

Received: 07.06.2022

Accepted: 29.11.2022

## Boşluk Genişliğinin Çift Kabuk Cephelerin Enerji Performansına Etkisi

Elif Nur YÜKSEL<sup>1\*</sup>, Betül BEKTAŞ EKİCİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Architecture /Graduate Student, Fırat University, TURKEY

<sup>2</sup>Department of Architecture / Architecture, Fırat University, TURKEY

### Özet

Son yıllarda, giderek artan ve oldukça önemli olan iklim değişikliği sorunları yaşanmaktadır. Dünya genelinde kullanılan enerji tüketiminde ilk sırada yer alan ve yaşanan enerji krizlerinde başrolü çeken yapı sektörüne hasarlarının telafisi için enerji korunumunda önemli sorumluluklar düşmektedir. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan bir yaklaşım olan enerji etkin yapı tasarımında temel amaç, dış ortam koşullarına karşı minimum enerji harcayarak optimum iç ortam konforunun sağlanmasıdır. Yapı kabuğu bina enerji ihtiyaçlarının belirlenmesinde önemli rol oynayan çevresel parametrelerle doğrudan temas halinde bulunan arayüz olduğundan, enerji etkin tasarım önlemlerinin alınabileceği başlıca bileşen durumundadır. Özellikle kentlerin kalabalıklaşması ve yüksek katlı binaların artmasıyla düşey yüzeylerde alınacak önlemler bina enerji yüklerinin azaltılmasında büyük oranda etkili olmaktadır. Geleneksel cephelerin aksine gerekli durumlarda yenilenebilir kaynaklardan yararlanma/korunmanın mümkün olduğu çift kabuk sistemler ısı kayıp ve kazançlarının kontrol altında tutulmasında fayda sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı; çift kabuk bina cephelerinin performans kriterleri ile bina ısıtma ve soğutma yüküne olan etkilerini belirlemektir. Bu amaçla örnek bir ofis binası DesignBuilder benzetim programı yardımıyla modellenerek yapının ısıtma-soğutma ve aydınlatma yükleri hesaplanmıştır. Farklı çift kabuk kombinasyonları ile oluşturulan cephe alternatiflerinin Elazığ ili iklim koşullarındaki performansları tespit edilerek sonuçlar şekil ve tablolarla sunulmuştur. Çift kabuk cephelere sahip yapılar, yapının tek cidarlı referans durumuna kıyasla ısıtma yüklerinde boşluk genişliğine bağlı olarak % 7.49 ile %12.64 arasında, soğutma yüklerinde ise yaklaşık %5.31'den %1.97'ye kadar daha az enerji tüketmektedir.

**Anahtar Kelimeler** : çift kabuk cephe, ısıtma-soğutma enerjisi ihtiyacı, Design Builder, enerji benzetimi

## Effect of Gap Width on Energy Performance of Double-Skin Facades

### Abstract

In recent years, there have been increasing and very important climate change problems. The building sector, which ranks first in energy consumption worldwide and plays a leading role in the energy crises, has important responsibilities in energy conservation to compensate for its damages. The main purpose of energy efficient building design, which is an approach that emerges as a result of this, is to provide optimum indoor comfort by consuming minimum energy against outdoor conditions. Since the building envelope is the interface that is in direct contact with environmental parameters that play an important role in determining the energy needs of the building, it is the main component that energy efficient design measures can be taken. Especially with the overcrowding of cities and the increase in high-rise buildings, the measures to be taken on vertical surfaces are largely effective in reducing building energy loads. In contrast to traditional facades, double shell systems, where it is possible to cut/protect from renewable sources when necessary, provide benefits in controlling heat losses and gains. The aim of this study is to determine the performance criteria of double shell building facades and their effects on building heating and cooling load. For this purpose, a sample office building was modeled with the help of the DesignBuilder simulation program and the heating and cooling loads of the building were calculated. The performance of the facade alternatives formed with different double shell combinations in the climatic conditions of Elazığ province is determined and the results are presented in figures and tables. Buildings

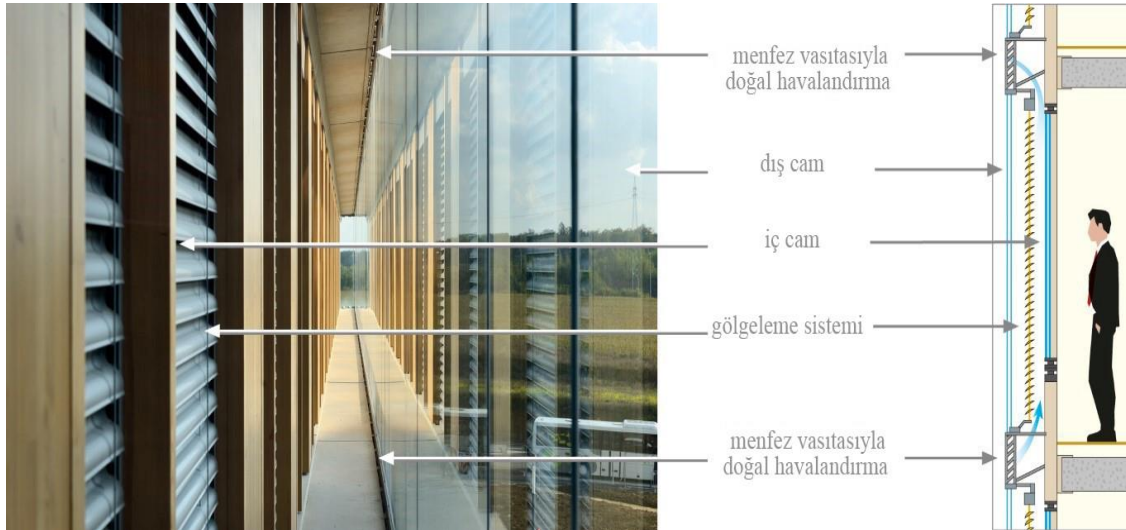
\*Corresponding Author, e- mail: \*( [elifnuryksl23@gmail.com](mailto:elifnuryksl23@gmail.com))

with double skin facades consume less energy depending on the gap width at heating loads compared to the single skin reference condition of the building.

**Keywords:** double-skin facade, heating-cooling energy requirement, Design Builder, energy simulation.

## 1. Giriş

Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan inşaat ve yapım sektörü, tüketim ile açığa çıkan kirleticiler ve çevre üzerindeki ağır yükler nedeniyle günümüz yapı tasarımcılarını yeni çıkış yolları aramaya yönlendirmiştir. Binalarda enerji etkinliğin sağlanabilmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalardan bir bölümü geleneksel sürdürülebilir uygulamalara odaklanırken [1, 2], diğer bir bölümü de daha güncel yaklaşımlar ve yeni çözüm önerileri ile ortam konfor koşullarından ödün vermeden, enerji tüketiminin minimum seviyeye indirmeyi hedeflemektedir. Çift kabuk cephe sistemleri, enerji etkin özelliklere sahip olarak tek kabuk cephe sistemlerin ısı kaybı, aşırı ısınma, gürültü vb. olumsuz özelliklerini iyileştirmek için geliştirilen uygulamalardır. Sistem cepheye entegre edilmiş bir iç camdan, ara boşluk ve dış camdan oluşmaktadır. Çift kabuk cephelerde kabuklar arasındaki boşluk, dış ortam ve iç ortam arasında tampon bölge oluşturarak, ısı, rüzgar ve sese karşı yalıtıcı işlev görmektedir. Tampon bölge, dış ortamın değişen iklim ve çevre koşullarına karşın iç ortamda kullanıcı konforunu arttırmaya katkı sağlar. Buna ek olarak, çift kabuk cephe sistemlerindeki menfezler vasıtasıyla dış kabuktan alınan temiz hava; rüzgar hızı ve kat yüksekliği gibi faktörlerden bağımsız olarak binada dolaştırılarak (doğal/ mekanik yollarla) havalandırmaya olanak sağlanabilmektedir [3]. Bu sayede özellikle yüksek katlı ve rüzgar etkisinin olumsuz olarak hissedildiği yapılarda sıklıkla tercih edilen bir sistem olmaktadır. Dış kabuğun genellikle cam olarak tercih edildiği bu sistemlerde, masif kütlelerin görsel ağırlığı hafifletilirken bir yandan da binanın dış çevresiyle görsel ilişki kurmasına izin verilmektedir. Bu nedenle tasarımcılar ve kullanıcılar tarafından arzu edilen çekici bir estetik değere sahiptir. Çift kabuklu cephenin tasarımı; cam seçimi, havalandırma stratejisi, gölgeleme, günışığı, estetik, rüzgar yükleri, beklentileri gibi parametrelere ilişkin kararları içerir [4]. Uygulamalardan optimum faydanın sağlanabilmesi amacıyla bulunan iklim bölgesine göre çift cidar cephelerin konumlarının uygun şekilde belirlenmesi, sistemi oluşturan elemanların seçiminin doğru yapılması en önemli kriterlerdendir [5].



Şekil 1. Çift kabuk cephe bileşenleri [6].

Çift kabuk cephe uygulamalarından kaynaklanan enerji ihtiyaçlarının belirlenebilmesi ve kabuğun enerji yükleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla literatürde pek çok çalışma yapılmıştır.

Jankovic ve Goia [7], tek katlı bir cephe düzeneği üzerinde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada çift kabuklu cephelerin performansını belirlemede mekanik havalandırma ve gölgeleme amaçlı kullanılan jaluzilerin etkileşimini araştırmış ve havalandırma oranı ile akış hızının sistem performansını etkileyen başlıca parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Alqaed [8], Suudi Arabistan'ın farklı iklim bölgelerinde yüksek katlı ofis binalarında enerji tasarrufu sağlanması amacıyla basit, çift cidarlı ve çift cidar arası faz değiştiren malzeme kullanılan cephe örneklerinin performansları değerlendirmiştir. Buradan özellikle soğuk bölgelerde faz değiştiren malzemelerin kullanıldığı cephelerin tropik bölgelerden çok daha az etkili olduğunu ifade etmiştir. Tibet [9], yaptığı çalışmada çift kabuklu cephelerin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koyarak örneklerle desteklemiştir. Çetin ve Dikmen [10], ikinci kabuğun ısıtma ve güneş kırıcıların soğutma yüklerini azaltması açısından daha etkili olduğu sonucuna varmıştır. Fallahi vd. [11], mekanik havalandırılan çift cidarlı cephelerin yaz aylarında %21-26, kış aylarında ise %41-59 arasında değişen oranlarda enerji tasarrufu sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Nasrollahi ve Salehi [12], boşluk içerisinde artan hava akış hızının aşırı ısınma sorununu çözdüğünü ifade ettikleri çalışmada, çift cidarlı cephelerin sıcak ve kuru iklimlerde çalışmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Bakkal [13], çift kabuk cephe sistemi önerileri binanın ısıtma enerjisi tüketimini azaltmada etkili olurken, binanın soğutma enerjisi için enerji ihtiyacının artmasına sebep olduğunu tespit etmiştir. Bunun yanı sıra çift kabuk cephelerin bina aydınlatma yüklerini arttırdığını vurgulamıştır. Gelesz ve Reith [14], çift cidarlı cephelerin çift/üç camlı cephelere nazaran % 7 oranında soğutma yükü tasarrufu sağladığını belirtmişlerdir. Ayçam [15], enerji etkin ofis binalarının cephe sistemlerini değerlendirdiği çalışmada, çift kabuklu cephe sistemlerinin tasarımı, havalandırılması ve enerji üreten entegre sistemler olarak kullanılabilirliği konusunda tasarımcılara önemli ipuçları vermiştir.

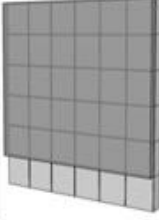
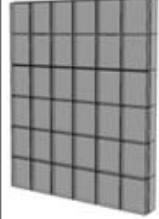
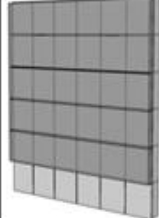
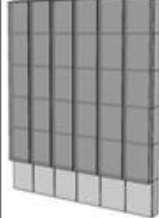
Bu çalışmada, tek kabuklu cephe sistemine sahip olan bir binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin, cephe sisteminin çift kabuk olması durumunda ne şekilde değişebileceği incelenmiştir. Örnek binanın Elazığ iklim koşullarında bulunan bir ofis yapısı olduğu varsayılmış olup, farklı çift kabuklu cephe senaryolarının bina enerji yükleri üzerindeki etkisi Design Builder benzetim programı kullanılarak hesaplanmıştır. Çift kabuk cephe boşluk genişliği ve kullanılan camların ısı geçirgenlik değerlerine bağlı olarak oluşturulan senaryolara ait enerji ihtiyaçları belirlenerek, sonuçlar karşılaştırmalı tablo ve grafiklerle ifade edilmiştir.

## 2. Çift Kabuk Cephelerin Özellikleri

Enerji tüketimini azaltmak için kullanılan çift kabuk cephe sistemleri, iki cam cephe paneli ve aralarında bulunan hava boşluğundan oluşmaktadır [16]. Çift cidarlı cephe arasında bulunan boşluk; doğal havalandırmanın, temizliğin, bakım-onarımın yapıldığı ve gölgeleme elemanlarının yerleştirildiği bir alandır. Bu boşluğun ölçüsü; iklimsel değişiklikler, kullanım amacı, mimari tasarım ve enerji performans iyileştirmesine göre 20 ile 200 cm arasında değişebilir [17].

Çift kabuk cepheler doğal havalandırma, doğal aydınlatma, yaz aylarında soğutma sağlarken, kış aylarında binanın pasif olarak güneş enerjisinden istifade edebilmesi gibi özellikleriyle ısıtma amaçlı kullanılan enerji tüketimini azaltıp kullanıcı konforunu artırmaktadır [18]. Kış mevsiminde; dış cam tabakasında bulunan menfezler kapatılarak, iki cam cephe arasında hava akımının olmadığı tampon bölge oluşur. Bu tampon bölgede güneş ışınlarıyla ısınan hava iç mekânların ısıtılması için kullanılır. Yaz aylarında ise; dış cam tabakasında bulunan menfezler açılarak, iç cam tabakasındaki açıklıklar kapalı konuma getirilir. Bu sayede dışarıdan cephe tabakalarının arasına alınan sıcak hava iç mekâna alınmadan dışarıya atılır. Böylelikle iç mekânın aşırı ısınmasını önlenir. Ancak çift kabuk cephelerin kullanılacağı yapılarda en uygun tasarımın gerçekleştirilebilmesi için sistemin binanın doğal havalandırma ve doğal aydınlatılmasıyla, ısıtma-soğutma sistemleri üzerindeki etkilerinin yapım

öncesinde çevresel veriler de dikkate alınarak etraflıca analiz edilmesi gerekmektedir [19]. Son zamanlarda inşa edilen çift cidarlı cephe sistemleri geometrisi, uygulamaları ilerleyen teknik çözümler ile tasarım kaygısı göz önünde bulundurularak şekillenmiştir [20]. Çift kabuk cephelerin iki cam yüzeyin arasında kalan boşluğun bölümlenmesine bağlı olarak dört farklı şekilde sınıflandırılması ve bu farklı durumlara ilişkin avantaj ve dezavantajlar Bakkal [13] tarafından Şekil 2’de verildiği gibi açıklanmıştır.

BÖLÜMLEME TİPİ	BÖLÜMLEME	AVANTAJ	DEZAVANTAJ	MODEL
ÇOK KATLI	YOK	Kuvvetli baca etkisi, Dış gürültüye karşı yüksek ses yalıtımı, Ara boşluktaki hava güneş ışıını ile ısınarak yükselir ve binanın üst katlarının ısınmasını sağlar. Gölgeleme elemanlarının ara boşluğa yerleştirilmeleri için uygundur. Ses izolasyonu için ara boşluk ek tabaka yerleşimine uygundur.	· Yangın, alevlerin sırayeti · Aşırı ısınma etkisi	
KUTU TİPİ	YATAY ve DÜŞEY	· Yangın, Mekanlar arası ses yalıtımı. Ses, koku ve hava geçişinin kat ve aynı kattaki mekanlar arasında engellenebilmesi. Dış ortamdan kaynaklı gürültünün engellenebilmesi. Seri üretim hızlı montaj imkanı sunar. Her bölmenin alt ve üst kısımlarında yer alan havalandırma açıklıkları kullanıcı tarafından kontrol edilebilir. Kış aylarında kapalı tutulan havalandırma kapakları sayesinde ara boşluktaki ısınan hava binanın ısınmasına etki eder.	· Uygun menfez tasarımı · Düşük baca etkisi	
KORIDOR TİPİ	YATAY, KAT BOYUNCA	· Aşırı ısınma etkisini ortadan kaldırma. Yangın yalıtımı. Her bölmenin alt ve üst kısımlarında döşemehizasında doğal havalandırma açıklıkları bulunur, böylece her kat kendi içinde havalandırılır. Herkatın doğal havalandırma açıklığı kendi içinde olduğu için yaygın, duman ve ses kontrolü için ek önleme ihtiyacı duyulmaz. Gölgeleme elemanlarının ara boşluğa yerleştirilmeleri için uygundur.	· Düşük ses yalıtımı · Düşük baca etkisi	
ŞAFT KUTU TİPİ	YATAY ve DÜŞEY ŞAFT	· Kuvvetli baca etkisi. Hava akımının az katlı yapılarda daha etkin sağlanması Şaft şeklindeki baca sistemi sayesinde etkin doğal havalandırmanın sağlanabilmesi.	· Yangın · Düşük ses yalıtımı, gürültü kirliliği	

Şekil 2. Ara boşluk bölümlenmesine göre çift kabuk cephe sistemleri ve özellikleri [13].

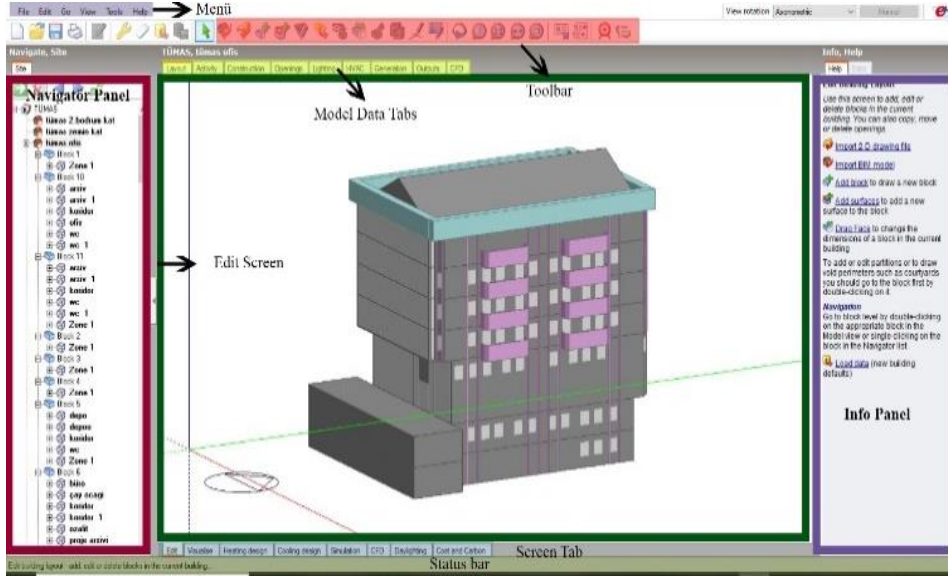
### 3. Uygulama Çalışması

#### 3.1. Design Builder

Design Builder Energy Plus tabanlı bir yazılım aracıdır. Design Builder ile yapıların ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin boyutlandırılması, doğal havalandırma, ısı konfor ve gün ışığı analizi, yıllık enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> salımı ve maliyet analizi, LEED’e göre bina enerji performans analizi, enerji optimizasyonu ve CFD analizi yapılabilmektedir [21].

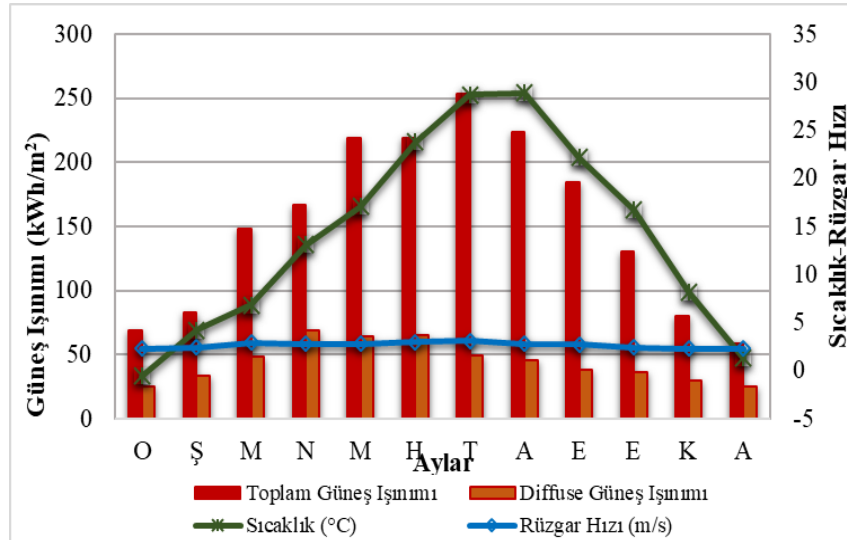
Benzetimler kısa sürede ve ekonomik bir şekilde sonuca ulaşmayı sağlar. Yapıya ait malzeme türünün belirlenmesi, pencere camlarının termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, yapım teknikleriyle ilgili

detayların belirtilmesi ve yapının kullanım amacı ile gerekli iç ortam tasarım koşullarının tanımlanabilmesi gibi özelliklerle gerçeğe yakın benzetimler oluşturulabilmektedir. Design Builder enerji etkin yapı tasarımı oluşturduğundan mimarlar, mühendisler ve enerji danışmanları gibi pek çok kullanıcıya uygulama olanağı sağlamaktadır.



Şekil 3. Design Builder programının kullanıcı ara yüzü

Programın ara yüzü Şekil 3'te verilmiştir. Benzetimlerde Elazığ ili için kullanılan Meteorolojik veriler (güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve dış sıcaklık) Meteonorm [22] yazılımından elde edilmiş olup Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Elazığ ili yıllık iklimsel verileri [20]

### 3.2. Örnek Ofis Binası Özellikleri

Enerjinin sektörel dağılımı dikkate alındığında binalarda tüketilen miktar oldukça önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu grup içerisinde ofis yapıları çalışanların ihtiyaç duyduğu ısı koşullar ve aydınlatma düzeyleri ile yüksek enerji tüketimine sebep olmaktadır. Özellikle çalışanlar ve iç ortam ekipmanları ile ortaya çıkan iç kazançlar ve doğal aydınlatma amacıyla tercih edilen camlı yüzeyler bu yapıların konfor düzeylerini zorlayan durumlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarımın ilk aşamalarında iç kazançlara müdahale etmek pek mümkün olmasa da, yapı kabuğunda alınabilecek önlemler ile ihtiyaç duyulan enerji miktarını azalmak söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada çift kabuk cephe sistemlerinin net bir şekilde inceleyebilmek için yüksek katlı (8 kat) bir ofis binası tercih edilmiştir. Uygulamaya konu olarak Elazığ ilinde bulunduğu varsayılan, yapının yıllık enerji tüketimi yüksek olan, Şekil 5'te modeli verilen 8 katlı bir ofis binası seçilmiştir. Mevcut yapının düz bir arazide konumlandığı, başka bir bina tarafından gölgelenmediği ve dört cephesinin de dört ana yöne yönlendirildiği kabul edilmiştir.



Şekil 5. Mevcut ofis binası modeli

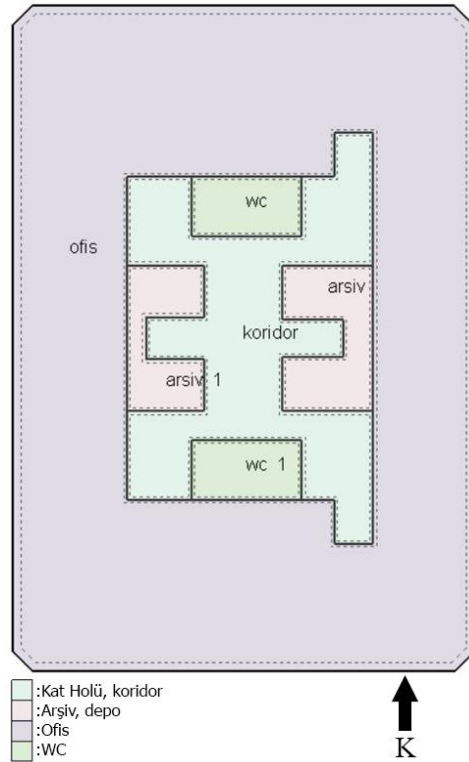
Bina betonarme taşıyıcı sisteme sahip olup dış ve iç duvarları tuğladır. Dış cephenin sıva üstü boya olduğu ve pencerelerin PVC doğrama hava tabakalı çift kat (3mm+13mm+3mm) camdan oluştuğu kabul edilmiştir. Mevcut binanın kabuk bileşenlerine ait özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ofis yapısının yapı elemanlarına ait bileşenler



Yapı elemanları	Katmanlar (dıştan içe)	Kalınlık (mm)	Isı İletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	U Değeri (W/m <sup>2</sup> K)
<b>Duvar</b>	Sıva	30	0.5	1300	<b>0.557</b>
	Taş Yünü	40	0.03	100	
	AAC Blok	200	0.11	2800	
	Alçı Sıva	20	0.4	1000	
<b>Döşeme</b>	Döşeme Betonu	200	1.4	2100	<b>0.471</b>
	Taş Yünü	50	0.03	100	
	Tesviye Betonu	60	0.38	1200	
	Kaplama Malzemesi	2.5	1.8	2560	
<b>Çatı</b>	Kiremit	25	2.00	2243	<b>0.285</b>
	Su Yalıtımı	6	0.190	960	
	Ahşap Kaplama	20	1.340	1010	
	Eğim Betonu	50	1.400	2100	
	Isı Yalıtımı	110	0.035	35	
	Su Yalıtımı	5	0.190	960	
	Betonarme D. Tavan Sıvası	150	2.500	2400	
<b>Pencere</b>	Cam	3	Güneş geçirgenliği insidansı: 0.74 Görünür geçirgenlik insidansı: 0.89	1120	<b>1.96</b>
	Hava Boşluğu	13			
	Cam	3			

Öncelikle mevcut ofis binası Design Builder programıyla modellenerek iklim, etkinlik ve yapı malzemeleri tanımlanmıştır. Mevcut yapı zemin kat, bodrum kat ve ofis katları için ihtiyaç duyulan iç ortam sıcaklık değerlerine bağlı olarak ısı bölgelere (zonlara) ayrılmıştır. Normal kat planları, açık planlı ofis, koridor, arşiv ve WC ısı bölgeleri olmak üzere 4 farklı bölge olarak modellenmiştir. Isıl bölgeler plan şeması üzerinde Şekil 6'da gösterilmiştir.

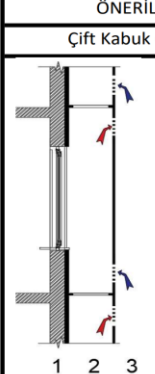


Şekil 6. Normal kat ısı bölgeleri

Mekan fonksiyonlarına göre ısı bölgelere ait kullanıcı yoğunluğu, kullanıcı özellikleri, metabolik ve ısı özellikler, sıcak su kullanımı, tatiller, ekipman bilgileri Tablo 2’de verilmiştir. Bina katlarının birbirlerinin ısı dengesi üzerinde çok fazla etkili olmamaları için bu çalışmada bina yüksekliğinde çift kabuk cephe yerine koridor tipli çift kabuk cephe sistemleri tercih edilmiştir. Çift kabuk cephe alternatifleri oluşturulmasında göz önünde bulundurulmuş değişkenler Şekil 7’de verilmiştir.

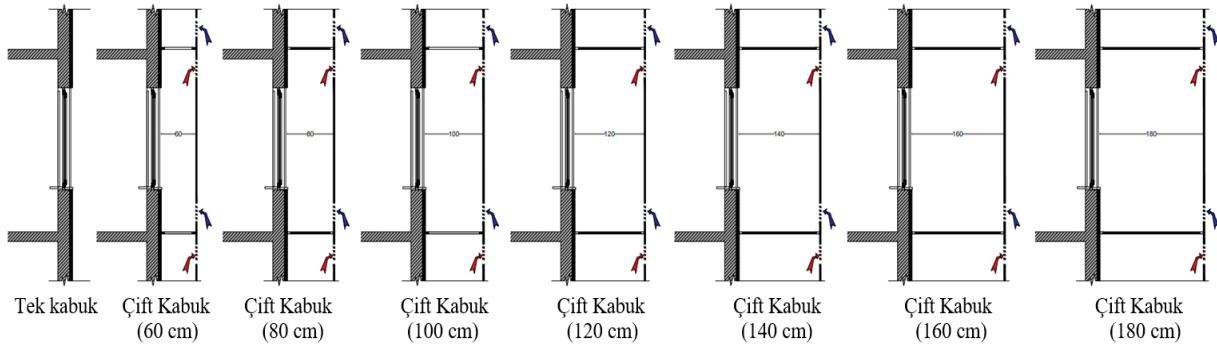
**Tablo 2.** Ofis fonksiyonları

Ofis fonksiyonları	
<b>Bina Şablonu</b>	Açık Planlı Ofis
<b>Kullanıcı Yoğunluğu</b>	0.111 kişi/m <sup>2</sup>
<b>Kişi metabolizma hızı</b>	0.9 (birimsiz)
<b>Tatil günleri</b>	Pazar günleri+15 gün
<b>Ekipmanlardan iç kazanım</b>	11.77 W/m <sup>2</sup>
<b>Yapı Kullanım Saatleri</b>	Hafta içi mesai saatleri 8.00-18.00 arasındadır. Cumartesi 8.00-12.00 arasında measi olup, Pazar tatil günüdür

ÖNERİLER		Parametreler	
Çift Kabuk Cephe		Cam Tipi	Boşluk Genişliği
	1:Mevcut Duvar	U:1,256 W/m <sup>2</sup> K	60 cm
	2:Boşluk	U:2,66 W/m <sup>2</sup> K	80 cm
	3:Cam		100 cm
			120 cm
			140 cm
			160 cm
			180 cm

**Şekil 7.** Çift Kabuk Cephede Kullanılan değişken parametreler

Çift kabuk cephe sistemlerinin bina enerji performansı üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için dış kabukta kullanılan cam türleri ve iki kabuk arası boşluk genişliği parametreleri değiştirilerek farklı cephe senaryoları oluşturulmuştur. Hazırlanan koridor tipli çift kabuk cephe sisteminin 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm, 140 cm, 160 cm ve 180 cm boşluk genişliklerine sahip yedi farklı durumu hazırlanmış olup bu senaryolara ait görseller Şekil 8’de verilmiştir.



**Şekil 8.** Ofis yapısının cephe kesit önerileri



Bina dış kabuğunda kullanılan cam türleri ve bu camlara ait optik ve termofiziksel özellikler Tablo 3’de verilmiştir. Ofis yapısının mevcut camlarının ısı geçirgenlik katsayısı  $1.960 \text{ Wm}^2/\text{K}$  olarak belirlenmiştir. Bu yapıya eklenecek çift kabuk cephedeki dış camlara ait ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri)  $1.256 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $2.665 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak seçilmiştir. Tabloda verilen her bir U değeri için; 60, 80, 100, 120, 140, 160 ve 180 cm boşluk genişliğine sahip cephe önerileri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Farklı boşluk genişliğine sahip cephe öneriler için bu iki cam türüne ait benzetimler yapılmıştır.

**Tablo 3.** Kullanılan camların özellikleri

Durum	U Değeri ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
Mevcut	1.960
Öneri 1	1.256
Öneri 2	2.665

Ofis binasının güney cephesinde bulunduğu kabul edilen çift kabuk cephe uygulamasının Design Builder programı ile oluşturulan görseli Şekil 9’da gösterilmiştir. Hesaplamalarda dikkate alınan ve kabul edilen HVAC ayrıntıları, çizelgeler ve dahili kazanımlar ise Tablo 4’de yer almaktadır.



**Şekil 9.** Uygulama çalışmasında ele alınan çift kabuk cephenin konumu

**Tablo 4.** HVAC ayrıntıları, çizelgeler ve dahili kazanımlar

Parametreler	Açıklama
Isıtma Sıcaklığı	22 C
Soğutma Sıcaklığı	24 C
Aydınlatma Programı	hafta içleri 8.00-18.00 ve cumartesi 8.00-12.00
Güneşli Kontrolü	400 lux
Kişi Kullanım Takvimi	hafta içleri 8.00-18.00 ve cumartesi 8.00-12.00
Kişi Etkinlik Takvimi	Hafta içleri 8.00-18.00 arası
Kişi başı dahili kazanç	100 W

#### 4. Bulgular ve Değerlendirme

Bu çalışmada mevcut bir ofis binasının güney cephesindeki şeffaf yüzeylerine yönelik önerilen çift kabuk cephe alternatiflerinin yapının ısı performansına ve aydınlatma yüklerine olan etkisi irdelenmiştir. Design Builder programı ile hesaplanan ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine ait değerler Tablo 5'te gösterilmiştir.

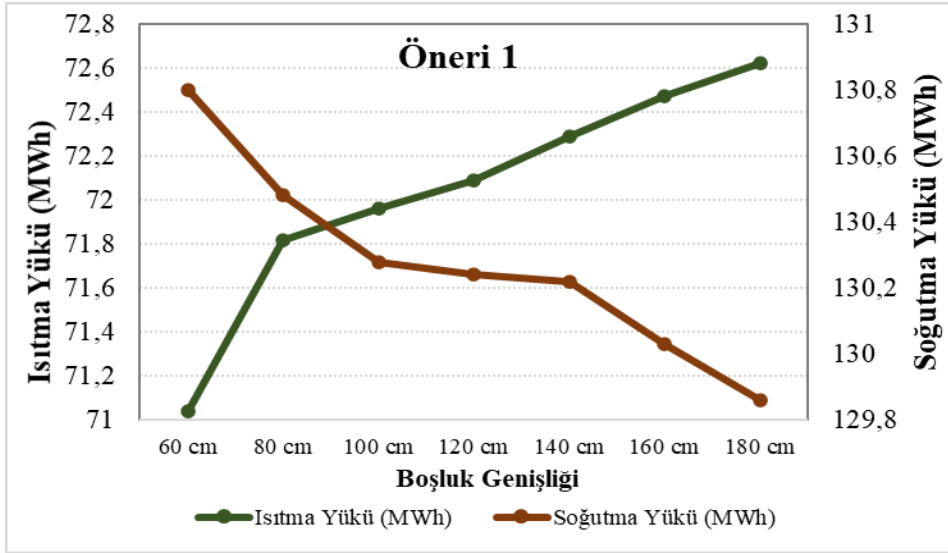
Elde edilen ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının Öneri 1 ve 2'de verilen farklı cam türleri ile 60, 80, 100, 120, 140, 160 ve 180 cm boşluk genişliğindeki çift cidarlı cephe durumları için, binanın mevcut ısıtma enerjisi yüküne göre daha az olduğu görülmüştür. Binanın mevcut tek katmanlı dış cepheye sahip olduğu durumunu referans alarak bu azalma oranı Öneri 1'de verilen cam türü kullanıldığında farklı boşluk genişlikleri için ortalama %12.64 ile %10.69 arasında değişen değerler almaktadır. Öneri 2'nin kullanılması durumunda ise; 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm, 140 cm, 160 cm ve 180 cm genişliğindeki çift cidarlı sistemler mevcut duruma göre ısıtma enerjisi ihtiyacında sırasıyla %8.30, %8.22, %8.10, %7.82, %7.62 ve %7.48 oranlarında tasarruf edilmesine olanak sağlamaktadır.

**Tablo 5.** Farklı çift cidarlı cephe senaryolarına ait benzetim sonuçları

Boşluk Genişliği	U değeri (W/m <sup>2</sup> K)	Isıtma Yüğü (MWh)	Soğutma Yüğü (MWh)	Güneş Kazancı (MWh)	Aydınlatma Yüğü (MWh)
<b>Tek Kabuklu Cephe</b>	U:1.96	81.32	123.85	85.01	89.96
<b>60 cm</b>	U:1.256	71.04	130.80	108.96	85.70
	U:2.665	74.57	127.48	103.21	85.70
<b>80 cm</b>	U:1.256	71.82	130.48	109.39	85.70
	U:2.665	74.63	127.04	103.45	85.70
<b>100 cm</b>	U:1.256	71.96	130.28	109.87	85.70
	U:2.665	74.73	126.6	103.74	85.70
<b>120 cm</b>	U:1.256	72.09	130.24	110.44	85.70
	U:2.665	74.81	126.53	104.12	85.70
<b>140 cm</b>	U:1.256	72.29	130.22	111.1	85.70
	U:2.665	74.96	126.5	104.54	85.70
<b>160 cm</b>	U:1.256	72.47	130.03	111.69	85.70
	U:2.665	75.12	126.43	104.99	85.70
<b>180 cm</b>	U:1.256	72.62	129.86	112.36	85.70
	U:2.665	75.23	126.34	105.46	85.70

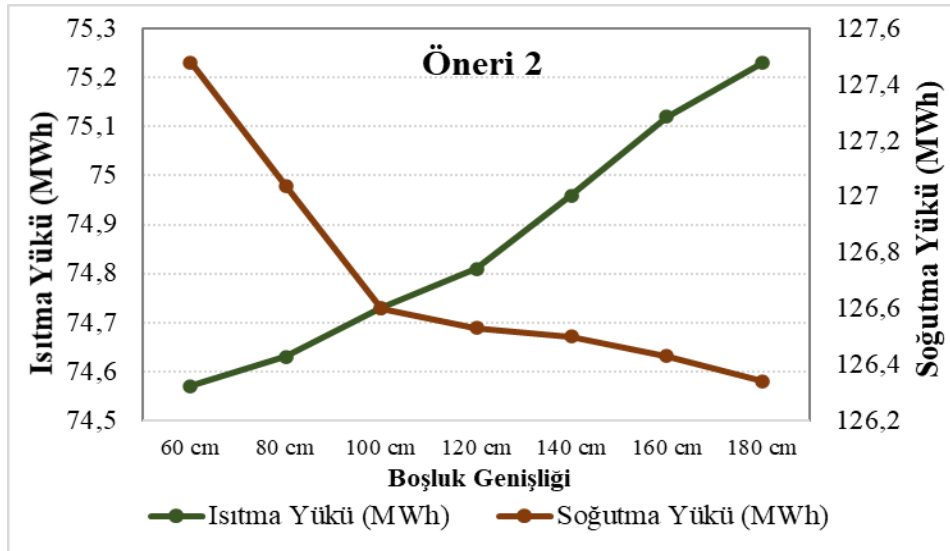
Öneri 1 ve Öneri 2 için farklı boşluk genişliklerine göre bina enerji ihtiyaçlarının değişimleri Şekil 10 ve 11’de gösterilmiştir. Öneri 1 ve Öneri 2’de ifade edilen farklı ısı geçirgenlik katsayısı değerlerine sahip camların kullanıldığı durumlar birbirleriyle karşılaştırıldığında ise 1. Önerinin 2. Öneriye göre farklı boşluk genişlikleri için ortalama %3.47 daha az ısıtma enerjisi ihtiyacı gerektirdiği söylenebilir. Bununla birlikte boşluk genişliğinin artması ile çift kabuk cephe sistemi uygulamalarında bina ısıtma yüklerinin arttığı anlaşılmaktadır. Bu durum iki kabuk arasındaki bu hacmin büyümesi ile bu alanda bulunan hava hareketlerinin artması ve dolayısıyla taşınım yolu ile olan kayıplarında artması şeklinde yorumlanabilir.

Farklı kabuk senaryoları ile yapılan benzetimler soğutma yüklerinin de çift kabuk cephelerde tek kabuk cephelere nazaran daha yüksek olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Soğutma enerjisi ihtiyaçlarındaki artış oranları 60 cm’den 180 cm boşluk genişliğine kadar farklı çift cidarlı cephe uygulamaları ve 1. Öneride ifade edilen cam türünün kullanılması durumu için binanın referans durumuna göre sırasıyla %5.31, % 5.10, % 4.93, % 4.90, % 4.89, % 4.75 ve % 4.63 oranlarında artmaktadır.



Şekil 10. Öneri 1 için boşluk genişliğine bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerinin değişimi

2. Öneri cam türü kullanıldığı takdirde ise bu artışlar %2.84 ile % 1.97 arasında değişen değerler almaktadır. Çift kabuk cephe uygulamalarında kabuklar arasındaki mesafenin artması durumunun herhangi bir gölgeleme elemanı kullanılmadığı halde dahi bina soğutma enerji yüklerini % 0.2 ile % 0.7 arasında değişen oranlarda etkilediği (azalttığı) görülmektedir. Güneş kazançlarındaki artış miktarına rağmen bu azalmanın olması sistemin soğutma yüklerinde tasarruf sağlanması için etkili olarak kullanılabileceğinin de bir göstergesidir.



Şekil 11. Öneri 2 için boşluk genişliğine bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerinin değişimi

Daha önceki bölümlerde yapılan açıklamalarda çift cidarlı sistemlerin bina ısıtma ve soğutma yüklerini azaltarak kullanıcı konforunu arttıracak uygulamalar olduğu vurgusu yapılmıştı. Ancak burada soğutma yüklerinin daha etkin bir şekilde azaltılması için boşluk içerisinde sabit veya hareketli bir gölgeleme elemanı kullanımı gerekliliğinden bahsetmek gerekmektedir. Güneş ışınlarının taşıdığı ısı etkisinin binanın iç ortamına iletilmemesi adına ya yapı yüzeyinde yada iki kabuk arasında bulunan tampon bölgede engellenmesi faydalı olacaktır. Aksi halde buradan elde edilen sonuçla paralel olarak soğutma dönemlerinde aşırı güneş kazançları için bir önlem bulunmayan çift cidar uygulamaları için yüksek soğutma yükleri kaçınılmaz olacaktır.

Aydınlatma enerjisi ihtiyaçları dikkate alındığında ise bina örneğinin tek kabuklu referans durumunun çift kabuk ile değiştirilmesi durumunda aydınlatma yüklerinin % 4.74 oranında azaltılabileceği anlaşılmaktadır. Ancak çift kabuk arasındaki mesafenin değiştirilmesi ve ile aydınlatma yükü arasında anlamlı bir değişiklik gözlenmemiş olup aydınlatma yükü sabit kalmıştır.

### 3. Sonuç

Bu çalışma çift kabuklu cephelerin tek kabuklu cephelere göre bina enerji gereksinimlerine etkisini ve çift kabuk cephelerdeki boşluğun bina enerji performansı üzerindeki rolünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Elazığ'da olduğu varsayılan bir ofis binası çalışmaya konu olarak seçilmiştir. Binanın mevcut ve çift kabuk cephe sistemlerinin kullanıldığı senaryolarına ait enerji gereksinimlerinin belirlenmesi ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Çift kabuk cephelere sahip bina senaryoları, binanın tek kabuklu referans durumuna kıyasla ısıtma yüklerinde cam türüne ve boşluk genişliğine de bağlı olarak ortalama % 7.49 ile % 12.64 arasında değişen farklı oranlarda daha az enerji sarfiyatına sebebiyet vermektedir.
- Çift kabuklarda boşluk genişliği arttıkça boşluktaki hava hareketliliği de artacağından, bu durum daha küçük boşluklu durumlara göre daha fazla ısıtma enerjisi ihtiyacına neden olmaktadır.
- Çift kabuk cepheler tek kabuklu cephe sistemlerinden daha yüksek soğutma yüklerine sahiptir. Bunun nedeni kabuklar arasındaki havanın ısınması ve çift kabuk cephe sistemine bağlı olarak boşluk boyunca yükselen sıcak havanın tek bir katta ya da katlar boyunca binanın farklı hacimlerine taşınmasıdır.

- Boşluk miktarındaki artış ise soğutma yüklerinin düşmesine yol açmaktadır. Farklı U değerine sahip camların kullanıldığı durumlarda boşluk genişliğinin 60 cm'den 180 cm'e kadar değişimiyle soğutma için sarf edilecek enerjiden yaklaşık %5.31'den %1.97'ye kadar farklı oranlarda tasarruf sağlanabileceği anlaşılmaktadır.
- Çift kabuğun güneş kazançlarını artırdığı dikkate alınırsa soğutma yüklerinin azaltılabilmesi için yapı dışında ya da boşluk içerisinde güneş kırıcı ekipmanların kullanılması uygun olacaktır.
- Çift kabuk uygulamalarının tek kabuğa göre doğal aydınlatmadan daha fazla istifade edilmesine fırsat vererek, aydınlatma yüklerini azalttığı tespit edilmiş olmakla birlikte hesaplamalarda boşluk genişliğinin aydınlatma yüküne etkisi belirlenememiştir.

Boşluk genişliğinin çift kabuklu çephelelerin enerji performansına yönelik ilişkisi incelendiğinde, boşluk genişliği arttıkça ısıtma yükü artıp soğutma yükü azalmıştır. Isıtma yüklerinde boşluk genişliğine bağlı olarak % 7.49 ile %12.64 arasında, soğutma yüklerinde ise yaklaşık %5.31'den %1.97'ye kadar daha az enerji tüketmektedir.

Bu çalışmada örnek binanın sadece güney cephesinde çift kabuk cephe sistemi kullanıldığı varsayılmıştır. İleriki çalışmalarda hem yön, hem de farklı iklim bölgesi parametreleri de dikkate alınarak daha spesifik sonuçlara ulaşılması, tasarımcı ve uygulayıcılara yol göstermesi hedeflenmektedir.

## Kaynakça

- [1] Akyıldız, N.A. (2020). Evaluation of sustainable traditional buildings in the context of energy efficiency and conservation. *International Journal of Research- Granthaalayah*, 8(4): 200-215.
- [2] Akyıldız, N. A., Olğun, T. N. (2020). Investigation for energy use and conservation of sustainable traditional architecture; case of Malatya/Turkey Bahri Mosque. *Architecture Research*, 10(2): 60-67.
- [3] Cantürk, B. (2015). Çok katmanlı kabuk cephe sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Karaaslan, S. (2013). Sürdürülebilir mimari tasarım sürecinde ön tasarım kararlarını içeren bir model önerisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Yıldız, 2016. Çift kabuk cephe sistemleri üzerindeki güneş faktörünün çift kabuk cephe sistemlerinin üzerindeki etkilerinin irdelenmesi. Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, İstanbul
- [6] <https://igsmag.com/market-trends/innovations-in-glass/double-skin-facades-selecting-the-right-combination-of-glass-to-optimize-their-benefits/> Erişim Tarihi: 21.02.2022.
- [7] Jankovic A, Goia F (2022). Control of heat transfer in single-storey mechanically ventilated double skin facades. *Energy and Buildings*, 271: 112304.
- [8] Alqaed S (2022). Effect of annual solar radiation on simple façade, double-skin facade and double-skin facade filled with phase change materials for saving energy, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51:101928.
- [9] Tibet, 2004. Çift kabuk cephe sistemleri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Ankara.
- [10] Çetin, H. G., & Dikmen, N. 2018. Bir ofis binasının enerji yüklerinin çift kabuklu cephe sistemi ve güneş kırıcılar ile azaltılması. *Online Journal of Art and Design*, 10(4): 130-139.

- [11] Fallahi, A., Haghghot, F., Elsadi, H. (2010). Energy performance assessment of double-skin facade with thermal mass. *Energy and Buildings*, 42:1499-1509.
- [12] Nasrollahi, N., Salehi, M. (2015). Performance enhancement of double skin facades in hot and dry climates using wind parameters. *Renewable Energy*, 83: 1-12.
- [13] Bakkal, 2019. Eğitim binalarında çift kabuk cephe sistemleri kullanımlarına bağlı enerji etkin iyileştirme önerileri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Trabzon.
- [14] Gelesz, A., & Reith, A. (2015). Climate-based performance evaluation of double skin facades by building energy modelling in Central Europe. *Energy Procedia*, 78: 555-560.
- [15] Ayçam, İ. (2011). Enerji etkin ofis binalarında gelişmiş cephe sistemlerinin incelenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi–İzmir.
- [16] Ioannidis Z., Buonomano A., Athienitis A.K., Stathopoulos T., 2017, Modeling of double skin facades integrating photovoltaic panels and automated roller shades: Analysis of the thermal and electrical performance, *Energy and Buildings*, 154: 618–632.
- [17] Alakavuk, E., (2010). Sıcak iklim bölgelerinde çift kabuk cam cephe sistemlerinin tasarımı için kullanılabilir bir yaklaşım, Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [18] Jiru, T. E. , Haghghat, F., 2008. Modeling ventilated double-skin facade—A zonal approach. *Energy and Buildings*, 40, 1567–1576.
- [19] Yıldız, C. (2016). Çift kabuk cephe sistemleri üzerindeki güneş faktörünün çift kabuk cephe sistemlerinin üzerindeki etkilerinin irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Manz, H. ve Frank, Th., 2005. Thermal simulation of buildings with double-skin façades *Energy and Buildings*, 37(11): 1114–1121.
- [21] Akgüç, A. (2017). Energy Plus ve Design Builder simülasyon araçlarının işlevi ve kullanımına yönelik genel bir bakış. *TTMD Dergisi*, 11: 1-15.
- [22] [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com). Erişim Tarihi:16.02.2022.