleme görselleri elde edilmiştir (Tablo 4).



Şekil 3. DesignBuilder programına ait akış şeması (DesignBuilder program flowchart)



Şekil 4. Kullanıcıların binada olduğu saatler ve bu saatlerdeki sıcaklık değerleri (The hours the users are in the building and the temperature values at these hours)



Şekil 5. Giydirme cephe açısı değişiminin farklı yönlerde yıllık güneş enerjisi kazancına etkileri
(Effects of the glass curtain wall angle change on annual solar energy gain in different directions)

Giydirme cephe güneye yönelmiş ve 90° açıda iken güneş enerjisi kazancı referans olarak kabul edildiğinde; cephe açısının 10° ar derece azalmasıyla (80°, 70° ve 60°) güneş enerjisi kazancı sırasıyla %22, %38 ve %52 oranında artmıştır. Güney yönündeki gölgeleme durumlarına bakıldığında, 90°'ye kıyasla 60°'de binanın kendini gölgelemediği ve ayrıca güneş ışınlarının daha fazla bina içine alındığı görülmektedir. Bu durum giydirme cephe açısının azalmasıyla güneş enerjisi kazancının arttığını göstermektedir. Giydirme cephe açısı 90°'ye kıyasla 10° ar derece arttığında (100°, 110° ve 120°) ise güneş enerjisi kazancı sırasıyla %19, %36 ve %50 oranında azalmıştır. Bu yöndeki gölgeleme durumlarına bakıldığında; 90°'ye kıyasla 120°'de binanın kendini gölgelediği ve güneş ışınlarının binaya alınmadığı görülmektedir. Giydirme cephe açısının artmasıyla güneş enerjisi kazancı azalmaktadır. Analiz sonuçlarına göre en yüksek güneş enerjisi kazancı cam giydirme cephe güneye yönelmiş ve eğim açısı 60°'nin altında iken gerçekleşmektedir. Çünkü giydirme cephe açısı 60° olduğunda güneş ışınları, diğer açıdaki cam cephelere göre daha dik açı ile gelmiştir.

Analiz sonuçlarına göre en düşük güneş enerjisi kazancı cam cephe kuzeye yönlendiğinde elde edilmektedir. Giydirme cephe kuzeye yönelmiş ve 90° açıda iken güneş enerjisi kazancı referans olarak kabul edildiğinde; cephe açısının 10° ar derece azalmasıyla güneş enerjisi kazancı sırasıyla %3, %7 ve %24 oranında artmıştır. Cephe açısı 10° ar derece arttığında ise güneş enerjisi kazancı sırasıyla %1, %3 ve %5 oranlarında azalmıştır. Kuzey yönündeki gölgeleme durumlarına bakıldığında, 90° ve 120°'ye kıyasla 60°'de binanın kendini gölgelemediği ve güneş ışınlarının daha fazla binaya girdiği görülmektedir. Çünkü bu açıda, diğer cephe açılarında göre güneş ışınları cam cepheye daha dik açı ile gelmiştir. Bu yön ve açıda saat 09:00'a göre 17:00'da bina içerisine daha fazla güneş ışınlarının bina içine girdiği görülürken, aynı açıda güney yönünde 17:00'a göre 09:00'da binanın içerisinden daha fazla güneş ışınlarının bina içine girdiği görülmüştür.

Giydirme cephenin doğu ve batı yönlerinde olması durumunda elde edilen sonuçlar, güney ve kuzey yönlerinde olması durumuna benzer çıkmıştır. Buna göre giydirme cephe açısı 90°'ye kıyasla 80°, 70° ve 60° olduğunda güneş enerji kazanımları sırasıyla yaklaşık olarak %14, %24 ve %34 oranlarında artarken; 100°, 110° ve 120° olduğunda sırasıyla yaklaşık olarak %13, %26 ve %38 oranlarında azalmıştır. Yönler arasındaki fark ise saatlik olarak ortaya çıkmıştır. Buna göre, 60°'de doğu yönünde güneş ışınları saat 09:00'da binanın içerisine girerken, batı yönünde saat 17:00'da girmiştir. 120°'de ise bina kendini gölgelediği için güneş ışınları binaya daha az girmiş ve güneş enerjisi kazanımı daha az olmuştur.

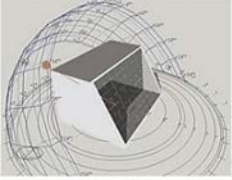
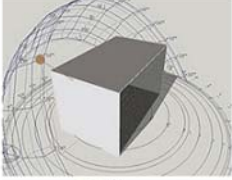
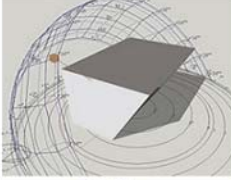
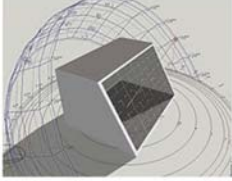
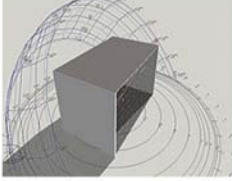
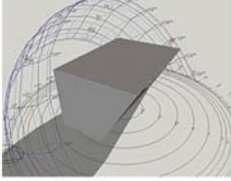
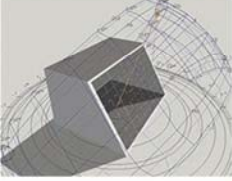
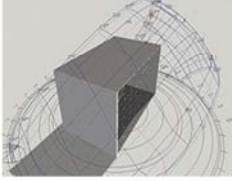
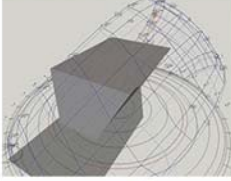
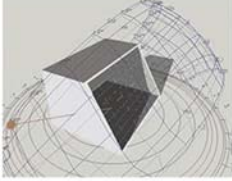
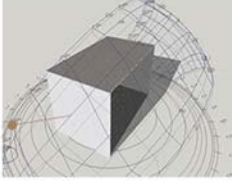
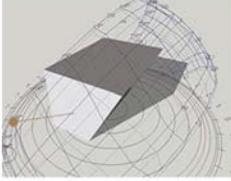
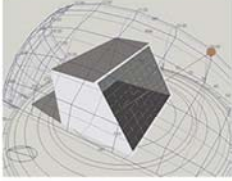
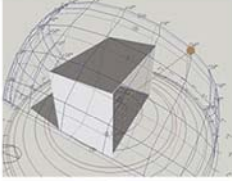
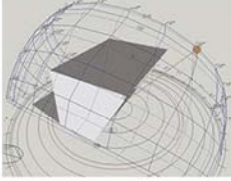
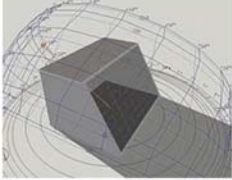
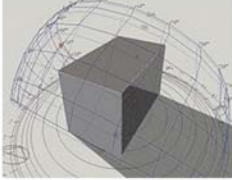
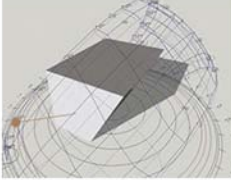
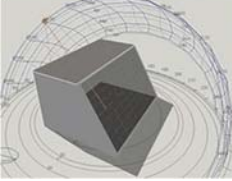
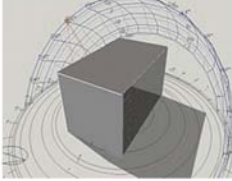
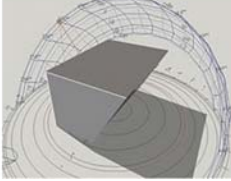
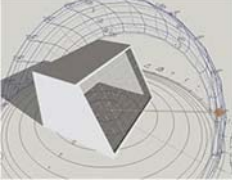
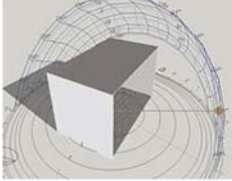
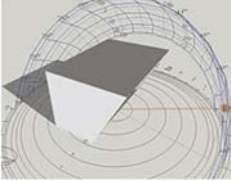
Elde edilen bu sonuçlar, bina enerji performans parametreleri içerisinde yer alan pasif güneş sistemleri, yerel güneş ışığına maruz kalma koşulları ve güneş korumasının [50] önemini göstermiştir. Literatürde yer alan çalışmalardan Zerefos vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada eğimli cephenin düz cepheye kıyasla daha düşük güneş kazanıma sahip olduğuna ve bu durumun yıllık enerji tüketimini %7,88 oranında azaldığı belirtilmiştir [27]. Ayrıca Zhang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada eğimli cepheye kıyasla düz cephede toplam güneş radyasyonu kazancında yaklaşık %30 ile %53 arasında farklılık olduğu belirtilmiştir [28]. Bu çalışmada ise eğimli cephelerin güneş enerjisi kazanımı düz cepheye kıyasla %1 ile %52 arasında değişmiştir. Elde edilen bu bulguların literatürde yer alan bulgular ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3.2. Bina Enerji Tüketimindeki Değişim (Change in Building Energy Consumption)

Binanın giydirme cephesi ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için bir analiz yapılmıştır. Yapılan analizde, giydirme cephe açısı değişimine ve binanın yönelmesine göre yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ile birincil enerji tüketimi belirlenmiştir (Şekil 6a, Şekil 6b, Şekil 6c).

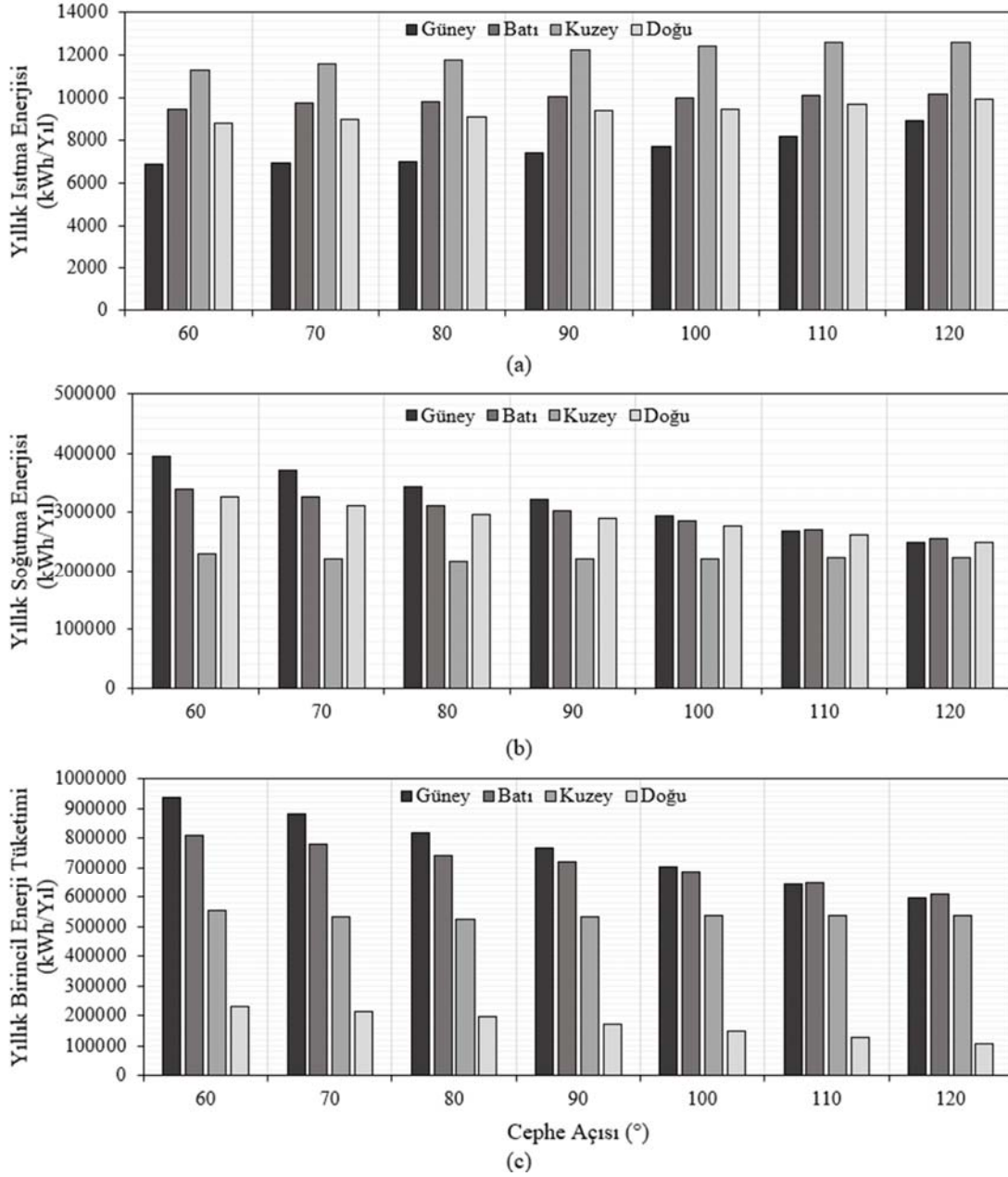
Giydirme cephe güneye yönelmiş ve 90° açıda iken yıllık ısıtma enerjisi referans olarak kabul edildiğinde; cephe açısının 10° ar derece azalmasıyla (80°, 70° ve 60°) yıllık ısıtma enerjisi sırasıyla %5, %6 ve %7 oranında azalmıştır. Giydirme cephe açısı 90°'ye kıyasla 10° ar derece arttığında (100°, 110° ve 120°) ise sırasıyla %4, %11 ve %20 oranında artmıştır. Bu değişimler değerlendirildiğinde; giydirme cephe açısının az olması durumunda (60°) güneş ışınları giydirme cepheye diğer açılara kıyasla daha dik açı ile geldiği için bina güneş enerjisinden daha fazla yararlanmış ve ısıtma için harcanan enerji azalmıştır. Aynı yönde 90° açıda iken yıllık soğutma enerjisi referans olarak kabul edildiğinde; cephe açısının 10° ar derece azalmasıyla yıllık soğutma enerjisi sırasıyla %7, %15 ve %22 oranında artmıştır. Giydirme cephe açısı 90°'ye kıyasla 10° ar derece arttığında ise sırasıyla %9, %17 ve %23 oranında azalmıştır. Bu değişimler değerlendirildiğinde; giydirme cephe açısının az olması durumunda (60°) binanın güneş enerjisi kazancının daha fazla olduğu ve bu durumun yıllık soğutma enerjisini artırdığı görülmüştür. Çalışma bölgesi sıcak bir iklimde olduğu için, birincil enerji tüketimi soğutma için harcanan enerjideki değişime paralel sonuç vermiştir. Buna göre 90° referans kabul edildiğinde, cephe açısının 10° ar derece azalmasıyla birincil enerji tüketimi sırasıyla %6, %15 ve %22 oranında artmıştır. Giydirme cephe açısı 90°'ye kıyasla 10° ar derece arttığında ise sırasıyla %9, %16 ve %22 oranında azalmıştır. Yapılan

Tablo 4. Giydirme cephe açısı değişiminin farklı yönlerdeki gölgeleme durumu
(Shading situation of the glass curtain wall angle change in different directions)

Yön	Saat	Giydirme Cephe Açısı (Temmuz Ayı)		
		60	90	120
Kuzey	09:00			
	17:00			
Güney	09:00			
	17:00			
Doğu	09:00			
	17:00			
Batı	09:00			
	17:00			

analizlerde bütün açılar için en düşük ısıtma enerjisi cam cephe güneye yönelmişken elde edilmiştir. Bütün yönler için en düşük ısıtma yükleri cephe açısının 60° olduğu durumda gözlenmiştir. Elde

edilen sonuçlara göre binanın soğutma yükleri ısıtma yüklerinden çok daha fazladır. Soğutma yükleri incelendiğinde cephe açısı 100° ve üzerinde iken en yüksek soğutma yükünün güney cephesinde elde



Şekil 6. Binanın enerji tüketiminin giydirme cephe açısı ve yönelmesine göre değişimleri (a) yıllık ısıtma enerjisi tüketimi, (b) yıllık soğutma enerjisi tüketimi, (c) yıllık birincil enerji tüketimi
(Changes in the energy consumption of the building according to the curtain wall angle and orientation (a) annual heating energy consumption, (b) annual cooling energy consumption, (c) annual primary energy consumption)

edildiği görülmektedir. Açı 100°'nin üzerine çıktığında sıralamanın değiştiği gözlenmiştir. Cephe açısının 120° olduğu modelde enerji yükleri düşük ve birbirine yakındır.

Giydirme cephe kuzeye yönelmiş ve 90° açıda iken yıllık ısıtma enerjisi referans olarak kabul edildiğinde; cephe açısının 10°'ar derece azalmasıyla (80°, 70° ve 60°) yıllık ısıtma enerjisi sırasıyla %4, %5 ve %7 oranında azalmıştır. Giydirmeye cephe açısı 90°'ye kıyasla 10°'ar derece arttığında (100°, 110° ve 120°) ise sırasıyla %1, %3 ve %4 oranında artmıştır. Bu değişimler değerlendirildiğinde; giydirmeye cephe açısının küçük olması durumunda (60°) binanın güneş enerjisinden daha fazla faydalandığı ve ısıtma için harcanan enerjinin

azaldığı görülmektedir. Aynı yönde 90° açıda iken yıllık soğutma enerjisi referans olarak kabul edildiğinde; cephe açısının 10°'ar derece azalmasıyla yıllık soğutma enerjisi sırasıyla %1, %2 ve %3 oranında artmıştır. Giydirmeye cephe açısı 90°'ye kıyasla 10°'ar derece arttığında ise önemli bir değişim olmamıştır. Bu değişimler değerlendirildiğinde; giydirmeye cephe açısının küçük olması durumunda (60°) binanın güneş enerjisi kazancının daha fazla olduğu ve bu durumun yıllık soğutma enerjisini artırdığı görülmüştür. Bina birincil enerji tüketimi incelendiğinde ise; cephe açısı 90° referans kabul edildiğinde, cephe açısının 10°'ar derece azalmasıyla birincil enerji tüketimi sırasıyla %1, %2 ve %3 oranında artmıştır. Giydirmeye cephe açısı 90°'ye kıyasla 10°'ar derece arttığında ise

değişim yaklaşık %1 oranlarında olmuştur. Yapılan analizlerde bütün açılar için en yüksek ısıtma enerjisi cam cephe kuzeye yönelmişken elde edilmiştir. Giydirmeye cephenin doğu ve batı yönlerinde olması durumunda elde edilen sonuçlar, güney ve kuzey yönlerinde olması durumuna benzer çıkmıştır. Buna göre giydirmeye cephe açısı 90°'ye kıyasla 80°, 70° ve 60° olduğunda yıllık ısıtma enerjisi sırasıyla yaklaşık olarak %3, %4 ve %6 oranlarında azalırken; 100°, 110° ve 120° olduğunda sırasıyla yaklaşık olarak %1, %3 ve %6 oranlarında artmıştır. Soğutma enerjisi ve birincil enerji tüketimi değerleri ise; cephe açısı 90°'ye kıyasla 80°, 70° ve 60° olduğunda sırasıyla yaklaşık olarak %3, %8 ve %12 oranlarında artarken; 100°, 110° ve 120° olduğunda sırasıyla yaklaşık olarak %5, %10 ve %12 oranlarında azalmıştır.

Elde edilen bu bulgular da, bina enerji performans parametreleri içerisinde yer alan pasif güneş sistemleri, yerel güneş ışığına maruz kalma koşulları ve güneş korumasının [57] önemini göstermiştir. Literatürde yer alan çalışmalardan Chan vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada sıcak iklim bölgesinde olan bina için cephenin kendi kendini gölgelemesi ile soğutma yükünde %0,6 ile %10,9 arasında enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir [19]. Zerefos vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada eğimli cepheye sahip binada, düz cepheye kıyasla yıllık enerji tüketiminin %7,88 oranında daha az olduğuna ulaşılmıştır [27]. Bu çalışmada ise eğimli cepheye sahip binanın soğutma enerjisinde ve birincil enerji tüketiminde %1 ile %23 arasında tasarruf edilebileceği görülmüştür. Elde edilen bu bulgunun literatürde yer alan bulgular ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Binaların enerji tüketimindeki payının artması düşünüldüğünde bina tasarım aşamasında iken alınabilecek önlemler önem kazanmıştır. Özellikle cam yüzeylere sahip binalarda binaların enerji tüketim değerleri yüksektir. Ayrıca bu binalar sıcak iklimde yer aldığında iç mekanın soğutulması için daha fazla enerji tüketilmektedir. Bu durum iklim değişikliği kaynaklı sıcaklıkların artmaya devam ettiği bu günlerde daha da önemli hale gelmiştir. Bu doğrultuda yapılan bu çalışma sıcak iklimde bulunan ve saydam yüzeye sahip bir bina için yapılmıştır. Bu çalışmada; giydirmeye cam cepheye sahip bir binanın, giydirmeye cephesinin zemin ile yaptığı açının ve yönelmesinin bina enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Sıcak iklimde olduğu varsayılan binanın soğutma yükleri ısıtma yüklerinden çok daha fazladır.
- Cam giydirmeye cephe açısının değişimi, binanın güneş enerjisi kazancı, ısıtma ve soğutma yükleri ile birincil enerji tüketimi değerlerini etkilemektedir.
- Cam giydirmeye cephenin yönü, binanın güneş enerjisi kazancı, ısıtma ve soğutma yükleri ile birincil enerji tüketimi değerlerini etkilemektedir.
- Cam giydirmeye cephe açısı azaldıkça güneş enerjisi kazancı artmıştır.
- Cam giydirmeye cephe açısı arttıkça ısıtma yükleri artmıştır.
- Cam giydirmeye cephe açısı arttıkça soğutma yükleri azalmıştır.
- Cam giydirmeye cephe açısı geniş açı iken bina kendi kendini gölgelemektedir.
- Eğimli cephelerin güneş enerjisi kazanımı düz cepheye kıyasla %1 ile %52 arasında değişmiştir
- Eğimli cepheye sahip binanın soğutma enerjisinde ve birincil enerji tüketiminde %1 ile %23 arasında tasarruf edilebileceği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, binanın cephe açısının ve yönünün bina mimari tasarım aşamasında iken dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Farklı iklimler için bu sonuçlar tasarımcılara yol göstericidir.

Çalışmanın farklı formlara uygulanabilir olması da ayrıca tasarımcılara katkı sağlamaktadır. Çalışmanın sonuçları farklı işlevlere sahip binalar için de uygulanabilir. Bu durum çalışmanın kapsamını da genişletmiştir.

Kaynaklar (References)

1. Fasi M.A., Budaiwi I.M., Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates, *Energy Building*, 108, 307-316, 2015.
2. Alghoul S.K., H.G. Rijabo, Mashena M.E., Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya, *Journal of Building Engineering*, 11, 82-86, 2017.
3. International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives 2016*, OECD/IEA, Paris, 2016.
4. Ertürk M., Keçebaş A., Prediction of the effect of insulation thickness and emission on heating energy requirements of cities in the future. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103270, 2021.
5. Kandar, M.Z., Nimlyat, P.S., Abdullahi, M.G., Dodo, Y.A., Influence of inclined wall self-shading strategy on office building heat gain and energy performance in hot humid climate of Malaysia. *Heliyon*, 5 (7), 1-10, 2019.
6. Amaral A.R, Rodrigues E., Gaspar A.R., Gomes A., A thermal performance parametric study of window type, orientation, size and shadowing effect, *Sustainable Cities and Society*, 26, 456-465, 2016.
7. Wen L., Hiyama K., Koganei M., A method for creating maps of recommended window-to-wall ratios to assign appropriate default values in design performance modeling: A case study of a typical office building in Japan, *Energy and Buildings*, 145, 304-317, 2017.
8. Abanda F.H., Byers L., An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling), *Energy*, 97, 517-527, 2016.
9. Echenagucia T.M., Capozzoli A., Cascone Y., Sassone M., The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting Energy performance analysis, *Applied Energy*, 154, 577-591, 2015.
10. Liao, W., Wen, C., Luo, Y., Peng, J., Li, N., Influence of different building transparent envelopes on energy consumption and thermal environment of radiant ceiling heating and cooling systems. *Energy and Buildings*, 255, 1-17, 2022.
11. Ertürk, M., Pul, H., Daşdemir, A., Coşkun, C., Oktay, Z., Pencereleerde birbirine paralel farklı tabaka halinde hava boşluğunun enerji tüketimine etkisinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 4 (2), 646-654, 2016.
12. Qu, J., Song, J., Qin, J., Song, Z., Zhang, W., Shi, Y., Zhang, T., Zhang, H., Zhang, R., He, Z., Xue, X., Transparent thermal insulation coatings for energy efficient glass windows and curtain walls, *Energy and Buildings*, 77, 1-10, 2014.
13. Archdaily. Unicredit Tiriack Bank Binası. <https://www.archdaily.com/261774/unicredit-tiriack-bank-hq-westfourth-architecture>. Erişim tarihi Kasım 12, 2021.
14. Archdaily. The Leadenhall Binası. <https://www.archdaily.com/547041/the-leadenhall-building-rogers-stirk-harbour-partners>. Erişim tarihi Aralık 01, 2021.
15. Archdaily. Bolzano Yönetim Binası. <https://www.archdaily.com/506227/bozen-waste-to-energy-plant-cl-and-aa-architects>. Erişim tarihi Kasım 09, 2021.
16. Archdaily. West Taihu İş Merkezi. <https://www.archdaily.com/487639/west-taihu-international-business-plaza-lab-architecture-studio-siadr>. Erişim tarihi Aralık 10, 2021.
17. Archdaily. Freiburg Kütüphane Binası. <https://www.archdaily.com/783418/library-in-freiburg-degelo-architekten-bsa-sia-ag-plus-ittenbrechbuhl-ag-basel>. Erişim tarihi Kasım 12, 2021.
18. Arkiv. Paragon Tower Binası. <http://www.arkiv.com.tr/proje/paragon-tower/3806>. Erişim tarihi Kasım 12, 2021.
19. Chan A.L.S., Chow T.T., Thermal performance of air-conditioned office buildings constructed with inclined walls in different climates in China, *Applied Energy*, 114, 45-57, 2014.
20. Arıcı M., Bilgin F., Nižetić S., Karabay H., PCM integrated to external building walls: An optimization study on maximum activation of latent heat, *Applied Thermal Engineering*, 165, 114560, 2020.

21. Baker N.M.W., Taleb A.M., The Application of the inclined window method for Passive cooling in buildings, *Architectural Science Review*, 45 (1), 51-55, 2002.
22. Nielsen T.R., Duer K., Svendsen S., Energy performance of glazings and windows, *Solar Energy*, 69 (6), 137-143, 2001.
23. Hachem C., Athienitis A., Fazio P., Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs, *Energy and Buildings*, 43 (9), 2262-73, 2011
24. Ko W.H., Tilted glazing: angle-dependence of direct solar heat gain and form-refining of complex facades, Master of Building Science, University of Southern California, Los Angeles, 2012.
25. Capeluto G., Energy performance of the self-shading building envelope, *Energy and Buildings*, 35 (3), 327-336, 2003.
26. Valladares-Rendón L.G., Schmid G., Lo S. L., Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems, *Energy and Buildings*, 140, 458-479, 2017.
27. Zerefos S.C., Tessas C.A., Kotsiopoulos A.M., Founda D., Kokkini A., The role of building form in energy consumption: The case of a prismatic building in Athens, *Energy and Buildings*, 48, 97-102, 2012.
28. Zhang L., Zhang L., Wang Y., Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of China, *Solar Energy*, 132, 38-50, 2016.
29. Ertürk M., İç ortam sıcaklığının ısıtma ve soğutma derece saat değerlerine etkisinin Sakarya için araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (2), 599-605, 2021.
30. Li Z., Heo Y., Augenbroe, G., Hvac design informed by organizational simulation, Eleventh International IBPSA Conference, 27-30 July, Glasgow, Scotland, 2198-2203, 2009.
31. Martinaitis V., Zavadskas K., E., Motuziene V., Vilutiene T., Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study. *Energy and Buildings*, 101 (2015), 64-75, 2015.
32. Motuziene V., Vilutiene, T., Modelling the effect of the domestic occupancy profiles on predicted energy demand of the energy efficient house, *Procedia Engineering*, 57 (2013), 798-807, 2013.
33. Sümer Haydaraslan K. ve Yaşar Y, Bina iç mekân sıcaklıklarının kullanıcı davranışına göre değişiminin enerji tüketimine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (3), 1217-22, 2018.
34. Çay, Y., Ertürk, M., Aylık ve sezonluk yirmi dört saat ısıtma derece saat değerlerinin Sakarya için tahmin edilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (2), 616-627, 2021.
35. T.C. Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ. (30227), 01.10.2017.29.
36. EN ISO 13790, Energy Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling, International Organization for Standardization (ISO), Cenevre, Şubat 2008.
37. McQiston, F.C., Parker, J.D., ve Spitler, J., Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design, Six Edition, John Wiley Press, USA, 2005.
38. Maçka Kalfa, S., Türkiye İklim Bölgelerinde Konut Binaları için Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
39. Ganiç, N., Yılmaz, Z. ve Corgnati, S., Enerji Performansı Gereksinimlerinin Optimum Maliyet Düzeyinin Türkiye'deki Örnek Bir Ofis Binasında Yapılan İyileştirmeler İçin Hesaplanması, 11. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi, Nisan 2013, İzmir, 889-904.
40. Sümer Haydaraslan, K., Binaların Tasarım Stratejilerinin Simülasyon Optimizasyonuna Dayalı Olarak Değerlendirilmesi: Çok Katlı Konut Yapıları TOKİ Örneği, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2021.
41. European Commission, Commission Delegated Regulation (EU) No.244/2012 of 16 January 2012 Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost- optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, Official Journal of the European Union, 2012.
42. EN 15603, Energy Performance of Buildings, Overall Energy Use and Definition of Energy Ratings, European Committee for Standardization (CEN), Brüksel, 2008.
43. Ashrafian T., Yılmaz A.Z., Corgnati S.P., Moazzen N., Methodology to define cost-optimal level of architectural measures for energy efficient retrofits of existing detached residential buildings in Turkey, *Energy and Buildings*, 120, 58-77, 2016.
44. Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK). Konut Sertifika Kılavuzu. www.cedbik.org. Erişim tarihi Temmuz 10, 2021.
45. Strand, R.K., Pedersen, C.O. ve Crawley, D.B., Modularization and Simulation Techniques for Heat Balance Based Energy and Load Calculation Programs: The Experience of The Ashrae Loads Toolkit and Energyplus, Seventh International IBPSA Conference, Ağustos 2001, Brezilya, 43-50.
46. Haydaraslan, E., Çuhadaroğlu, B., Yaşar, Y., Kat ısıtmasında yüzer döşeme ve faz değiştiren malzeme kullanımının enerji verimliliğine ve konfor koşullarına etkisi, *Mühendis ve Makine*, 61, 180-197, 2020.
47. Szigeti F., Gerald D., What is performance based building, performance based building: conceptual framework, Performance Based Building Thematic Network Funded by EU 5th Framework Research Programme, Hollanda, 9-18, 2005.
48. Kalaycıoğlu E., Yılmaz A.Z., A new approach for the application of nearly zero energy concept at district level to reach EPBD recast requirements through a case study in Turkey, *Energy and Buildings*, 152, 680-700, 2017.
49. Schüler N., Mastrucci A., Bertrand A., Page J., Marechal F., Heat demand estimation for different building types at regional scale considering building parameters and urban topography, *Energy Procedia*, 78, 3403-09, 2015.
50. Monsalvete P., Robinson D., Eicker U., Dynamic simulation methodologies for urban energy demand, *Energy Procedia*, 78, 3360-65, 2015.
51. Al-Sallal K. A., Solar access/shading and building form: geometrical study of the traditional housing cluster in Sana'a, *Renewable Energy*, 8, 331-334, 1996.
52. Timur B.A., Başaran T., İpekoğlu B., Capacity of traditional fireplaces (ocaks) to meet the current heating loads within the reuse of historical houses: Examples from Southwest Anatolia, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (1), 189-200, 2023.
53. Parlak Arslan H., Koçlar Oral G., Sensitivity analysis of facade design parameters in residential buildings in the context of climatic design, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(3), 1769-80, 2023.
54. Chan A.L.S., Energy and environmental performance of building façades integrated with phase change material in subtropical Hong Kong, *Energy and Buildings*, 43, 2947-55, 2011.
55. Alam M., Jamil H., Sanjayan J., Wilson J., Energy saving potential of phase change materials in major Australian cities, *Energy and Buildings*, 78, 192-201, 2014.
56. Kuznik F., Virgone J., Experimental assessment of a phase change material for wall building use, *Applied Energy*, 86, 2038-46, 2009.
57. EPBD recast 2010, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), EU Commission, Official Journal of the European Union, 2010.

