



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

KONUT VE OFİS FONKSİYONLU HACİM ÖRNEĞİNDE YAPI KABUĞU ENERJİ PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

**SEDA KAÇEL
AYŞEGÜL EKŞİ
A. ZERRİN YILMAZ
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

KONUT VE OFİS FONKSİYONLU HACİM ÖRNEĞİNDE YAPI KABUĞU ENERJİ PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

Seda KAÇEL
Ayşegül EKŞİ
A. Zerrin YILMAZ

ÖZET

Çalışmanın amacı, konut ve ofis fonksiyonuna sahip hacmin yapı kabuğu enerji performansının karşılaştırılması olarak değerlendirilmesidir. Karşılaştırma çalışması; Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri, farklı dış duvar tipleri (yoğun duvar tipinden hafif duvar tipine doğru) ve farklı yön parametreleri değerlendirilerek yapılmıştır. TS825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı (2013) kapsamında aynı derece gün bölgesinde bulunan, fakat farklı iklim özellikleri gösteren iklim bölgelerinin yapı kabuğu enerji performansı üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Aynı hacmin konut ve ofis fonksiyonları çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, farklı iç ısı kazanç faktörlerinin (kullanıcı, ekipman ve aydınlatma kaynaklı) ve farklı çalışma takvimlerinin kabuk performansı üzerindeki etkisinin incelenmesine olanak sağlamıştır.

Çalışma yöntemi olarak tek ısıl zonlu örnek bina oluşturulmuş ve yapı kabuğu performansı konut ile ofis fonksiyonları için ayrı ayrı incelenmiştir. Yapı kabuğu performansı açısından opak ve saydam kabuk bileşenlerinin iç yüzey sıcaklıkları ve hacmin ısıtma ile soğutma yükleri incelenmiştir ve bu amaçla dinamik bina enerji hesaplama aracı olarak DesignBuilder yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca, dış duvarda yoğuşma analizi Glaser grafik yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kabuk performansına ek olarak hacmin günüşiği performansı, aydınlatma hesaplama aracı olan Dialux yazılımı aracılığıyla analiz edilmiştir.

Çalışma, farklı iklim bölgelerinde performans gösteren, aynı ısı geçirgenlik katsayısına (U katsayısı) sahip yapı kabuklarının farklı olarak detaylandırılması gerektiğinin ve U katsayısı yaklaşımı ile detaylandırılan kabuklarda tasarım eksiklikleri olabileceğinin altını çizmektedir. Aynı iklim bölgesinde bulunan ve aynı U katsayısına sahip yapı kabuğu detaylarının yönlere bağlı olarak farklı tasarımlarının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca çalışma, kabuk detaylarının dinamik enerji hesaplama araçları ile test edilmelerinin gerektiğini belirtmektedir. Konut ile ofis fonksiyonuna göre değişen iç ısı kazanç faktörlerinin yapı kabuğu enerji performansı üzerindeki etkisi de çalışmada ortaya çıkmıştır. Ayrıca, kabuğun detaylandırıldığı ve saydam bileşenin boyutlandırıldığı aşamada optimizasyon çalışmalarının yürütülmesi tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapı kabuğu enerji performansı, Dinamik bina enerji hesaplaması, Konut ve ofis binaları, Yoğuşma, Günüşiği performansı.

ABSTRACT

The aim of this study is to comparatively investigate the building envelope performance of a room with residential and office functions. The comparison study was conducted by evaluating parameters as different climatic conditions in Turkey, different wall types (from heavyweight to lightweight) and different orientations. The impact of different climatic zones on the envelope performance, which are

included in the same degree-day zones in TS825 – Thermal Insulation Requirements for Buildings Standard (2013) but have different climatic patterns, has been also assessed. Evaluating the same architectural room with residential and office functions provided the possibility to see the impact of different internal loads (occupant, equipment and artificial lighting) and occupancy schedules on the envelope performance.

As the methodology of the study, a sample building with single thermal zone was generated and building envelope performance has been evaluated separately for residential and office functions. The building envelope performance has been investigated through internal surface temperatures of the opaque and transparent components together with the heating and cooling loads of the room using the dynamic building energy calculation software DesignBuilder. Also, condensation analysis of the external wall has been conducted using the Glaser graphical method. In addition to the envelope performance, daylight performance of the room has been analysed using lighting calculation software Dialux.

This study underlines that building envelopes with same heat transfer coefficient (U coefficient) in different climatic zones should be detailed differently. It is revealed that building envelope details, having the same U coefficients and being under the same climatic conditions, should be designed differently according to different orientations. Besides, the study indicates that the building envelope details should be tested through dynamic energy calculation tools. The impact of internal heat gains and occupancy schedules on heating and cooling loads, which differ between residential and office typologies, has also emerged in the study. Besides, conducting optimisation studies are recommended in the stages of detailing the building envelope and sizing the transparent component.

Key Words: Building envelope energy performance, Dynamic building energy calculation, Residential and office buildings, Condensation, Daylight performance.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı; yapı kabuğu enerji performansının iç yüzey sıcaklıkları, ısıtma ile soğutma yükleri ve yoğuşma açısından karşılaştırmalı değerlendirilmesidir. Karşılaştırma çalışması, çalışmanın temelinde aynı hacmin konut ve ofis tipolojisi olarak değerlendirilmesi ile yapılmıştır. Karşılaştırma çalışması; farklı iklim bölgeleri, farklı dış duvar tipleri (yoğun duvar tipinden hafif duvar tipine doğru) ve farklı yön parametreleri değerlendirilerek yapılmıştır. Farklı iklim bölgelerine örnek olarak, Türkiye'nin farklı iklim özelliği gösteren bölgelerinden örnek iller seçilmiştir. Farklı iklim özellikleri gösteren illerin, TS825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı [1] kapsamında aynı derece-gün bölgesinde bulunmasının yapı kabuğu enerji performansı üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Aynı hacmin konut ve ofis fonksiyonları çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, farklı iç kazanç faktörlerinin (kullanıcı, ekipman ve aydınlatma kaynaklı) ve farklı çalışma takvimlerinin kabuk performansı üzerindeki etkisinin incelenmesine olanak sağlamıştır.

1.2. Çalışma Yöntemi

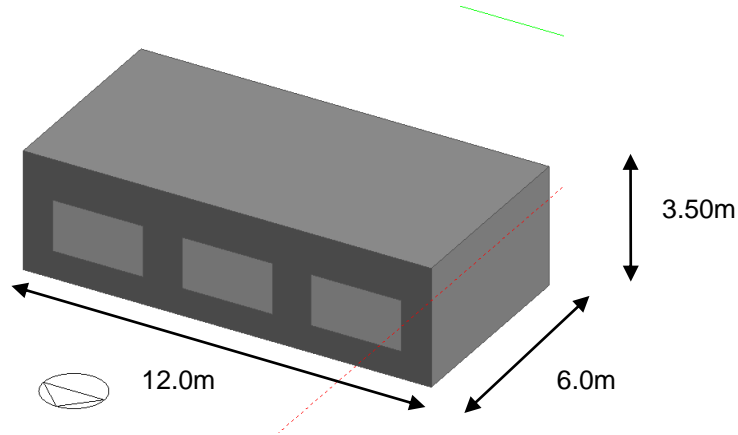
Çalışma kapsamında 12 metre genişliğinde ve 6 metre derinliğinde tek katlı, tek ısıl zonlu örnek bir bina tasarlanmıştır. Örnek bina, konut ve ofis fonksiyonlu olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yapı kabuğu enerji performansı, dış duvar aracılığıyla değerlendirilmiştir, bu nedenle zemine oturan döşeme, çatı ve pencere gibi diğer yapı kabuğu elemanlarının özellikleri sabit tutulmuştur. Dış duvar tipi, tuğla duvar tipinden metal giydirme cepheye değişen şekilde dört dış duvar tipi oluşturulmuştur. Dört dış duvarın yapı kabuğu performansı, dört farklı yön ve Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesini temsil eden dört farklı il (İzmir, İstanbul, Diyarbakır ve Ankara) için değerlendirilmiştir. Böylelikle, 64 hesaplama seti oluşturulup, değerlendirilmiştir.

Yapı kabuğu performansı; opak ve saydam kabuk bileşenlerinin iç yüzey sıcaklıkları, hacmin ısıtma ve soğutma yükleri ve dış duvarda yoğuşma analizi yapılarak incelenmiştir. İç yüzey sıcaklıkları ve ısıtma ile soğutma yükleri, dinamik bina enerji hesaplama aracı olarak kullanılan DesignBuilder yazılımı ile hesaplanmıştır. Dış duvarın iç yüzey sıcaklıkları, pasif performans altında hesaplanarak enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Bu nedenle, doğal havalandırma ve aktif sistemler (mekanik havalandırma, ısıtma, soğutma ve sıcak su sistemleri) devre dışında bırakılmıştır. Doğal havalandırma ve aktif sistemlerin devreye alınması ile birlikte ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanarak enerji tüketimi değerlendirilmiştir. Dış duvarda yoğuşma analizi, Glaser grafik yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlarda da altı çizildiği üzere, kabuk detaylandırma ve saydam bileşenin boyutlandırması nitelikli bir optimizasyon çalışmasını gerektirmektedir. Bu nedenle hacmin günüşiği performansı, aydınlatma hesaplama aracı olarak kullanılan Dialux yazılımı ile analiz edilmiştir.

2. ÖRNEK BİNA, DUVAR TİPLERİ VE İKLİMSEL VERİLER

2.1. Örnek Bina Mimari Özellikleri

Dinamik hesaplama çalışmasında örnek bina olarak kullanılmak amacıyla; Şekil 1. de görüldüğü şekilde derinliği 6 metre, genişliği 12 metre ve yüksekliği 3.50 metre olan tek katlı, tek ısıl zonlu sanal hacim tasarlanmıştır. Saydam yüzeyler binanın tek cephesinde üç adet pencere olacak şekilde yerleştirilmiştir ve ilgili cephe %28 saydamlık oranına sahiptir. Toplam alanı 61.6 m² olan dikdörtgen planlı binanın boyutları ve formu, konut ve ofis fonksiyonları için yapılan hesaplamalar kapsamında sabit tutulmuştur.



Şekil 1. Örnek bina geometrisi ve boyutları.

2.2. Örnek Bina Kabuk Detayları

2.2.1. Bina kabuğu çatı elemanı

Dış duvarların performansını değerlendirebilmek amacıyla, tasarlanan farklı dış duvar alternatifleri için çatı elemanı sabit tutulmuştur. Çatı katmanları oluşturulurken, DesignBuilder yazılımı kütüphanesinden düz bir çatı tipi seçilmiştir ve hesaplama yapılan farklı iklim bölgelerindeki çatılar için TS825 standardınca izin verilen maksimum ısı geçirgenlik katsayılarını (U katsayıları) sağlayan ve Tablo 1. de gösterilen yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir.

2.2.2. Bina kabuğu zemine oturan döşeme elemanı

Çatı katmanlarında olduğu gibi, dış duvarların performansını değerlendirmek amacıyla tasarlanan farklı duvar alternatifleri için zemine oturan döşeme elemanı sabit tutulmuştur. Zemine oturan döşeme tasarlanırken, DesignBuilder yazılımı kütüphanesinden uygun bir döşeme tipi seçilmiştir ve farklı iklim

bölgeleri için yapılacak hesaplamalarda kullanılmak üzere TS825 standardınca izin verilen maksimum U katsayılarını sağlayan ve Tablo 2. de gösterilen yalıtım kalınlıkları döşemelere uygulanmıştır.

Tablo 1. İklim bölgelerine bağlı olarak kabuk çatı elemanları ve katmanlaşma.

Konum	U Katsayısı (W/m ² K) (TS 825)	Çatı Katmanları
İzmir (1. Bölge)	0,43	(Dış) 10mm çatı kaplaması 77,60mm ısı yalıtımı 200mm hava boşluğu 13mm alçı plak (İç)
İstanbul (2. Bölge) Diyarbakır (2. Bölge)	0,38	(Dış) 10mm çatı kaplaması 89,80mm ısı yalıtımı 200mm hava boşluğu 13mm alçı plak (İç)
Ankara (3. Bölge)	0,28	(Dış) 10mm çatı kaplaması 127,40mm ısı yalıtımı 200mm hava boşluğu 13mm alçı plak (İç)

Tablo 2. İklim bölgelerine bağlı olarak kabuk zemine oturan döşeme elemanları ve katmanlaşma.

Konum	U Katsayısı (W/m ² K) (TS 825)	Döşeme Katmanları
İzmir (1. Bölge)	0,66	(İç) 30mm ahşap kaplama 33,30mm ısı yalıtımı 70mm şap 100mm betonarme döşeme (Dış)
İstanbul (2. Bölge) Diyarbakır (2. Bölge)	0,57	(İç) 30mm ahşap kaplama 42,80mm ısı yalıtımı 70mm şap 100mm betonarme döşeme (Dış)
Ankara (3. Bölge)	0,43	(İç) 30mm ahşap kaplama 65,70mm ısı yalıtımı 70mm şap 100mm betonarme döşeme (Dış)

2.2.3. Bina kabuğu dış duvar elemanı

Çalışmanın amacı, farklı iklim bölgelerinde bulunan ofis ve konut fonksiyonları için kullanılan örnek bir binanın farklı dış duvar alternatiflerinin performansını değerlendirmektir. Bu amaçla, Tablo 3. de görülen dört farklı dış duvar tipi tasarlanmıştır. Duvar malzemeleri seçilirken, fiziksel özellikleri bakımından birbirinden farklı dış duvar alternatifleri oluşturulmuştur. Dış duvar alternatifleri arasında yoğun kütleli tuğla duvar, taş duvar ve hafif metal giydirme cephe yer almaktadır. Böylece, farklı dış duvar tiplerinin performansı karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. TS825 standardınca farklı iklim

bölgelerindeki izin verilen maksimum U katsayıları dış duvar alternatiflerine uygulanmıştır. Çalışmada ayrıca, aynı hacmin konut ve ofis fonksiyonları çerçevesinde karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu karşılaştırma, farklı iç kazanç faktörlerinin (kullanıcı, ekipman ve aydınlatma kaynaklı) ve farklı kullanım takvimlerinin kabuk performansı üzerindeki etkisinin incelenmesine olanak sağlamıştır.

Tasarlanan örnek binanın tek bir uzun cephesine üç adet pencere yerleştirilmiştir ve cephe %28 saydamlık oranına sahiptir. Pencere yüksekliği 1.50 metre, genişliği 2.65 metre ve denizlik yüksekliği 0.80 metredir. DesignBuilder yazılımı kütüphanesinden örnek bir pencere tipi seçilmiştir. Pencere özellikleri, Tablo 4. de verildiği üzere farklı duvar alternatifleri için sabit tutulmuştur. Pencere U katsayısı, TS825 standardınca pencereler için tavsiye edilen U katsayısını baz alarak $1,44W/m^2K$ olarak belirlenmiştir. Pencere ışık geçirgenliği (T_{vis}) 0,54 ve güneş enerjisi kazanç değeri (SHGC) 0,37'dir.

Tablo 3. İklim bölgelerine bağlı olarak kabuk dış duvar elemanları ve katmanlaşma.

Konum		İzmir (1. Bölge)	İstanbul (2. Bölge)	Diyarbakır (2. Bölge)	Ankara (3. Bölge)
U Katsayısı (W/m^2K) (TS 825)		0,66	0,57	0,57	0,48
DIŞDu var1	Duvar katmanları	(Dış) 10mm dış sıva 28,9mm ısı yalıtımı 250mm tuğla 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 10mm dış sıva 37mm ısı yalıtımı 250mm tuğla 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 10mm dış sıva 37mm ısı yalıtımı 250mm tuğla 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 10mm dış sıva 40,3mm ısı yalıtımı 250mm tuğla 13mm iç sıva (İç)
DIŞDu var2	Duvar katmanları	(Dış) 10mm dış sıva 165mm tuğla 29,8mm ısı yalıtımı 65mm tuğla 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 10mm dış sıva 165mm tuğla 37,9mm ısı yalıtımı 65mm tuğla 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 10mm dış sıva 165mm tuğla 37,9mm ısı yalıtımı 65mm tuğla 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 10mm dış sıva 165mm tuğla 49,3mm ısı yalıtımı 65mm tuğla 13mm iç sıva (İç)
DIŞDu var3	Duvar katmanları	(Dış) 500mm doğal taş bloğu 27,7mm ısı yalıtımı 25mm iç sıva (İç)	(Dış) 500mm doğal taş bloğu 35mm ısı yalıtımı 25mm iç sıva (İç)	(Dış) 500mm doğal taş bloğu 35mm ısı yalıtımı 25mm iç sıva (İç)	(Dış) 500mm doğal taş bloğu 47,1mm ısı yalıtımı 25mm iç sıva (İç)
DIŞDu var4	Duvar katmanları	(Dış) 20mm metal kaplama 30mm hava boşluğu 20mm MDF 30,20mm ısı yalıtımı 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 20mm metal kaplama 30mm hava boşluğu 20mm MDF 38,60mm ısı yalıtımı 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 20mm metal kaplama 30mm hava boşluğu 20mm MDF 38,60mm ısı yalıtımı 13mm iç sıva (İç)	(Dış) 20mm metal kaplama 30mm hava boşluğu 20mm MDF 50,20mm ısı yalıtımı 13mm iç sıva (İç)

Tablo 4. Kabuk dış duvar elemanı saydam bileşeninin özellikleri.

Konum	U Katsayısı (W/m ² K) (TS 825)	Pencere katmanları	Pencere özellikleri
İzmir (1. Bölge)	1,44	(Dış) 10mm cam 20mm argon gazı 10mm cam (İç)	Güneş enerjisi kazanç değeri (SHGC): 0.37 Işık geçirgenliği: 0.54
İstanbul (2. Bölge)			
Diyarbakır (2. Bölge)			
Ankara (3. Bölge)			

2.3. İklimsel Veriler

Türkiye’de TS825 standardına göre; 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge, 4. Bölge ve 5. Bölge olarak adlandırılan beş farklı derece gün bölgesi bulunmaktadır. Bu çalışmada farklı dış duvar alternatiflerinin performansını karşılaştırmalı değerlendirmek amacıyla Türkiye’nin dört farklı iklim bölgesini temsil eden dört farklı il olarak İzmir, İstanbul, Diyarbakır ve Ankara seçilmiştir. TS825 standardına göre İzmir, 1. Bölge’de; İstanbul ve Diyarbakır, 2. Bölge’de ve Ankara, 3. Bölge’de yer almaktadır. Örnek bina kabuğu bileşenleri tasarlanırken, TS825 standardında ilgili şehirlerin buldukları derece gün bölgeleri için izin verilen maksimum U katsayıları kullanılmıştır. Bu çalışmada, farklı derece gün bölgelerinde bulunan illerde aynı dış duvar alternatifinin performansı değerlendirilmiştir. Ek olarak, aynı derece gün bölgesinde bulunan fakat farklı iklim özellikleri gösteren illerde aynı dış duvar alternatifinin performansı değerlendirilmiştir.

Çalışma için DesignBuilder yazılımı kütüphanesinden seçilen illere ait iklim dosyaları, yazılım tarafından EnergyPlus yazılımı kütüphanesinden otomatik olarak alınmaktadır. Bu çalışmada İzmir, İstanbul ve Ankara konumları için bu illere ait iklim dosyaları kullanılmış, Diyarbakır konumu için ise bu ile ait iklim dosyası bulunmadığından, yazılım en yakın konumun iklim dosyasını otomatik olarak atamıştır.

3. KONUT TİPOLOJİSİ İÇİN YAPI KABUĞU ENERJİ PERFORMANSI

3.1. Varsayımlar

Hesaplama sonuçlarını etkileyen iç kazançların türleri ile değerleri, kullanıcı yoğunluğu ve kullanım zaman çizelgesi konut tipolojisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Kabuk opak ile saydam bileşen iç yüzey sıcaklığı ve yıllık ısıtma ile soğutma yüklerini hesaplamaya başlamadan önce DesignBuilder yazılımına aşağıda yer aldığı şekilde veri olarak girilmiştir:

- **İç ısı kazançları:** Konut iç ısı kazançları olarak; bilgisayar kaynaklı kazanç 1 W/m², pişirme aktivitesinden kaynaklanan kazanç 2 W/m² ve aydınlatmadan kaynaklanan kazanç 1 W/m² olarak varsayılmıştır [2].
- **Kullanıcı yoğunluğu:** Metrekare bazında belirtilmesi istenen kullanıcı yoğunluğu konutu dört kişilik bir ailenin kullandığı varsayımı ile 0.07 kişi/m² olarak belirlenmiştir.
- **Kullanım zaman çizelgesi:** Örnek bina için konut kullanım zaman çizelgesi olarak hesaplamada kullanılan yazılımın şablonu seçilmiş ve revize edilmiştir. Bu şekilde, kullanıcıların binayı kullandıklarını zaman aralıklarını tarif eden özel bir zaman çizelgesi elde edilmiştir. Kullanım zaman çizelgesinde, örnek binanın kullanıldığı zaman aralıkları hafta içi öğleden önce saat 7.00-8.30, hafta içi öğleden sonra saat 18.00-23.00 ve hafta sonu saat 7.00-23.00 olarak belirlenmiştir.

İlk adımda, binanın opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanırken, yazılımda tanımlanan tüm aktif sistem ekipmanları (ısıtma, soğutma ve havalandırma ve sıcak su) kapalı olarak ayarlanmıştır. Doğal havalandırma da devre dışı bırakılmıştır. Bu yöntemle, dış duvarlardaki opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıklarının sadece pasif etkenlerin ve hava sızıntısının etkisi altındaki değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca bu şekilde, iklim koşullarının ve yönlendirmenin farklı duvar alternatiflerinin iç yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Bütün bu kabullerin yazılıma girdi olarak işlenmesinin ardından, tüm dış duvar alternatiflerine ait opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmış ve çıktılar yazılımdan aylık ortalama iç yüzey sıcaklık verileri olarak alınmıştır. İlave olarak, İstanbul ve Diyarbakır illerinde bulunan ve güneye doğru yönlendirilmiş örnek binanın tüm duvar alternatifleri için opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları; tipik kış günü olan 21 Ocak ile tipik yaz günü olan 21 Temmuz için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesapların çıktıları yazılımdan günlük iç yüzey sıcaklık verileri (saatlik dağılım) olarak alınmış ve çizgi grafiğine aktarılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

İkinci adımda, tüm aktif sistem ekipmanları ve doğal havalandırma aktif hale getirilmiş ve yıllık toplam ısıtma ile soğutma yükü enerji tüketim miktarlarını raporlayan hesaplama sonuçları çıktı olarak elde edilmiş ve karşılaştırma yapabilmek için çubuk grafiğine aktarılmıştır. Isıtma ve soğutma sistemleri için, ısıtma sistemi ayar sıcaklığının 20°C ve soğutma sistemi ayar sıcaklığının 26°C olduğu varsayılmıştır. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemi (HVAC sistemi) 'İdeal Yükler' kullanılarak hesaplanmıştır. Hava sızıntı değeri 0.5 ac/h olarak varsayılmıştır. Son olarak, hesaplama sonuçlarına göre seçilen bir duvar alternatifi için yoğuşma olasılığı Glaser grafik yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

3.2. Dış Duvar İç Yüzey Sıcaklıkları Analizi

3.2.1. Aylık ortalama iç yüzey sıcaklıkları

Öncelikle; farklı illerde bulunan, aynı yöne bakan aynı dış duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Örnek olarak; farklı illerde bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3'e ait hesaplama sonuçları ve değerlendirme verilmektedir:

- İzmir'de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için; Ocak ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı 8.90°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 14.39°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.11°C'dir. Diğer yandan, İzmir'de Temmuz ayı aylık ortalama dış hava sıcaklığı 25.82°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.66°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 30.12°C'dir.
- İstanbul'da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için; Ocak ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı 5.75°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 11.31°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 12.36°C'dir. Diğer yandan, İstanbul'da Temmuz ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı 24.09°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 26.88°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.49°C'dir.
- Diyarbakır'da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için; Ocak ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı 6.33°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 11.62°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 12.24°C'dir. Diğer yandan, Diyarbakır'da Temmuz ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı 26.34°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.41°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 29.64°C'dir.
- Ankara'da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için; Ocak ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı -2.39°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 5.87°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 6.89°C'dir. Diğer yandan, Ankara'da Temmuz ayına ait aylık ortalama dış hava sıcaklığı 21.53°C'dir. Hesaplama sonuçlarına göre bu duvarın Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 26.07°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 27.83°C'dir.
- **Değerlendirme:** Sonuçlar değerlendirildiğinde, TS825 standardında aynı derece gün bölgesine dahil edilmiş illerden İstanbul ve Diyarbakır'da aynı duvar tipinin aynı yönde özellikle soğutma istenen dönemde dinamik koşullar altında farklı performans gösterdiği belirlenmiştir:

Daha sonra; aynı illerde bulunan, farklı yönlere bakan dış duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları araştırılmıştır. Örnek olarak; İzmir’de bulunan, farklı yönlere bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçları ve değerlendirme verilmiştir:

- İzmir’de, kuzey yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 12.53°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 13.03°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 27.96°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı ortalama 29.01°C’dir.
- İzmir’de, doğu yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 12.79°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 13.61°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 29.86°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 31.93°C’dir.
- İzmir’de, güney yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı ortalama 14.41°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.10°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.51°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 29.98°C’dir.
- İzmir’de, batı yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 12.80°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.10°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 29.84°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 31.90°C’dir.
- **Değerlendirme:** Sonuçta yönlenme durumu, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığında kuzeyden güneye 1.61°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığında kuzeyden güneye ve batıya 3.07°C artışa neden olmuştur. Temmuz ayında kuzeyden doğuya opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığının 1.90°C ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklığının 2.92°C arttığı görülmüştür.

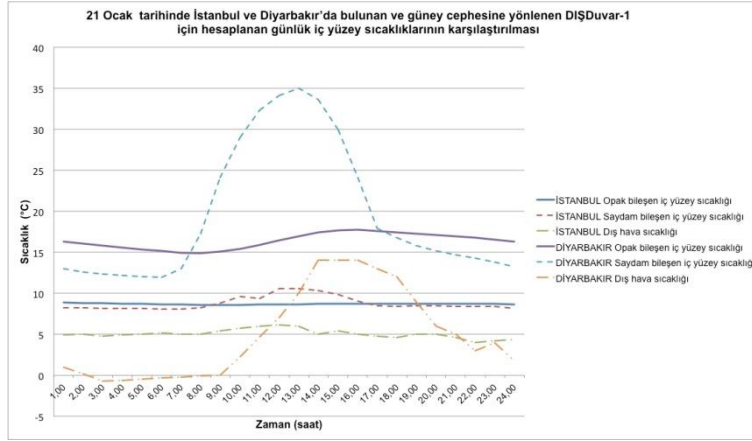
Daha sonra; aynı ilde bulunan, aynı yöne bakan farklı duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Örnek olarak; İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1, Dış Duvar 2, Dış Duvar 3 ve Dış Duvar 4’e ait hesaplama sonuçları ve değerlendirme verilmiştir:

- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 14.41°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.10°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.51°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 29.98°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 2’ye ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 14.41°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.12°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.54°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 30.04°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 14.39°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.11°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 28.66°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 30.12°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 4’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 13.75°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 15.75°C’dir. Temmuz ayında ise opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 27.58°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 29.34°C’dir.
- **Değerlendirme:** Aylık ortalama iç yüzey sıcaklığı olarak konfor sıcaklıklarına en yakın sıcaklık değerleri Ocak ayında Dış Duvar 1 ve Dış Duvar 2, Temmuz ayında ise Dış Duvar 4 ile elde edilmiştir.

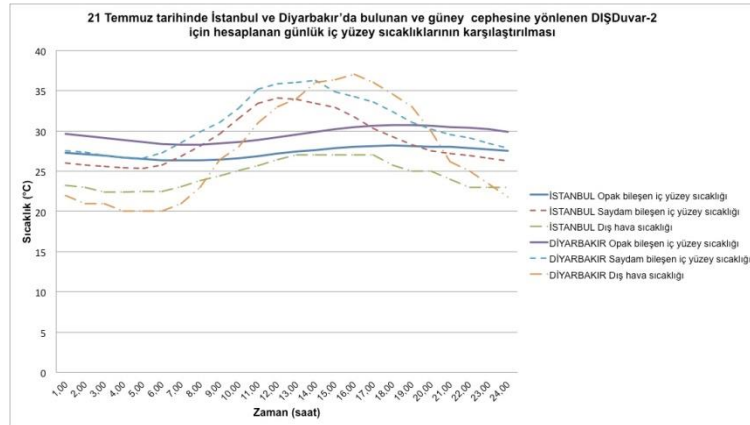
3.2.2. 21 Ocak ve 21 Temmuz günlük iç yüzey sıcaklıkları

İstanbul ve Diyarbakır’da bulunan, güney yönüne bakan, farklı duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde örnek olarak; İstanbul ve Diyarbakır’da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1’in 21 Ocak için hesaplama sonuçları ve Dış Duvar 2’nin 21 Temmuz için hesaplama sonuçları değerlendirilmiştir. Hesaplama çıktıları günlük iç yüzey sıcaklık verilerini gösteren tablolar halinde alınarak karşılaştırma yapmak amacıyla çizgi grafiğine aktarılmıştır.

21 Ocak günlük iç yüzey sıcaklık grafiklerine bakıldığında, İstanbul'da bulunan Dış Duvar 1'in opak bileşen iç yüzey sıcaklığında gün boyu önemli bir değişim gözlenmezken, Diyarbakır'da bulunan Dış Duvar 1'in opak bileşen iç yüzey sıcaklığında öğle saatlerinde bir miktar değişim Şekil 2. de verildiği üzere görülmüştür. Diğer yandan; İstanbul'da dış hava sıcaklığında gün boyunca fazla değişim görülmemektedir ancak Diyarbakır'da gündüz ile gece dış hava sıcaklığı arasındaki fark fazladır. Bu nedenle, Diyarbakır'da Dış Duvar 1'in saydam bileşen iç yüzey sıcaklığında öğle saatlerinde önemli bir değişim gözlenirken, İstanbul'da duvarın saydam bileşen iç yüzey sıcaklığında çok az değişim belirlenmiştir. İstanbul ve Diyarbakır'da bulunan Dış Duvar 1 için 21 Temmuz'da opak bileşen iç yüzey sıcaklıklarında gün boyu az miktarda değişiklik görülmektedir ve Şekil 3. de belirtilmiştir. Diğer yandan, değişen dış hava sıcaklığına bağlı olarak, saydam bileşen iç yüzey sıcaklığında İstanbul ve Diyarbakır'da öğle saatlerinde değişim görülmüştür.



Şekil 2. 21 Ocak tarihinde İstanbul ve Diyarbakır'da bulunan ve güney cephesine yönelen Dış Duvar 1 için hesaplanan günlük iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması.

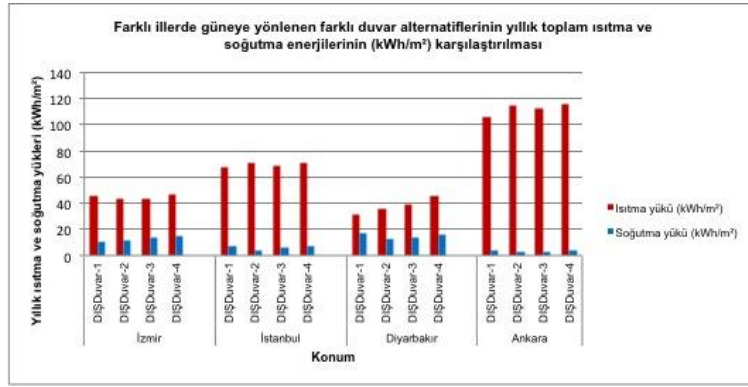


Şekil 3. 21 Temmuz tarihinde İstanbul ve Diyarbakır'da bulunan ve güney cephesine yönelen Dış Duvar 2 için hesaplanan günlük iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması.

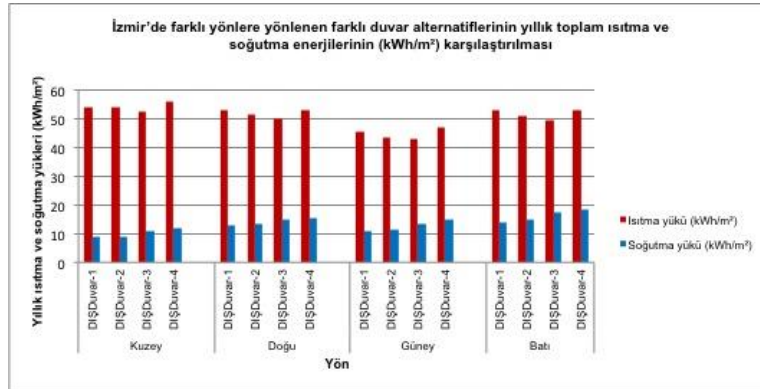
3.3. Isıtma Ve Soğutma Yüklerinin Analizi

Çalışmanın ikinci bölümünde, farklı illerde bulunan, farklı yöne bakan farklı duvar alternatiflerinin uygulandığı hacmin yıllık toplam ısıtma ve soğutma yükleri (kWh/m²) hesaplanmıştır. Çalışmada örnek olarak; farklı illerde bulunan, güney yönüne bakan farklı duvar alternatifleri için elde edilen hesaplama sonuçları ile İzmir'de bulunan, farklı yönlere bakan farklı duvar alternatifleri için elde edilen hesaplama sonuçlarından bahsedilmektedir. Hesaplama çıktıları yıllık toplam enerji tüketim miktarlarını gösteren tablolar halinde alınmış ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla ısıtma ve soğutma yükleri çubuk grafiğine aktarılmıştır.

Bütün duvar alternatifleri karşılaştırıldığında Şekil 4. de görüldüğü üzere; yıllık toplam ısıtma yükü en fazla Ankara'da bulunan Duvar 4'te ve en az Diyarbakır'da bulunan Duvar 1'de görülmektedir. Yıllık toplam soğutma yükü en fazla Diyarbakır'da bulunan Duvar 1'de ve en az Ankara'da bulunan Duvar 2'de tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; Dış Duvar 1 yıllık toplam ısıtma yükü açısından İstanbul, Diyarbakır ve Ankara'da en iyi alternatif iken, İzmir'de en iyi alternatif Dış Duvar 3'tür. Diğer yandan, Dış Duvar 2 yıllık toplam soğutma yükü açısından İstanbul, Diyarbakır ve Ankara'daki en iyi alternatif iken, İzmir'deki en iyi alternatif Dış Duvar 1'dir. İzmir'deki bütün duvar alternatifleri için yıllık toplam ısıtma yükünün en fazla olduğu yön olarak kuzey ve yıllık toplam soğutma yükünün en fazla olduğu yön olarak ise doğu ile batı yönleri değerlendirilmiş ve Şekil 5. de belirtilmiştir. Yıllık toplam ısıtma yükünün en düşük değeri bütün yönler için Dış Duvar 3 alternatifinde görülürken, yıllık toplam soğutma yükünün en düşük değeri kuzey yönü için Dış Duvar 2 ve doğu, güney ile batı yönleri için Dış Duvar 1 alternatifinde görülmektedir. Bu sonuçlara göre; Dış Duvar 3 yıllık toplam ısıtma yükü açısından tüm yönler için İzmir'deki en iyi alternatiftir. Diğer yandan, Dış Duvar 2 yıllık soğutma yükü açısından kuzey yönündeki en iyi alternatifken; doğu, güney ve batı yönleri için en iyi alternatif Dış Duvar 1'dir.



Şekil 4. Farklı illerde güneye yönelen farklı duvar alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjilerinin (kWh/m^2) karşılaştırılması.



Şekil 5. İzmir'de farklı yönlere yönelen farklı duvar alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjilerinin (kWh/m^2) karşılaştırılması.

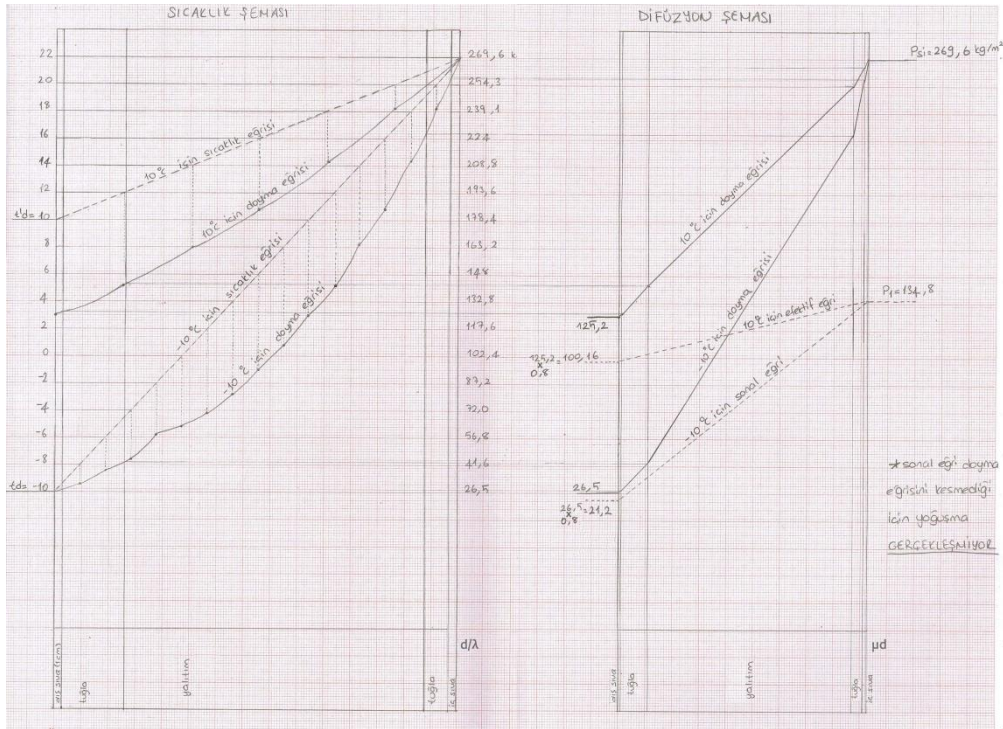
3.4. Yoğuşma Kontrolü Çalışması

Hesaplama sonuçlarına göre performansının iyi olduğu belirlenen Dış Duvar 2 için Glaser grafik yöntemi ile yoğuşma kontrolü yapılmıştır [3]. Öncelikle sıcaklık ve difüzyon şemaları çizilmiştir. Tablo 5. de verilen Dış Duvar 2'nin ısı direnci ve difüzyon direnci hesaplanmıştır. Sıcaklık şeması çizilirken Şekil 6. da görüldüğü üzere dış duvar katmanları ısı dirençleri ile orantılı, difüzyon şeması çizilirken ise dış duvar katmanları buhar difüzyon dirençleri ile orantılı olarak çizilmiştir. Sıcaklık şemasında sol tarafa; iç hava sıcaklığı 22°C , yoğuşmanın olacağı sıcaklık -10°C ve yoğuşmanın olmayacağı sıcaklık 10°C olarak işlenmiştir. İlgili sıcaklık aralığına karşılık gelen doymuş buhar basınçları 26.5 kg/m^2 ile

269.6 kg/m² aralığında eşit olarak sıcaklık şemasının sağ tarafına işlenmiştir. Bu değerler kullanılarak, -10°C ve +10°C için sıcaklık eğrileri ile doyma eğrileri çizilmiştir. Doyma eğrileri, difüzyon şemasına taşınmıştır. Sonrasında, difüzyon şemasında 10°C için efektif eğri ve -10°C için sanal eğri çizilmiştir. -10°C için çizilen sanal ve doyma eğrileri kesişmediği için yoğuşmanın gerçekleşmediği değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Dış Duvar 2'nin sıcaklık ve difüzyon şemalarının çiziminde kullanılan katman kalınlıkları için belirleyici parametreler ve değerleri.

Hesaplar	Birim ağırlık γ	Isı iletkenliği λ	Kalınlık d	Isı direnci d / λ	Difüzyon direnç faktörü η	Eşdeğer difüzyon direnci $p: \eta d$
Tabakalar	kg/m ³	kcal/mh°C	m	m ² h°C/kcal	-	cm
Dış sıva	950	0.350	0.010	0.029	10	0.100
Tuğla	1920	0.720	0.165	0.229	6	0.990
Yalıtım	35	0.034	0.038	1.115	200	7.580
Tuğla	1920	0.720	0.065	0.090	6	0.390
İç sıva	1000	0.400	0.013	0.033	10	0.130



Şekil 6. Dış Duvar 2 için çizilen sıcaklık şeması (sol) ve difüzyon şeması (sağ).

4. OFİS TİPOLOJİSİ İÇİN YAPI KABUĞU ENERJİ PERFORMANSI

4.1. Varsayımlar

Örnek binanın fonksiyonu konut tipolojisinden ofis tipolojisine değiştirildiği zaman; iç kazançlar, kullanıcı yoğunluğu ve kullanım zaman çizelgesi oldukça değişmektedir ve bu nedenle revize edilmiştir. Kabuk opak ile saydam bileşen iç yüzey sıcaklığı ve yıllık ısıtma ile soğutma yüklerini hesaplamaya başlamadan önce DesignBuilder yazılımına aşağıda yer aldığı şekilde veri olarak girilmiştir:

- **İç ısı kazançları:** Ofis iç ısı kazançları olarak EN15232 standardında belirtilen 10 W/m^2 baz alınarak, bilgisayar kaynaklı kazancın 5 W/m^2 ve ofis ekipmanından kaynaklanan kazancın 5 W/m^2 olduğu varsayılmıştır [4]. Aydınlatmadan kaynaklanan kazanç 13 W/m^2 'a çıkarılmıştır [4].
- **Kullanıcı yoğunluğu:** Ofis tipolojisinde kullanıcı yoğunluğu 0.16 kişi/m^2 'ye çıkarılmıştır. Bu yoğunluk 61.6 m^2 taban alanlı ofisi yaklaşık 10 kişinin kullandığını ifade etmektedir.
- **Kullanım zaman çizelgesi:** Yazılım içindeki ofis kullanım zaman çizelgesi seçilmiştir. Kullanım zaman çizelgesinde, örnek binanın ofis olarak kullanıldığı zaman aralıkları hafta içi saat 9.00-18.00 olarak belirtilmektedir.

Binanın saydam ile opak bileşen iç yüzey sıcaklıkları ve ısıtma ile soğutma yükleri hesaplanırken DesignBuilder yazılımında yapılan sistem tanımlamaları konut tipolojisi ile aynı olacak şekilde belirlenmiştir.

4.2. Dış Duvar İç Yüzey Sıcaklıkları Analizi

4.2.1. Aylık ortalama iç yüzey sıcaklıkları

Öncelikle; farklı illerde bulunan, aynı yöne bakan aynı dış duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Örnek olarak; farklı illerde bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3'e ait hesaplama sonuçları ve değerlendirmeler verilmektedir:

- İzmir'de bulunan güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için hesaplama sonuçlarına göre Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 18.15°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 20.53°C 'dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.14°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.33°C 'dir.
- İstanbul'da bulunan güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için hesaplama sonuçlarına göre Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 16.86°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 17.45°C 'dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 32.22°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.44°C 'dir.
- Diyarbakır'da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için hesaplama sonuçlarına göre Ocak ayında opak bileşen iç yüzey sıcaklığı 19.72°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 21.48°C 'dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.05°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 35.04°C 'dir.
- Ankara'da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3 için hesaplama sonuçlarına göre Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 12.60°C ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklığı 13.00°C 'dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 32.97°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.14°C 'dir.
- **Değerlendirme:** TS825 standardında aynı derece gün bölgesine dahil edilen İstanbul ve Diyarbakır'da aynı duvar tipi, aynı yönde dinamik koşullar altında farklı performans göstermiştir.

Daha sonra; aynı illerde bulunan, farklı yönlere bakan dış duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları araştırılmıştır. Örnek olarak; İzmir'de bulunan, farklı yönlere bakan Dış Duvar 1'e ait hesaplama sonuçları ve değerlendirmeler verilmiştir:

- İzmir’de bulunan, kuzey yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 17.75°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 17.84°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 32.53°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.29°C’dir.
- İzmir’de bulunan, doğu yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 17.97°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 18.39°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.43°C ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklığı 36.20°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 19.45°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 20.76°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.06°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.25°C’dir.
- İzmir’de bulunan, batı yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 18.00°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 18.41°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.44°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 36.21°C’dir.
- **Değerlendirme:** Sonuç olarak yönlenme durumunun kuzeyden batıya değişimi; Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığında 0.25°C artışa ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığında 0.57°C artışa neden olmuştur. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığında 1.91°C artışa ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığında 2.92°C artışa neden olduğu görülmüştür.

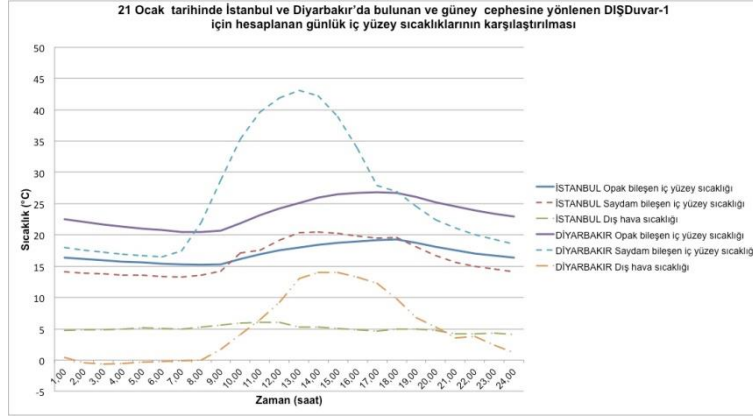
Daha sonra; aynı illerde bulunan, aynı yöne bakan farklı duvar alternatiflerinin opak ve saydam iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Örnek olarak; İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1, Dış Duvar 2, Dış Duvar 3 ve Dış Duvar 4’e ait hesaplama sonuçları ve değerlendirmeler verilmektedir:

- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 19.45°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 20.76°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.06°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.25°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 2’ye ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 19.11°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 20.39°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 32.54°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.72°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 3’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 18.15°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 20.53°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.14°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 34.33°C’dir.
- İzmir’de bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 4’e ait hesaplama sonuçlarına göre, Ocak ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 18.41°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 20.10°C’dir. Temmuz ayında opak bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 32.04°C ve saydam bileşen ortalama iç yüzey sıcaklığı 33.54°C’dir.
- **Değerlendirme:** Sonuçta; aylık ortalama iç yüzey sıcaklığı olarak konfor sıcaklıklarına en yakın sıcaklık değerleri Ocak ayında Dış Duvar 1, Temmuz ayında ise Dış Duvar 4 ile elde edilmiştir.

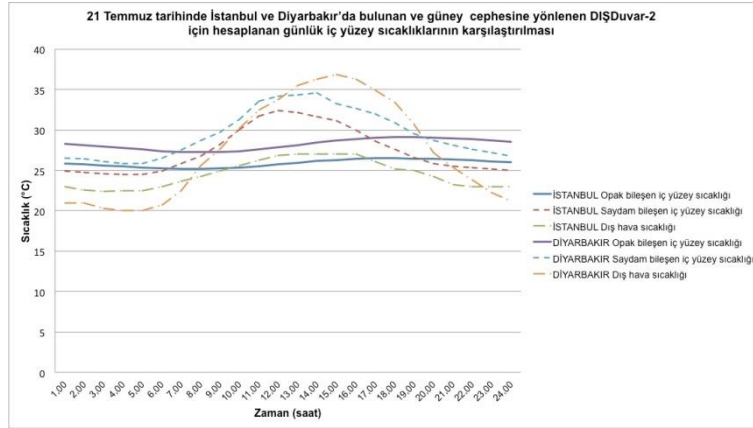
4.2.2. 21 Ocak ve 21 Temmuz günlük iç yüzey sıcaklıkları

İstanbul ve Diyarbakır’da, güney yönüne bakan, farklı duvar alternatiflerinin opak ve saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde örnek olarak; İstanbul ve Diyarbakır’da bulunan, güney yönüne bakan Dış Duvar 1’in 21 Ocak için hesaplama sonuçları ve Dış Duvar 2’nin 21 Temmuz için hesaplama sonuçları değerlendirilmiştir. Günlük iç yüzey sıcaklık değişimi tüm duvar tipleri için benzer özellikler göstermiştir. 21 Ocak’ta, Diyarbakır’da bulunan Dış Duvar 1’in opak ve saydam bileşen yüzey sıcaklıkları İstanbul’da bulunan duvarın sıcaklıklarından daha yüksek elde edilmiştir. Diyarbakır’da bulunan duvarın saydam bileşeninin iç yüzey sıcaklığı öğle saatlerinde cam yüzeyine gelen yüksek ışınım değerleri nedeniyle Şekil 7. de görüldüğü üzere hızlıca

yükselmektedir. Şekil 8. de verilen 21 Temmuz'da Dış Duvar 2'nin iç yüzey sıcaklıkları benzer bir dağılım göstermekle beraber, 21 Ocak değerlerine göre yükselmiştir.



Şekil 7. 21 Ocak tarihinde İstanbul ve Diyarbakır'da bulunan ve güney cephesine yönelen Dış Duvar 1 için hesaplanan günlük iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması.



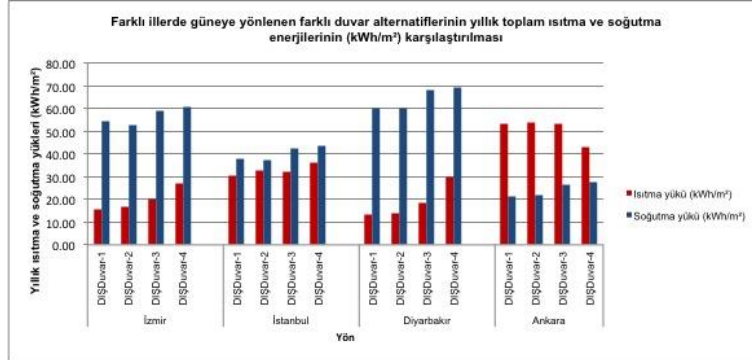
Şekil 8. 21 Temmuz tarihinde İstanbul ve Diyarbakır'da bulunan ve güney cephesine yönelen Dış Duvar 2 için hesaplanan günlük iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması.

4.3. Isıtma Ve Soğutma Yüklerinin Analizi

Çalışmanın ikinci bölümünde, farklı illerde bulunan, farklı yöne bakan farklı duvar alternatiflerinin uygulandığı hacmin yıllık ısıtma ve soğutma yükleri (kWh/m²) hesaplanmıştır. Çalışmada örnek olarak; farklı illerde bulunan, güney yönüne bakan farklı duvar alternatifleri için elde edilen hesaplama sonuçları ile İzmir'de bulunan, farklı yönlere bakan farklı duvar alternatifleri için elde edilen hesaplama sonuçlarından bahsedilmektedir. Hesaplama çıktıları yıllık toplam enerji tüketim miktarlarını gösteren tablolar halinde alınmış ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla ısıtma ve soğutma yükleri çubuk grafiğine aktarılmıştır.

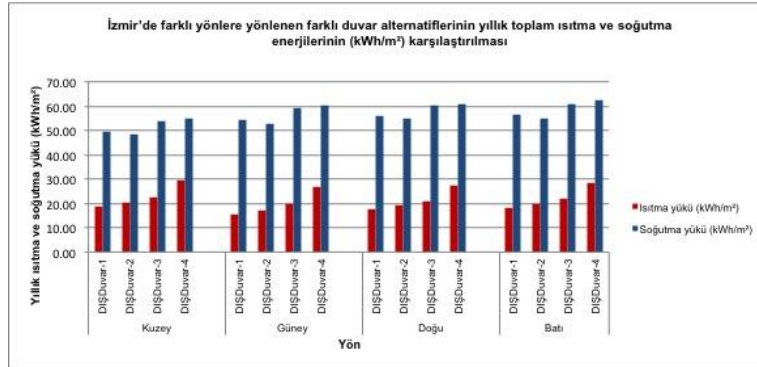
Farklı illerde bulunan, güney yönüne bakan farklı duvar alternatifleri için elde edilen ve Şekil 9. da verilen hesaplama sonuçlarında; en fazla ısıtma yükü Ankara'da elde edilirken, en fazla soğutma yükü Diyarbakır'da elde edilmiştir. Bu ilişkinin tam tersi, en az ısıtma ve soğutma yükü için geçerlidir. Isıtma yükleri, İzmir ve Diyarbakır'da Dış Duvar 1'den Dış Duvar 4'e artmıştır. İstanbul'da, ısıtma yükleri için dört farklı duvar tipi için de oldukça benzer elde edilmiştir. Ankara'da Dış Duvar 1, Dış Duvar 2 ve Dış Duvar 3'de oldukça benzer sonuçlar görülmüştür; Dış Duvar 4 ise diğer üç duvara göre daha az ısıtma yüküne neden olmuştur. Bu nedenle, ısıtma yükleri açısından en iyi alternatif İzmir, İstanbul ve Diyarbakır'da Dış Duvar 1 iken Ankara'da Dış Duvar 4'tür. Soğutma yükleri İzmir, İstanbul, Diyarbakır

ve Ankara’da benzer bir dağılım göstermiştir; Dış Duvar 1 ve Dış Duvar 2 için daha düşük iken, Dış Duvar 3 ve Dış Duvar 4 için artmıştır. Bu nedenle; soğutma yükleri açısından en iyi alternatif dört il için de Dış Duvar 2 olmuştur.



Şekil 9. Farklı illerde güneye yönelen farklı duvar alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjilerinin (kWh/m²) karşılaştırılması.

Ayrıca, İzmir’de bulunan, farklı yönlere bakan farklı duvar alternatifleri için elde edilen hesaplama sonuçları Şekil 10. da karşılaştırılmıştır. Isıtma yükü tüm yönlerde Dış Duvar 1’den Dış Duvar 4’e az miktarda artmıştır. Değer olarak benzer değerler görülürken en az ısıtma yükleri güney yönünde elde edilmiştir. En fazla ısıtma yükü, kuzey yönünde Dış Duvar 4’de görülmüştür. Soğutma yüklerinin ilişkisi açısından da, dört yönde de Dış Duvar 1 ve Dış Duvar 2 daha az, Dış Duvar 3 ve Dış Duvar 4 daha yüksek soğutma yüklerine neden olmuştur. Değer olarak kuzey yönünde daha az, diğer üç yönde ise daha fazla soğutma yükleri elde edilmiştir. En fazla soğutma yükü, batı yönünde Dış Duvar 4’te görülmüştür.



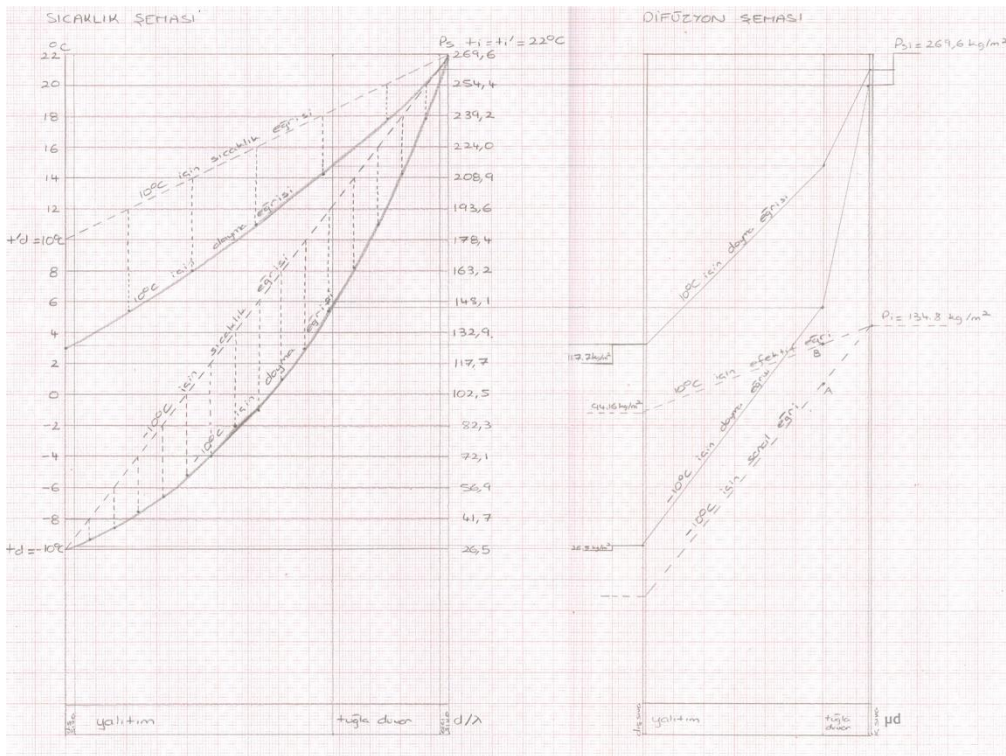
Şekil 10. İzmir’de farklı yönlere yönelen farklı duvar alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjilerinin (kWh/m²) karşılaştırılması.

4.4. Yoğuşma Kontrolü Çalışması

Hesaplama sonuçlarına göre performansının iyi olduğu belirlenen Dış Duvar 1 için Glaser grafik yöntemi ile yoğuşma kontrolü yapılmıştır [3]. Öncelikle Tablo 6. da gösterildiği şekilde Dış Duvar 1’in ısı direnci ve difüzyon direnci hesaplanmış ve Şekil 11.de verilen sıcaklık ile difüzyon şemaları çizilmiştir. Konut tipoloji çalışmasında gerçekleştirilen adımlar, aynen uygulanmıştır. Sonuç olarak, difüzyon şemasında -10°C için çizilen sanal ve doyma eğrileri kesişmediği için yoğuşmanın gerçekleşmediği değerlendirilmiştir.

Tablo 6. Dış Duvar 1'in sıcaklık ve difüzyon şemalarının çiziminde kullanılan katman kalınlıkları için belirleyici parametreler ve değerleri.

Hesaplar	Birim ağırlık γ	Isı iletkenliği λ	Kalınlık d	Isı direnci d / λ	Difüzyon direnç faktörü η	Eşdeğer difüzyon direnci $p: \eta d$
Tabakalar	kg/m ³	kcal/mh°C	m	m ² h°C/kcal	-	cm
Dış sıva	950	0.350	0.010	0.029	10	0.100
Yalıtım	35	0.034	0.029	0.850	200	5.780
Tuğla	1920	0.720	0.250	0.347	6	1.500
İç sıva	1000	0.400	0.013	0.033	10	0.130

**Şekil 11.** Dış Duvar 1 için çizilen sıcaklık şeması (sol) ve difüzyon şeması (sağ).

5. ÖRNEK BİNA GÜNIŞIĞI PERFORMANSI

Örnek bina yapı kabuğu enerji performansına ek olarak, günüşiği performansı analiz edilmiştir. Günüşiği performansı, mevcut saydam bileşen tasarımı (saydamlık oranı) ve seçilen cam türü (ışık geçirgenliği) ile günüşiği aydınlığı düzeyinin konut ve ofis fonksiyonları açısından yeterliliği incelenerek değerlendirilmiştir.

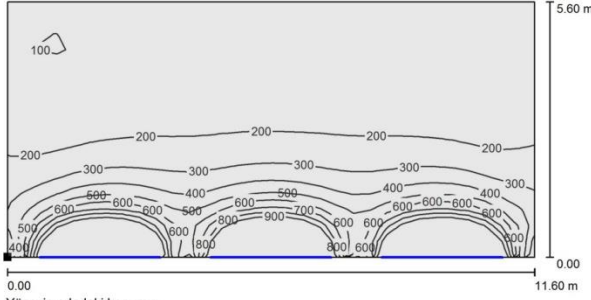
5.1. Varsayımlar

Günişliği performansının değerlendirilmesi aydınlatma hesaplama aracı olarak kullanılan Dialux yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Günişliği hesaplamaları için çevrede dış engel olmadığı kabul edilmiştir. Saydamlık oranı %28'dir. Pencere ışık geçirgenliği %54 olarak ele alınmıştır. Saydam bileşen üzerinde herhangi bir güneş kontrolü elemanı bulunmamaktadır. Hacim iç yüzey ışık yansıtma oranları EN12464-1 standardında belirtilen değerlerin ortalamaları olarak kabul edilmiştir [5]. İlgili bu değerler; tavan yüzeyi için %80, duvar yüzeyleri için %65 ve döşeme yüzeyi için %30'dur. Hesaplamalar, yerden 0.85m yüksekte olduğu kabul edilen çalışma düzlemi üzerinde yapılmıştır. Hesaplamalarda, yapma aydınlatma devre dışı bırakılmıştır.

5.2. Günişliği Performansı Değerlendirmesi

Değerlendirme çalışmalarına örnek olarak, İzmir'de 23 Mart'ta saat 12.00'de pencerelerin bulunduğu cephenin dört farklı yönde olduğu varsayılan durumların karşılaştırması verilmiştir. 23 Mart tarihli hesaplamada Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE Ortalama Gök Modeli kullanılmıştır. Bu örnek analizin amacı, yön parametresinin hacim içi günişliği aydınlığı üzerindeki etkisini konut ve ofis tipolojileri açısından değerlendirmektir. Şekil 12. de verilen günişliği aydınlığı dağılımları yönler bağılı olarak incelendiğinde, çalışma düzlemi üzerinde hesaplanan günişliği aydınlığı ortalama değeri en düşük kuzey yönünde ve en yüksek güney yönünde elde edilmiştir. Kuzey yönünde günişliği aydınlığı ortalama değeri (E_m) 348 lux olarak elde edilmiştir. Bu değer konut fonksiyonları için tavsiye edilen ve 100 ile 300 lux arasında değişen aydınlık düzeyleri açısından yeterlidir [6]. Fakat çalışma düzlemi üzerinde ortalama aydınlık düzeyi olarak EN12464-1 standardınca ofis fonksiyonları için belirtilen minimum 500 lux değerini sağlamamaktadır [5]. Bu bulgu, kuzey yönünde örnek binanın ofis olarak kullanımında hacmin çoğunluğunda yapma aydınlatmaya ihtiyaç olduğunu belirtmektedir. Bu durum, yapma aydınlatma yükünde artışlara neden olacaktır. Yapma aydınlatma yükünü azaltmak amacıyla pencere ışık geçirgenliğinin artırılması ya da pencere boyutlarının ısıtma ve soğutma yükleri ile optimize edilerek artırılması önem kazanmaktadır. Doğu ile batı yönlerinde çalışma düzlemi üzerinde ortalama aydınlık düzeyi konut ve ofis fonksiyonları için yeterlidir. Hacmin ortalarından itibaren 300 lux'e düşmeye başlayan günişliği aydınlığı değerleri, bu alanlarda ve derinlerde ofis fonksiyonunda yapma aydınlatma ihtiyacını göstermektedir. Yüksek aydınlık düzeyi değerlerinin görsel konfor sorunu olan kamaşmaya neden olabileceği dikkate alındığında, pencere boyutlarının ısıtma ve soğutma yükleri ile optimize edilerek azaltılmasının ya da pencerelerde güneş kontrolü elemanlarının kullanımının altı çizilmektedir. Güneye yönlene hacimde çalışma düzlemi üzerinde konut ve ofis fonksiyonları için gereken ortalama aydınlık düzeyleri sağlanmaktadır, fakat elde edilen günişliği aydınlığı ortalama ve maksimum değerleri oldukça yükselmektedir. Doğu ile batı yönünde olduğu gibi, güney yönünde de kamaşma sorununu önlemek amacıyla saydam bileşen boyutlandırması ve güneş kontrolü değerlendirilmelidir.

Oda 1 / İzmir-23 Mart-12.00-Kuzey / Çalışma düzlemi / Değer eğrileri (E)

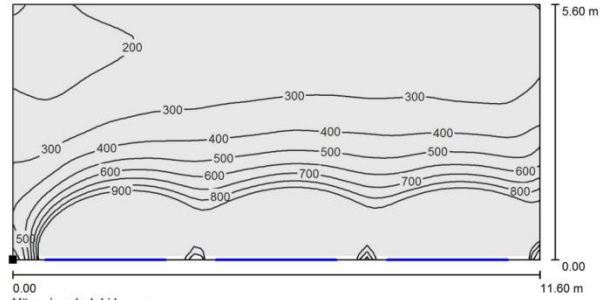


Yüzeyin odadaki konumu:
İşaretlenmiş:
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

Ağ: 32 x 16 Noktalar

E_{min} [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
348	93	2002	0.268	0.047

Oda 1 / İzmir-23 Mart-12.00-Doğu / Çalışma düzlemi / Değer eğrileri (E)

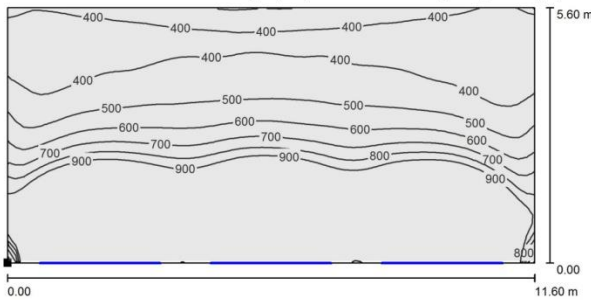


Yüzeyin odadaki konumu:
İşaretlenmiş:
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

Ağ: 64 x 32 Noktalar

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
704	157	3919	0.223	0.040

Oda 1 / İzmir-23 Mart-12.00-Güney / Çalışma düzlemi / Değer eğrileri (E)

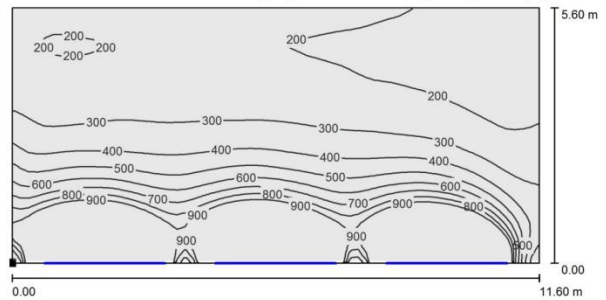


Yüzeyin odadaki konumu:
İşaretlenmiş:
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

Ağ: 64 x 32 Noktalar

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
1169	300	5819	0.256	0.051

Oda 1 / İzmir-23 Mart-12.00-Batı / Çalışma düzlemi / Değer eğrileri (E)



Yüzeyin odadaki konumu:
İşaretlenmiş:
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

Ağ: 64 x 32 Noktalar

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
599	132	3379	0.221	0.039

Şekil 12. Güneş ışığı aydınlığı dağılımının İzmir'de 23 Mart saat 12.00'de farklı yönler için karşılaştırılması.

6. DEĞERLENDİRME

Hesaplama sonuçları değerlendirildiği zaman, konut ile ofis tipolojileri arasında değişen iç ısı kazançlarının yapı kabuğu enerji performansı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Ofis fonksiyonunda yüksek iç ısı kazançlarına (kullanıcılar, aydınlatma armatürleri, bilgisayarlar ve ofis ekipmanları) bağlı olarak, kabuk opak ile saydam bileşen iç yüzey sıcaklıkları ve soğutma yükleri daha yüksek elde edilmiştir. Güneş ışığı performansı açısından, yönler bağımlı olarak güneş ışığı aydınlığı dağılımı değişmektedir. Değişen güneş ışığı performansı yapma aydınlatma ihtiyacını etkilemekte ve bu ihtiyaç konut ile ofis fonksiyonlarında farklılaşmaktadır. Konut fonksiyonu için gereken aydınlık düzeyleri tüm yönlerde güneş ışığı aydınlığı ile sağlanmaktadır. Ofis fonksiyonunda ise çalışma düzlemi üzerinde, kuzey yönünde elde edilen güneş ışığı aydınlığı ortalama değeri ve diğer yönlerde hacmin derinlerinde azalan güneş ışığı aydınlığı değerleri yapma aydınlatma ihtiyaçlarına neden olmaktadır. Saydam bileşen boyutlandırması ve pencere ışık geçirgenliği bu anlamda önem kazanmaktadır. Güney, doğu ve batı yönlerinde yüksek aydınlık düzeyleri nedeniyle saydam bileşen boyutlandırması ve güneş kontrolü elemanlarının kullanımı değerlendirilmelidir. İlgili bu değerlendirmeler sadece seçilen gün ve saat için geçerli olup, gerçek güneş ışığı analizleri tüm yıl ve tüm saatler için yapılmalıdır. Bazı durumlarda belirli sayıda temsili gün ve saat seçilerek çalışmalar yürütülebilir. Bu çalışmada da ortalama koşulları temsil ettiği için 23 Mart günü ve saat 12.00 seçilmiştir.

SONUÇ

Çalışma; farklı iklim bölgelerinde performans gösteren, aynı U katsayısına sahip yapı kabuklarının farklı olarak detaylandırılması gerektiğini ortaya koymuştur. Aynı derece gün bölgesinde bulunan fakat farklı iklimsel özelliklere sahip İstanbul ve Diyarbakır'da, aynı U katsayısına sahip dış duvarlar farklı performans göstermiştir.

Aynı iklim bölgesinde, aynı U katsayısına sahip yapı kabuklarının detayları yönere bağlı olarak farklılaştırılmalıdır. Çalışma ayrıca konut ile ofis fonksiyonu arasında farklılaşan iç ısı kazanç faktörlerinin, yapı kabuğu iç yüzey sıcaklıkları ve ısıtma ile soğutma yükleri üzerindeki etkisini ortaya çıkarmış ve farklı bina tipolojileri için yapı kabuğu tasarımının farklılaşmasının gerektiğini göstermiştir. Ofis fonksiyonlu hacimde yüksek iç ısı kazanç faktörleri nedeniyle, yapı kabuğu opak ile saydam bileşenlerinin iç yüzey sıcaklıkları ve soğutma yükleri daha yüksek elde edilmiştir.

Dinamik etkiler nedeniyle, aynı U katsayısına sahip kabukların detayları değiştikçe, yüzey sıcaklıkları ve hacim ısıtma ile soğutma yükleri değişmektedir. Her yapı kabuğu detayının, her lokasyonda enerji etkin olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu nedenle, kabuk detayları dinamik enerji hesaplama araçları ile test edilmelidir.

Çalışmada yapı kabuğunun iç yüzey sıcaklıklarının değerlendirilmesi amacıyla gölgelendirme sistemi, doğal havalandırma ve otomasyon sistemleri çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Enerji etkin kabuk tasarımında opak bileşenin detayı, kabuğun saydamlık oranı, saydam bileşenin özellikleri, doğal havalandırma kontrolü, güneş kontrolü ve otomasyon sistemi; ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini etkilemektedir. Saydam bileşenin güneş enerjisi kazanç değeri, soğutma yüklerinin azaltımı açısından düşük ve ışık geçirgenliği yapma aydınlatma yükünün azaltımı açısından yüksek olmalıdır. Kabuğun detaylandırıldığı ve saydam bileşenin boyutlandırıldığı aşamada optimizasyon çalışmalarının yürütülmesi tavsiye edilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında, örnek binanın günışığı performansı da değerlendirilmiştir. Konut ve ofis tipolojilerinin, günışığı performansına bağlı olarak yapma aydınlatma kullanımları değişecek ve buna bağlı olarak enerji performansları değişecektir. Optimizasyon çalışmaları kapsamında, bina tipolojisi farklılıkları da değerlendirme kapsamına alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] TS825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", 2013.
- [2] TABULA, IEE Project - Typology Approach for Building Stock Energy Assessment, National Scientific Report - Greece, National Observatory of Athens, 2012.
- [3] YILMAZ, A. Z., Yoğuşma Kontrolü, Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [4] EN15232, "Energy Performance of Buildings - Impact of Building Automation, Controls and Building Management", 2012.
- [5] EN12464-1, "Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places", 2011.
- [6] Tregenza, P. ve Wilson, M., "Daylighting: Architecture and Lighting Design", Routledge, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Seda KAÇEL

İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü mezunudur. 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi yüksek lisans programını tamamlamış ve enerji etkin aydınlatma konusu üzerine olan tez çalışması sırasında, Stuttgart Teknik Üniversitesi, Almanya'da bulunmuştur. Nottingham Üniversitesi, İngiltere'de Mimarlık ve Yapılı Çevre



Bölümü Çevresel Tasarım yüksek lisans programını 2012 yılında tamamlamıştır. Doktora eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Bilimleri programında sürdürmekte olup, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Fiziği Çevre Kontrolü Çalışma Grubu'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Araştırma konuları arasında yapı fiziği, binalarda enerji verimliliği, çevresel tasarım, doğal aydınlatma ve enerji etkin aydınlatma yer almaktadır.

Ayşegül EKŞİ

1989 yılı Sakarya doğumludur. 2013 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünden mezun olmuştur. 2013 yılında aynı üniversitede Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi programına başlamıştır. Yüksek lisans eğitimi kapsamında Doç. Dr. Hülya KUŞ'un danışmanlığında yapı ve yapım teknolojileri ile bina kabuğunun enerji etkin tasarımı konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

A. Zerrin YILMAZ

1979 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Fiziksel Çevre Kontrolü Birimi'nde görev yapmakta olan, 1983-1984 yılları arasında "Lawrence Berkeley Laboratory Passive Solar Group" ile çalışan ve 1993 yılından beri İTÜ de aynı birimde görevini profesör olarak sürdüren A. Zerrin Yılmaz'ın enerji etkin tasarım, bina fiziği, yeşil bina, bina enerji simülasyonu ve enerji modelleme, iklimsel konfor, binalarda güneş enerjisi kullanımı ve yoğuşma kontrolü konularında ulusal ve uluslararası 100 den fazla yayını, ikisi halen devam etmekte olan ulusal ve uluslararası araştırmaları, yürüttüğü yüksek lisans ve doktora tezleri ve bu alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Binalarda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, bina enerji modelleme ve enerji etkin iyileştirme gibi alanlarda çeşitli ulusal ve AB projeleri dahil uluslar arası projelerde çoğunlukla yönetici olarak yer almıştır. Bu alandaki CITYNET AB projesi Avrupa Komisyonu tarafından star projeler arasına alınmıştır. Binalarda Enerji Performansı hesaplama yöntemi araştırmasında BEP-TR hesaplama yönteminin net enerji hesaplama modülünü geliştiren grubun koordinatörlüğünü yapmıştır. Ayrıca, Türkiye için konutlara yönelik yeşil bina sertifikalandırma sisteminin oluşturulmasında, enerji verimliliği kredilerinin belirlenmesi ve farklı konut tipolojileri için referans binaların tanımlanması konusunda görev yapmıştır. Halen EPBD-Recast kapsamında AB ülkelerinde Referans Bina çalışmaları yapmak üzere kurulmuş TASK-FORCE1 ekibinin Türkiye'den davetli üyesi olarak görev yapmaktadır.