



## The effect of building facades window/wall ratio and window properties on energy performance

Gonca Özer Yaman\*

Bingöl University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Architecture, 12000, Bingöl, Türkiye

### Highlights:

- Window joinery type building energy performance relationship
- The relationship between window glass type and building energy performance
- Window/wall ratio building energy performance relationship

### Keywords:

- Opaque/transparent surface ratio
- Passive building design
- Energy efficient building
- Window/wall ratio
- Energy conservation in buildings

### Article Info:

Research Article

Received: 05.01.2022

Accepted: 15.04.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1053674

### Correspondence:

Author: Gonca Özer Yaman  
e-mail: gozer@bingol.edu.tr  
phone: +90 530 323 7325

### Graphical/Tabular Abstract

The opaque/transparent surface ratio of the building facades plays a decisive role in the heat loss and gain of the buildings. Figure A shows the relationship between heat losses and gains with this ratio.

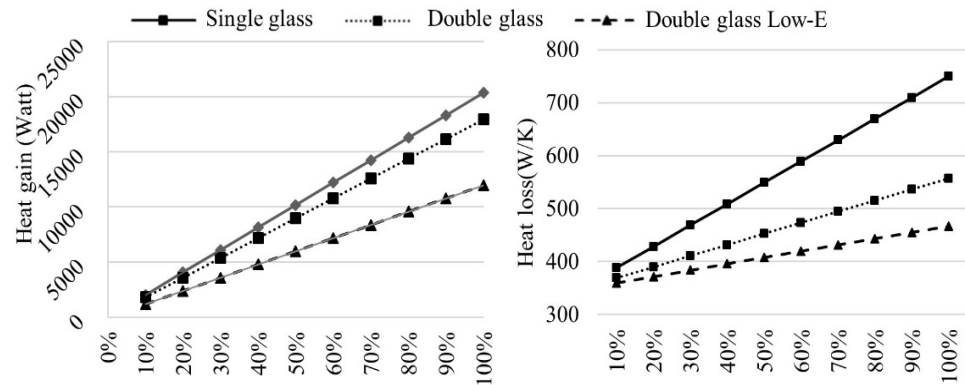


Figure A. Alternatives created according to the opaque/transparent surface ratio parameter on building facades and heat loss and gain graphs

### Purpose:

Heat losses and gains in buildings vary according to the opaque and transparent surface properties of the building facades. While determining the opaque/transparent surface ratios, also called window/wall ratio, on building facades, the energy performance of the buildings should also be taken into account. With this study, it is aimed to reveal the results of window joinery type and glass properties alternatives in terms of thermal performance according to the opaque/transparent surface ratios on the building facades, and to guide the data obtained as a result of the study in the creation of optimum solution options.

### Theory and Methods:

In this context, in this study, the heat losses and gains in the buildings were investigated according to the opaque/transparent surface ratios of the buildings, the joinery types of the windows forming the transparent surfaces and the properties of the window glass. Within the scope of the study, considering 10 different opaque/transparent surface ratios, 9 different joinery types and 5 different glass types, heat losses and heat gains were calculated according to the window-wall ratio and glass types of the buildings. The calculation method in TSE 825 was used in the calculations. The data obtained as a result of the calculations were evaluated by comparing them with tables and graphics.

### Results:

As a result of the study, data that can guide the choice of options that can achieve good results in terms of heat losses and gains when designing building facades are presented.

### Conclusion:

As the window/wall ratio increases on the facades of the building, heat losses increase and the heat gains from solar energy increase. Considering the visual comfort conditions, in line with the data obtained as a result of the research, it will be possible to apply with optimum heat loss / gain ratio by using the appropriate window joinery and glass type.



## Bina cepheleri pencere/duvar oranı ve pencere özelliklerinin enerji performansına etkisi

Gonca Özer Yaman\*

Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye

### ÖNEÇIKANLAR

- Pencere doğrama türü bina enerji performans ilişkisi
- Pencere cam türü bina enerji performans ilişkisi
- Pencere/duvar oranı bina enerji performans ilişkisi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.01.2022

Kabul: 15.04.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1053674

### Anahtar Kelimeler:

Opak/saydam yüzey oranı,  
pasif bina tasarımı,  
enerji etkin bina,  
pencere/duvar oranı,  
binalarda enerji korunumu

### ÖZ

kullanılmaktadır, ısıtma enerjisi ihtiyacı büyük oranda bina cephelerinde meydana gelen ısı kayıp ve kazançlarından etkilenmektedir. Bu kayıp ve kazançlar bina cephelerinin opak ve saydam yüzey özelliklerine göre değişmektedir. Bina cephelerinde pencere/duvar oranı olarak da adlandırılan opak/saydam yüzey oranları belirlenirken binaların enerji performansının da dikkate alınması gerekliliği açıktır. Bu çalışma ile bina cephelerindeki opak/saydam yüzey oranlarına göre pencere doğrama türü ve cam özellikleri alternatiflerinin ısı performans bakımından sonuçları ortaya konarak, çalışma sonucu elde edilen verilerin optimum çözüm seçeneklerinin oluşturulmasında yol gösterici olması hedeflenmektedir. Bu bağlamda çalışmada bina opak/saydam yüzey oranları saydam yüzeyleri oluşturan pencerelerin doğrama türleri ve pencere camının özelliklerine göre binalarda meydana gelen ısı kayıp ve kazançları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 10 farklı opak/saydam yüzey oranları, 9 farklı doğrama türü ve 5 farklı cam türü dikkate alınarak ısı kayıpları ve binaların pencere duvar oranı ve cam türlerine göre ısı kazançları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda TSE 825'de yer alan hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler tablo ve grafikler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, bina cepheleri tasarlanırken ısı kayıp ve kazançları bakımından iyi sonuçlar elde edilebilecek seçenekler tercih edilmesi için yol gösterici olabilecek veriler ortaya konmaktadır.

## The effect of building facades window/wall ratio and window properties on energy performance

### HIGHLIGHTS

- Window joinery type building energy performance relationship
- The relationship between window glass type and building energy performance
- Window/wall ratio building energy performance relationship

### Article Info

Research Article

Received: 05.01.2022

Accepted: 15.04.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1053674

### Keywords:

Opaque/transparent surface  
ratio,  
passive building design,  
energy efficient building,  
window/wall ratio,  
energy conservation in  
buildings

### ABSTRACT

The facades of the buildings are the dividing element that separates the interior and exterior spaces. A large part of the energy need of the buildings is used for heating energy, and the heating energy need is largely affected by the heat losses and gains that occur on the facades of the buildings. These losses and gains vary according to the opaque and transparent surface properties of the building facades. It is clear that the energy performance of the buildings should also be taken into account when determining the opaque/transparent surface ratios, also called window/wall ratio, on building facades. With this study, it is aimed to reveal the results of the appropriate window joinery type and glass properties alternatives according to the opaque/transparent surface ratios on the building facades in terms of thermal performance, and to guide the data obtained as a result of the study in the creation of optimum solution options. In this context, the heat losses and gains in the buildings were investigated according to the opaque/transparent surface ratios of the buildings, the joinery types of the windows and the properties of the window glass. Within the scope of the study, considering 10 different opaque/transparent surface ratios, 9 different joinery types and 5 different glass types, heat losses and heat gains according to the window/wall ratio and glass types of the buildings were calculated according to different situations. The calculation method in TSE 825 was used in the calculations. The data obtained as a result of the calculations were evaluated by comparing them with tables and graphics. As a result of the study, data that can guide the choice of options that can achieve good results in terms of heat losses and gains when designing building facades are presented.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : \*gozer@bingol.edu.tr / Tel: +90 530 323 7325

## 1. Giriş (Introduction)

Binalarda enerji kullanımı dünya çapında toplam enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı, hammadde kullanımının %30'unu, katı atık üretiminin %25'ini, su kullanımının %25'ini, arazi kullanımının %12'sini ve sera gazı emisyonlarının %33'üne binaların yol açtığını belirtmektedir [1, 2]. Türkiye'de 2015 yılında konut ve hizmet sektörünün kullandığı enerji, toplam tüketimin %33'ünü oluşturarak sanayi sektöründen daha fazla enerji tükettiği gerçeği ortaya çıkmaktadır [3]. Bu nedenle enerji kaynaklarının kullanımı, karbon emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğinin önüne geçilmesi bakımından binaların enerji performansının iyileştirilmesi temel stratejilerden biri haline gelmiştir [4, 5]. Enerji kaynaklarının tükenmesinden dolayı ortaya çıkan çevresel kaygılar ve artan enerji maliyetleri sebebiyle enerji verimli binalara olan ihtiyaç artmıştır [6]. Günümüzde Avrupa birliği üye ülkeler tasarım yaklaşımlarını derinden değiştiren bina enerji verimliliğine yönelik yeni teknik standartlar üzerinde çalışmalar yapmaktadır. AB direktifleri binaların çevresel performansına ilişkin önemli öneriler içermektedir [7]. Bu gelişmelerle birlikte, Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar konusu her geçen gün önem kazanmaktadır [8]. Bu binalar çok yüksek bir enerji performansına sahip olmanın yanında, kullandığı çok düşük miktarda enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan sağlamaktadırlar [4]. Binaların kullandığı enerjinin önemli bir bölümü binaların ısıtılması için kullanılan enerjidir. Binalarda enerji verimliliği fiziksel çevre değişkenlerinden minimum seviyede etkilenerek, binaların kullanım aşamasında ihtiyaç duyduğu ısıtma enerjisinin minimum seviyede kalmasına olanak sunacak biçimde tasarlanması ile sağlanabilir. Binaların tasarlandığı bölgenin iklim şartlarını değiştirmek mümkün olmadığı için bu iklim şartlarında en iyi ısı performans gösterecek tasarım alternatiflerinin ortaya konması önemli bir konudur [9]. Binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını etkileyen önemli iki faktör binalarda meydana gelen ısı kayıpları ve kazançlarıdır. Bu kayıp ve kazançları bina cephe elemanlarının özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bina cephesi, bina enerji verimliliği ve iç termal konfor ihtiyacının karşılanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır [10, 11]. Bina cephesi, iç-dış ortamlar arasında karmaşık bir arayüzdür [11]. Bina kabuğunu meydana getiren pencere-duvar oranı, insan deneyimini çeşitli şekillerde etkileyen bir tasarım özelliğidir [12]. Binaların dış kabuğunu oluşturan cephe elemanları opak ve saydam yüzeylerden oluşmaktadır, bu yüzeylerin özellikleri binaların enerji kayıp ve kazançları ile doğrudan ilişkilidir [13-15]. Bina kabuğunu meydana getiren opak yüzeyler duvarlardır, saydam yüzeyler ise pencerelerdir. Dış duvardaki ısı kayıp ve kazançları binanın yönüne, konumuna, yalıtımlı olup olmamasına ve dış duvar bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özelliğine göre farklı olmaktadır [16]. Bina cephelerinde opak/saydam yüzey oranının değiştirilmesinin, bina enerji kullanımı, çevresel emisyonlar, maliyet ve termal tatmin, gün ışığı özerkliği ve kullanışlı gün ışığı aydınlatması dâhil olmak üzere bina sakinlerinin konforu üzerinde önemli etkileri vardır [17]. Bir binanın opak/saydam yüzey oranı güneş kazancını, ısı kayıplarını ve aydınlatma gereksinimlerini etkilemektedir, böylece bir binanın enerji tüketimini büyük oranda etkiler [18]. Binaların opak/saydam yüzeylerinde meydana gelen ısı kaybı ve güneş enerjisi kazancı, binaların enerji performansına etkisi nedeniyle, tasarım aşamasında yerel iklim şartlarına göre analiz edilmelidir [13]. Her geçen gün artarak önem kazanan enerji tüketiminin çevreye verdiği zararları en aza indirebilmek için alınan önlemlerin başında, enerji etkin bina tasarımı gelmektedir. Binalarda enerji verimliliği sağlayabilmek için, bina kabuğunda meydana gelen ısı kayıpları azaltılmaya çalışılmaktadır [19]. Bina cephelerinde saydam yüzeylerin, opak yüzeylere oranı yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden elde edilen kazancı doğrudan etkilemektedir [20]. Aynı zamanda bu oran kullanılan pencere türüne ve pencerelerin doğramaların ısı geçirgenlik direnci bakımından farklılıklar göstererek ısı kayıplarını da büyük oranda etkilemektedir.

Bina cephelerinde pencere duvar oranıyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Alghoul vd. Libya'daki küçük bir ofis için enerji tüketimini modellemiştir. İncelenen bina yönelimleri için düşük pencere/duvar oranının daha az yıllık enerji tüketimi sağladığını ortaya koymaktadır [21]. Susorov vd. Enerji performansı sonuçlarını belirlemek için çeşitli iklim bölgelerinde ticari bina kabuklarının geometri faktörlerini değerlendirmektedirler [22]. Çeşitli oda derinlikleri ve bina yönelimleri için pencere/duvar oranını %10 aralıklarla %20'den %80'e değiştirmektedir. Elde ettikleri sonuçlar, en düşük enerji pencere/duvar oranının aydınlatma ve iklimlendirme gereksinimleri nedeniyle binanın konumuna bağlı olduğunu ve çeşitli iklim bölgeleri ve konumlarında simülasyonlar yürütmenin ve birden çok ölçümü dikkate alınmanın önemini ortaya koymaktadır. Obrecht vd. farklı Avrupa iklimlerinde pasif evler için bina yöneliminin optimum cam boyutu üzerindeki etkisine dair bir çalışma yürütmüştür. Araştırma sonuçları, en uygun cam oranlarının ikinci dereceden bir denklemle tahmin edildiğini göstermektedir [23]. Asrafiyan ve Moazzen çalışmasında, uygun cam oranı ve pencere kombinasyonunu araştırmak için Eskişehir, Türkiye'de bir okul binasını incelenmektedir. Sonuçlar, %50'lik bir cam oranının yapay aydınlatma gereksinimini %15'in üzerinde azaltabileceğini ve daha konforlu iç mekan koşulları sağlayabileceğini ortaya koymaktadır [24]. Poirazis vd. çalışmasında, Göteborg'un soğuk iklim bölgesinde bazı ofis binalarının enerji tüketimi simülasyonları yapılmıştır, %30 ile %100 pencere/duvar oranı, farklı camlar, gölgeleme ve yönler üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar, daha küçük pencere/duvar oranına sahip ofis binasının daha fazla enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir [25]. Bu çalışmalarla birlikte bina saydam yüzeylerini oluşturan pencerelerin cam özellikleri ile ilgili çalışmalarda bulunmaktadır. Ertürk vd. çalışmasında Ege Bölgesi'ndeki sekiz il için iki dikey cam plaka arasındaki hava boşluğunu 1 mm'den 280 mm'ye kadar arttırarak penceredeki yalıtıma etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; pencerelerde optimum hava tabakası yaklaşımı getirilmiştir [26]. Yine Ertürk vd. Ege Bölgesindeki iller için yaptıkları çalışmanın devamında dikey konumdaki cam plakalar arasındaki optimum hava tabakası kalınlığı dikkate alınarak dikey konumda cam plakalar arasına pleksiglass şeffaf malzeme konulmuştur. Bu yolla oluşturulan pencerelerdeki ısı kaybı araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda iki plaka arasında iki katman olması halinde %38-40, üç plaka ve hava katmanı olması durumunda %56-58 ve dört hava katmanı ve plaka olması halinde %65-67 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır [27]. Pul vd. çalışmasında Türkiye'de yedi bölgesinde farklı dış hava sıcaklığına sahip her iller için iki dikey cam plaka arasındaki hava tabakasını 1 mm' den 300 mm'ye arttırarak hava tabakası kalınlığının penceredeki yalıtıma etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçları ile pencerelerde her il için optimum hava tabakası kalınlığı yaklaşımı getirilmiştir. Ayrıca her il için optimum hava tabakası kalınlığı dikkate alınarak dikey konumda üç cam plaka arasına iki tabaka hava boşluğu şeklinde düşünülen pencerelerde ısı kaybının yedi bölgedeki iller için yaklaşık %40 oranında azaldığı ortaya konmuştur [28]. Baldinelli vd. çalışmasında, bir ahşap pencere numunesi üzerinde termal, akustik, mekanik, optik ve çevresel faktörler ile ilgili ölçümler ve sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Sonuç olarak ılıman iklimlerde, güneş radyasyonunun uygun bir şekilde kontrol edilmesiyle elde edilen pencere termal özelliklerinin iyileştirilmesinin, pencerenin çevresel performansını optimize etmek için en uygun kriter olduğunu ortaya konulmuştur [29]. Koyun ve Koç çalışmasında, sıcak-nemli iklim şartlarına sahip Antalya kentinde bulunan bir konut binası farklı cam türleri için farklı yönlerdeki pencere/duvar oranı değişiminin ısı kaybına etkisi, incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, binalarda pencere/ duvar alanı oranı ve cam türünün (çift cam, tek cam ve Low-E kaplamalı cam) enerji tüketiminde etkili olduğu ortaya konmuştur. Bununla birlikte en uygun değerlerin %30 pencere/ duvar oranı, plastik doğrama ve kaplamalı 4-12-4 mm cam türünde, gaz beton tuğla duvar olduğu ortaya konmuştur [14]. Bektaş ve Aksoy'un çalışmasında örnek bir

konut için farklı yönlerde farklı pencere oranları, doğrama türü (ahşap, plastik ve alüminyum) ve cam (tek cam, Low-E kaplamalı çift cam) türleri, için binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda kullanılan farklı doğrama türlerinde, ahşap doğramalı pencereler, alüminyum ve plastik doğramalı pencerelere göre % 1 ile % 18 oranları arasında enerji tasarruf sağlandığı ve soğuk iklim bölgelerinde ahşap doğramalı çift camlı pencereler en uygun çözüm olduğu ortaya konmuştur [30]. Daha önceki birçok bulguda, binaların ısı kazanımını veya ısı kaybını azaltmak için bina pencerelerinin boyutlarının en aza indirilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Ancak pencerelerin, doğal ışığın binalara girmesini sağlamak, manzara faktörü gibi başka önemli işlevleri de vardır. Ek olarak, araştırmacılar, doğal aydınlatma ve dış görünümün faydaları olduğunu ortaya koymuşlardır [31-34]. Bu nedenle, pencere tasarımı, binaların enerji performansının dengesini korurken, doğal aydınlatma ve manzara sağlama özelliklerini yerine getirebilmesi için uygun bir planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada binaların opak/saydam yüzey oranları, pencere türleri ve pencere camı çeşitleri dikkate alınarak oluşturulan değişkenler ile binaların ısı kayıp ve kazançlarının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu kapsamda binaların enerji kazancında önemli etkisi olan opak/saydam yüzey oranı %10,%20,%30,%40,%50,%60,%70,%80,%90 ve bina cephesinin tamamı saydam yüzeyden oluşan % 100 olmak üzere 10 farklı durum oluşturulmuştur. Saydam yüzeyleri oluşturan pencere doğramaları parametresinde ise pencere doğrama türü, pencere cam türü ve pencere camı ara boşluk özellikleri göz önünde bulundurularak 45 farklı durum dikkate alınmıştır. Bu parametreler ile oluşturulan alternatifler kullanılarak TSE 825’de yer alan hesaplama yöntemleri ile ısı kayıp ve kazançları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler tablo ve grafikler ile karşılaştırılarak opak/saydam yüzey oranı, pencere türü, pencere camı özelliklerine göre binaların ısı kayıp ve kazançları bakımından uygun çözüm önerileri ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar ile Binalarda enerji performansı dikkate alınarak yapılacak olan tasarımlarda yön gösterebilecek veriler ortaya konmaktadır.

## 2. Yöntem (Method)

Çalışmada öncelikle hesaplamalarda kullanılacak tasarım parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu süreçlerini gösteren akış diyagramı Şekil 1’de görülmektedir.

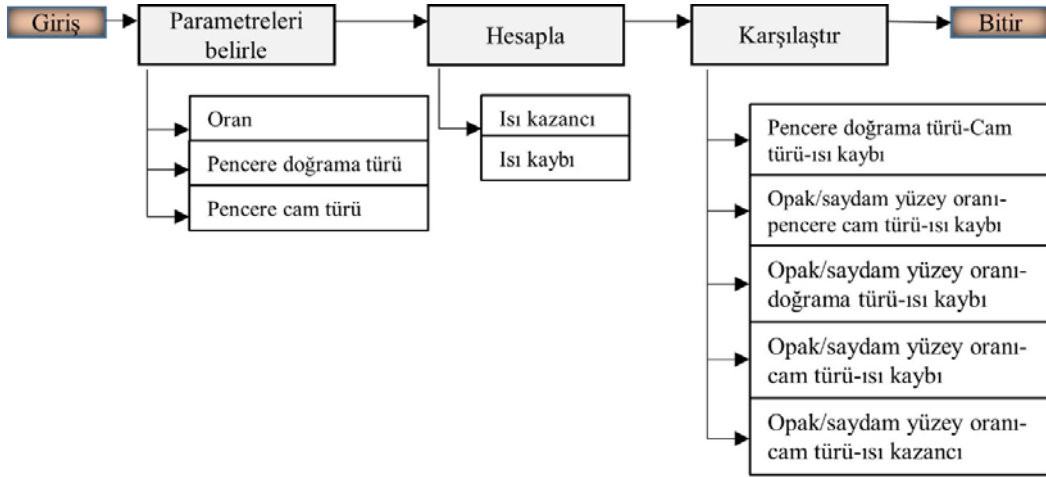
Yöntem kısmını oluşturan bu bölümde öncelikle ısı kayıp ve kazançlarını etkileyen parametrelerden ve bu parametreler doğrultusunda oluşturulan bina alternatiflerinden bahsedilecektir. Daha sonra oluşturulan bina alternatiflerinde ısı kayıp ve kazançlarının hesaplanmasında kullanılan hesaplama yönteminden anlatılacaktır.

### 2.1. Değişken Tasarım Parametreleri (Variable Design Parameters)

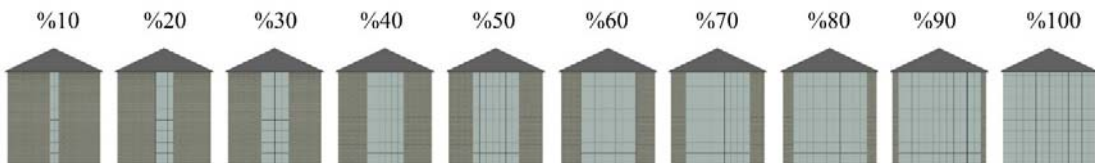
Çalışma kapsamında binaların enerji kayıp ve kazançlarını hesaplarırken binaların tasarım parametreleri sınırlandırılmıştır. Bu parametreler Opak/Saydam yüzey oranı ve Pencere türü olarak belirlenmiştir.

#### 2.1.1. Opak/saydam yüzey oranı (Opaque/transparent surface ratio)

Binaları oluşturan farklı yapı elemanları farklı ısıl geçirgenlik katsayılarına sahiptir. Bundan dolayı farklı yapı elemanlarında meydana gelen ısı kayıpları da farklılık göstermektedir. Binalarda ısı kayıplarının büyük bölümü bina cephelerinde oluşmaktadır. Aynı zamanda bina cephelerindeki yüzeylerden güneş enerjisi kazancı da elde edilmektedir. Bina cepheleri opak ve saydam yüzeylerin birleşiminden oluşmaktadır. Opak yüzeyleri duvar gibi katı kütlelerden oluşan yapı elemanları oluşturmaktadır. Saydam yüzeyler ise genellikle pencerelerden oluşmaktadır. Bina cephelerinde oluşabilecek ısı kayıplarının araştırılması için farklı Opak/saydam yüzey oranlarına göre alternatifler oluşturulmuştur. Bunlar şematik olarak aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma akış diyagramı (Flow diagram of the study)



Şekil 2. Bina cephelerindeki opak/saydam yüzey oranı parametresine göre oluşturulan alternatifler (Alternatives created according to the opaque/transparent surface ratio parameter on building facades)

Şekil 2’de bina cephesinde değişken parametre olarak opak/saydam yüzey oranındaki artışın şematik görüntüsüne yer verilmiştir. Binaların enerji kazancında önemli etkisi olan opak/saydam yüzey oranı parametresine göre bina cephesindeki saydam yüzey oranının tüm cepheye oranı %10, %20, %30 %40, %50, %60, %70, %80, %90 ve bina cephesinin tamamı saydam yüzeyden oluşan %100 olmak üzere 10 farklı değişken oluşturulmuştur. Oluşturulan değişkenlerle birlikte çalışmada tüm değişkenler için sabit kabul edilen yapı elemanlarının fiziksel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.


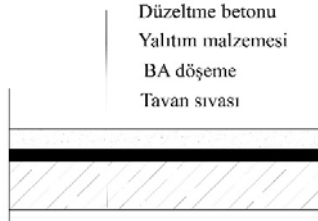
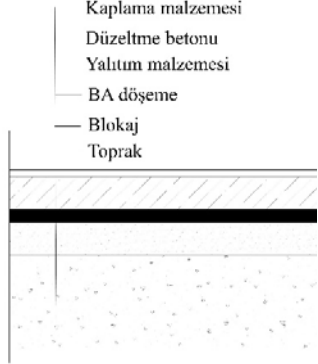
### 2.1.2. Pencere türü (Window type)

Bina cepheleri dış mekan ile iç mekan arasında bulunan yapı elemanlarından oluşmaktadır. Bina cepheleri duvar gibi ışık, görüntü geçirmeyen opak yüzeylerden ve pencere gibi ışığı görüntüyü geçiren saydam yüzeylerden oluşmaktadır. Bina cephelerindeki saydam yüzeyler iç mekanda ışık, manzara gibi görsel etkilerin oluşmasının yanında mekanların havalandırılmasında da büyük önem taşımaktadır. Bina cephelerindeki saydam yüzeyi oluşturan pencereler

cam malzeme ve camı çevreleyen kasa elemanlarının birleşimi ile oluşmaktadır. Farklı kasa özellikleri, cam çeşidi ve camın kullanım biçimine göre bu elemanda meydana gelen ısı kayıpları ve kazançları bakımından farklılıklar göstermektedir. Çalışmada belirlenen pencere doğrama türleri ve cam çeşitleri aşağıdaki Tabloda belirtilmiştir (Tablo 1).

Çalışmada hesaplamalar yapılırken dokuz farklı doğrama türü dikkate alınmıştır. Bunlar; doğramasız pencere, ahşap doğrama pencere, 2 odacıklı PVC doğrama pencere, 3 odacıklı PVC doğrama pencere, 4 odacıklı PVC doğrama pencere, 5 odacıklı PVC doğrama pencere, 6 odacıklı PVC doğrama pencere, alüminyum doğrama pencere, yalıtım Köprülü Alüminyum doğrama pencere çeşitleridir. Her doğrama türü için cam çeşidi ve camın kullanım biçimlerine göre ise beş farklı kullanım biçimi göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar; tek cam, kaplamasız çift cam (ara boşluk 12mm), kaplamasız çift cam (ara boşluk 16mm), Low-E kaplamalı çift cam (ara boşluk 12mm), Low-E kaplamalı çift cam (ara boşluk 16mm) olan cam türü alternatifleridir. Bu doğrama türlerinin cam çeşidine göre ısı geçirgenlik katsayıları Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bina alternatiflerinin yapı elemanlarının sabit kabul edilen fiziksel özellikleri  
(The physical properties of the structural elements of the building alternatives, which are accepted as fixed)

Duvar Yapı Elemanı	Tavan Döşemesi Yapı Elemanı	Taban Döşemesi Yapı Elemanı
$U_{DUVAR}=0,55 \text{ W/M}^2\text{K}$	$U_{TAVAN}=0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{TABAN}=0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$
		

**Tablo 2.** Pencere doğrama türü ve cam özellikleri alternatifleri (Window joinery type and glass features alternatives)

Doğramasız	Ahşap Doğrama	2 Odacıklı PVC doğrama
* Tek Cam	* Tek Cam	* Tek Cam
* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)
* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)
* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)	* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)	* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)
* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)
3 Odacıklı PVC Doğrama	4 Odacıklı PVC Doğrama	5 Odacıklı PVC Doğrama
* Tek Cam	* Tek Cam	* Tek Cam
* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)
* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)
* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)	* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)	* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)
* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)
6 Odacıklı PVC Doğrama	Alüminyum Doğrama	Yalıtım Köprülü Alüminyum Doğrama
* Tek Cam	* Tek Cam	* Tek Cam
* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 12 mm)
* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Çift Cam (Ara boşluk 16 mm)
* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)	* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)	* Low-E Kaplamalı cam (Ara boşluk 12 mm)
* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)	* Low-E Kaplamalı Cam (Ara boşluk 16 mm)

**Tablo 3.** Pencere doğrama türü ve cam özellikleri alternatiflerinin ısı geçirgenlik katsayıları [35]  
(The thermal transmittance coefficients of the window joinery type and glass properties alternatives)

Pencere Isıl Geçirgenlik Katsayıları $U_p$ ( $W/m^2K$ )		Çift Camlı Pencere (Kaplamaless Cam)		Çift Camlı Low-E Kaplamaless Pencere	
Doğrama Türü	Tek Camlı Pencere	Ara boşlu		Ara boşluk	
		12 (mm)	16 (mm)	12 (mm)	16 (mm)
Doğramasız	6,7	2,9	2,7	1,6	1,3
Ahşap Doğrama	4,57	2,64	2,5	1,74	1,53
PVC Doğrama (2 odacıklı)	4,73	2,79	2,65	1,89	1,68
PVC Doğrama (3 odacıklı)	4,63	2,7	2,56	1,8	1,59
PVC Doğrama (4 odacıklı)	4,6	2,67	2,53	1,77	1,56
PVC Doğrama (5 odacıklı)	4,57	2,64	2,5	1,74	1,53
PVC Doğrama (6 odacıklı)	4,54	2,61	2,47	1,71	1,5
Alüminyum Doğrama	5,62	3,66	3,55	2,79	2,58
Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	4,73	2,79	2,65	1,89	1,68

Bu pencere çeşitleri ve kullanım biçimlerine göre 45 farklı pencere alternatifi oluşturulmuştur. Her bir pencere alternatifinin ısı geçirgenlik katsayıları farklıdır ( $U_p$ ). Bu ısı geçirgenlik katsayıları dikkate alınarak her bir pencere çeşidi için oluşturulan binaların ısı kayıpları ve pencere cam özelliklerine göre güneş enerjisinden elde edilen ısı kazanç değerleri hesaplanmıştır.

## 2.2. Hesaplama Yöntemi (Calculation Method)

Çalışmada ısı kayıp değerleri ve ısı kazanç değerlerinin değerlendirilip karşılaştırılabilmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır.

### 2.2.1. Isı kaybı hesaplama yöntemi (Heat loss calculation method)

Isı kaybı hesabı yapılırken TSE 825 [35]'de yer alan iletim taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplama yöntemi kullanılmıştır (Eş. 1-2).

$$H_T = \sum AU + U_l \quad (1)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_K A_K + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_l A_t + U_d A_d + 0,5 U_{ds} A_{ds} \quad (2)$$

Burada;  $U_D$ : dış duvar,  $U_P$ : pencere,  $U_K$ : dış kapı,  $U_T$ : tavan döşemesinin,  $U_l$ : zemine oturan tabanın/döşemenin,  $U_d$ : dış hava ile temas eden tabanın,  $U_{ds}$ : düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayı ( $W/m^2K$ ) değerlerini ifade etmektedir.  $A_D$ : dış duvar,  $A_P$ : pencerenin,  $A_K$  dış kapının,  $A_T$ : tavan döşemesinin,  $A_t$  zemine oturan tabanın/döşemenin,  $A_d$ : Dış hava ile temas eden tabanın,  $A_{ds}$ : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanını ( $m^2$ ) ifade etmektedir. Buradaki  $U_l$  değeri ise ısı köprülerinin ısı geçirgenlik katsayısını ifade etmektedir. Denklemlerdeki duvar, taban döşemesi, tavan döşemesi yapı elemanlarının ' $U$ ' değerleri Çizelge 1' de verilen yapı elemanlarının detayları kullanılarak ortaya çıkmaktadır ve oluşturulan her bina alternatifi için bu elemanlar için sabit detaylar kullanılmıştır. Bu yapı elemanlarının ' $U$ ' değerlerinde malzemelerin ısı iletkenlik hesap değerleri (TSE 825'deki değerler) ve yapı elemanı katmanlarının kalınlıkları kullanılarak belirlenmiştir. Araştırılan pencere türlerinin ' $U$ ' değerleri ise TSE 825'de yer alan ve Çizelge 3'de verilen değerler kullanılmıştır. Yapı elemanlarının  $A$  Değerleri ise her bir yapı elemanının yüzey alanını ifade etmektedir. Pencere yapı elemanı değişken olarak hesaplanmıştır, diğer yapı elemanlarının alanları ise sabit kabul edilmiştir. Hesaplamalar Microsoft Excel programında formüller kullanılarak yapılmıştır.

### 2.2.2. Isı kazancı hesaplama yöntemi (Heat gain calculation method)

Çalışmada hesaplama yöntemi olarak TSE 825' de yer alan binaların aylık ortalama güneş enerjisi kazancı hesabı kullanılmıştır (Eş. 3). Bu yöntem ile pencerelerden doğrudan sağlanan güneş ışınımı hesaplanabilmektedir [35].

$$\Phi_{say} = \sum r_{i,ay} * g_{i,ay} * I_{i,ay} * A_i \quad (3)$$

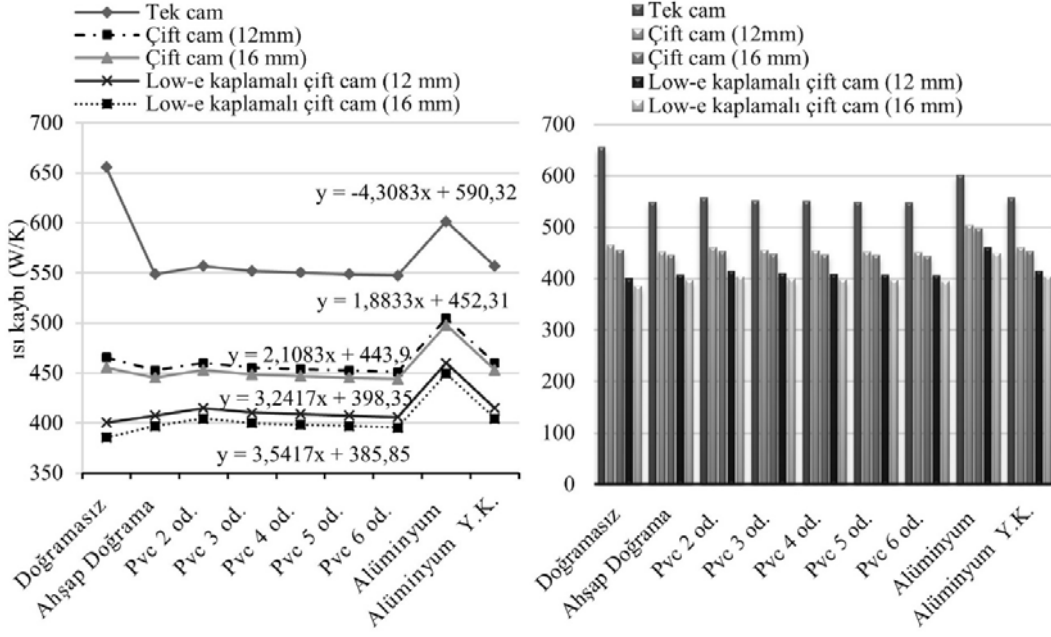
Burada;  $\Phi_{say}$ : aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ( $W$ ),  $r_{i,ay}$  ' $i$ ' yönündeki saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü,  $g_{i,ay}$  : ' $i$ ' yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü,  $I_{i,ay}$ : ' $i$ ' yönündeki dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti ( $W/m^2$ ),  $A_i$ : ' $i$ ' yönündeki toplam pencere alanı değerlerini ifade etmektedir. Hesaplamalarda  $r_{i,ay}$  ' $i$ ' yönündeki saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü değeri olarak TSE 825'de yer alan ayırık veya az katlı binaların bulunduğu yönler için olan 0,8 değeri kullanılmıştır.  $g_{i,ay}$  : ' $i$ ' yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü değerleri renksiz tek cam için '0,85', renksiz yalıtım camı için '0,75', ısı yalıtım camı için '0,50' değerlerinin camlar için düzeltme faktörü değeri '0,8' değerleri ile çarpımıyla elde edilmektedir.  $I_{i,ay}$ : ' $i$ ' yönündeki dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti değerleri kuzey, güney ve ara yönler olan doğu/batı yönleri için TSE 825'de yer alan aylık güneş ışınım değerleri kullanılmıştır.  $A_i$ : ' $i$ ' yönündeki toplam pencere alanı değerleri belirlenen kuzey, güney ve ara yönler olan doğu/batı yönleri için %10'dan %100'e kadar arttırılarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Hesaplamalar Microsoft Excel programında formüller kullanılarak yapılmıştır.

Türkiye'nin iklim koşullarına sahip yerleşim alanlarında planlanacak olan binalarda aylık ortalama güneş enerjisi kazancı bu formül ile hesaplanabilmektedir. Çalışmada bina yüksekliğine bağlı ilave kayıp/kazancı oranları (kat artırımı zammı) ihmal edilmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

### 3.1. Bina Pencere Doğramaları ve Cam Özelliklerine Göre Isı Kaybı (Heat Loss According to Building Window Joinery and Glass Properties)

Binaların saydam yüzeyleri pencere olarak da adlandırabileceğimiz cam yüzeylerdir. Opak yüzeyler ise duvarları ifade etmektedir. Binaların cephe özelliklerine göre opak ve saydam yüzey özellikleri değişmektedir. Opak saydam yüzeylerin cephedeki oranlarının eşit olduğu durum için Doğrama türü- Isı kaybı ilişkisi verileri aşağıdaki şekilde yer almaktadır (Şekil 3). Şekilde yer alan ısı kaybı değerleri hesaplamalarında 'Eş. 1-Eş. 2' kullanılmıştır.



Şekil 3. Pencere doğrama türlerine göre bina cepesinde meydana gelen ısı kaybı  
(Heat loss on the facade of the building according to the window joinery types)

Grafikteki verilere göre pencere camı özellikleri ile ısı kaybı ilişkisine bakıldığında en yüksek ısı kaybının tek camlı pencere türlerinde olduğu, en düşük ısı kaybı ise 16 mm ara boşluğu olan Low-e kaplamalı cam türüne sahip pencerelerde olduğu görülmektedir. Doğrama türü ve cam özellikleri birlikte dikkate alındığında en yüksek ısı kayıp oranlarının tek camlı alüminyum doğrama türündedir ve en düşük ısı kaybı oranı ise ara boşluğu 16 mm olan Low-e kaplamalı doğramasız pencere türündedir.

Doğramasız pencere türü için ısı kaybı en yüksek tek cam, en az ısı kaybı ise low-e kaplamalı cam türünde olduğu görülmektedir. Yine bu pencere türünde tek cam yerine ara boşluk 12 mm olan çift cam yapıldığında %28, çift cam ara boşluk 16 mm yapıldığında %30 oranında ısı kaybında azalmalar sağlanmaktadır. Doğramasız pencere türünde tek cam yerine Low-E kaplamalı çift cam 12mm ara boşluklu cam yapıldığında %39, Low-E kaplamalı çift cam ara boşluk 16 mm yapıldığında ise %42 oranında ısı kaybında azalmalar sağlanmaktadır. Doğramasız pencere türünde cam çeşidine göre ısı kayıplarında meydana gelen azalmaların oranları diğer pencere türlerindeki azalma oranlarından daha yüksektir.

Ahşap doğrama pencere türü PVC 5 odacıklı doğramalı pencere türü ile aynı oranda ısı kaybı değerine sahiptir. Bu iki pencere türü alüminyum doğrama, PVC 2 odacıklı, PVC 3 odacıklı, PVC 4 odacıklı, doğramasız (tek cam, çift cam 12-16 mm) pencere türlerine göre ısı kaybı oranı daha düşüktür. PVC 6 odacıklı pencere ve Doğramasız (Low-e kaplamalı çift cam 12-16 mm) pencere türlerine göre daha yüksek ısı kaybı değerlerine sahiptir. Ahşap doğramalı pencere türünde ısı kaybı en yüksek tek camlı pencerelerde görülmektedir. En az ısı kaybı Low-E kaplamalı pencerededir. Doğramasız pencere türünde tek cam yerine ara boşluk 12mm olan çift cam yapıldığında %15, çift cam ara boşluk 16 mm yapıldığında %19, low-e kaplamalı çift cam 12mm boşluklu yapıldığında %25, low-e kaplamalı çift cam ara boşluk 16 mm yapıldığında ise %27 oranında ısı kaybında azalmalar sağlanabilmektedir.

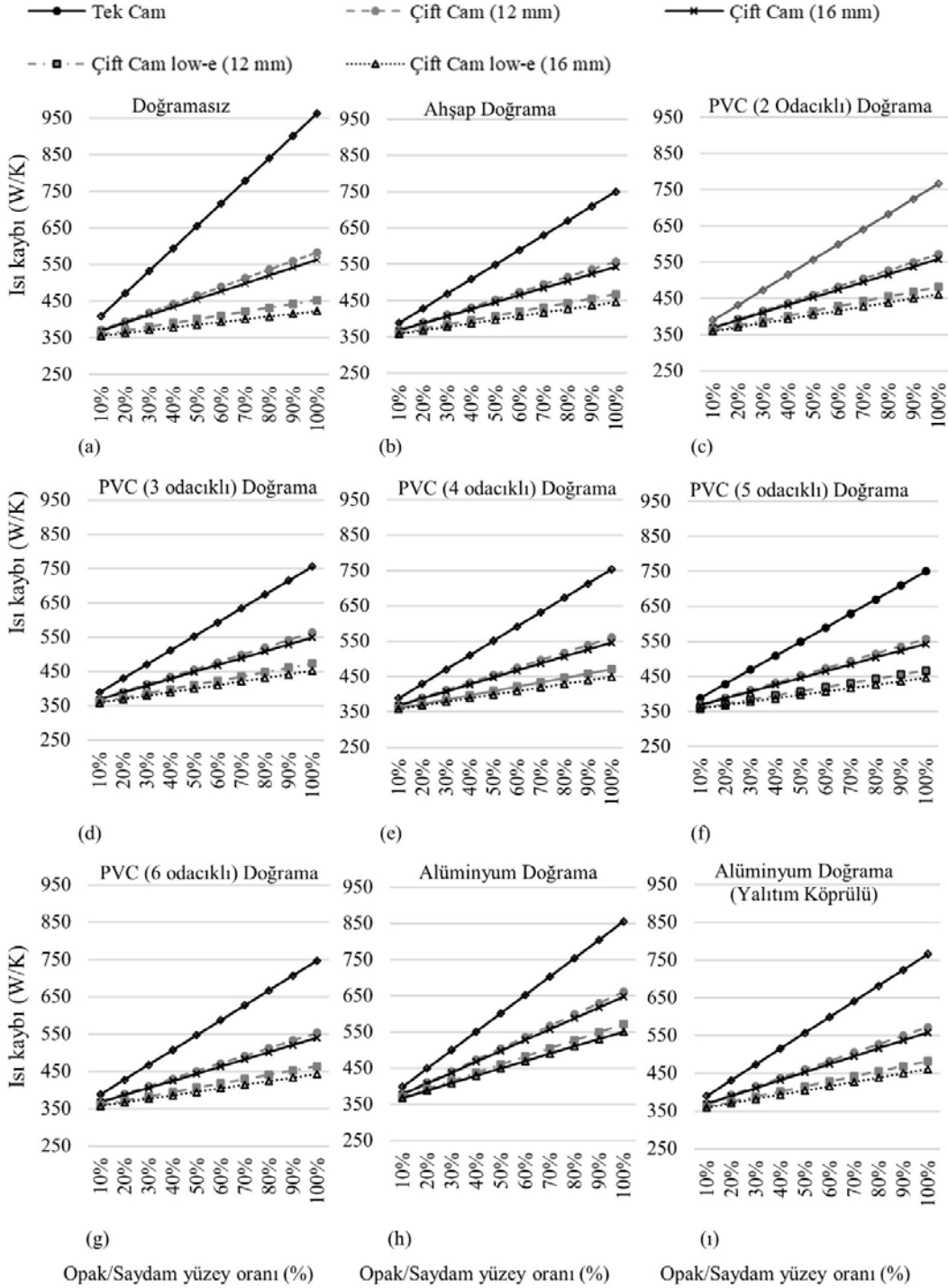
PVC doğramalı pencere türlerindeki ısı kaybı oranlarına bakıldığında en az ısı kayıpları 6 odacıklı PVC pencere türlerinde olduğu

görülmektedir. PVC doğramalı pencere türleri arasında en yüksek ısı kayıpları PVC 2 odacıklı pencere türünde olduğu görülmektedir. PVC pencere türlerinde tek cam yerine ara boşluk 12 mm olan çift cam yapıldığında %17, çift cam ara boşluk 16 mm yapıldığında %19, Low-e kaplamalı çift cam 12mm boşluklu yapıldığında %26, Low-e kaplamalı çift cam 16 mm ara boşluklu yapıldığında ise %28 oranında ısı kaybında azalmalar sağlanabilmektedir.

Bina cephelerinde opak/saydam yüzey oranlarına göre ısı kaybı değerleri değişmektedir. Doğrama türlerinin cam özellikleri, opak/saydam yüzey oranlarına göre ısı kaybı ilişkilerinin bulunduğu grafikler aşağıda yer almaktadır (Şekil 4).

Grafiklerdeki bilgilere göre tüm doğrama türleri için tek camlı saydam yüzeylerde ısı kayıpları en yüksektir. En az ısı kayıpları ise Low-E kaplamalı cam türünde olduğu görülmektedir. Opak saydam yüzey oranlarına baktığımızda pencere oranı arttıkça ısı kayıpları da artmaktadır bu artış oransal olarak en fazla tek cam türündeki pencerelerde olduğu görülmektedir. Şekil 4a' da verilen verilere göre; doğramasız pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %135 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %57, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %52 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %26, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %19 oranında artmaktadır. Doğramasız pencere türünde tek cam uygulandığında pencere oranı artışı ısı kayıplarında büyük artışlara yol açacaktır. Yalıtım özellikleri iyi olan diğer cam türleri tek cam türüne göre daha iyi sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4b' de verilen verilere göre; ahşap doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %93 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %50, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %47 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %29, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %24 oranında artmaktadır. Şekil 4c' de verilen verilere göre; 2 odacıklı PVC doğrama pencere türü için tek cam pencere türü



**Şekil 4.** Doğrama türü-cam özellikleri- opak/saydam yüzey oranlarına göre ısı kaybı: (a) Doğramasız, (b) Ahşap doğrama, (c) 2 odacıklı PVC doğrama, (d) 3 odacıklı PVC doğrama, (e) 4 odacıklı PVC doğrama, (f) 5 odacıklı PVC doğrama, (g) 6 odacıklı PVC doğrama, (h) Alüminyum doğrama, (i) Yalıtım köprülü alüminyum doğrama  
(Joinery type-glass properties- heat loss according to opaque/transparent surface ratios: (a) No joinery, (b) Wooden joinery, (c) 2-chamber PVC joinery, (d) 3-chamber PVC joinery, (e) 4-chamber PVC joinery, (f) 5-chamber PVC joinery, (g) 6-chamber PVC joinery, (h) Aluminum joinery, (i) Aluminum joinery with insulation bridge.)

oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %96 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %54, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %51 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam

türünde %33, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %28 oranında artmaktadır. Şekil 4d'de verilen verilere göre; 3 odacıklı PVC doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %94 artarken, 12 mm ara boşluklu çift



cam türünde %52, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %49 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %31, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %26 oranında artmaktadır. Şekil 4e' de verilen verilere göre; 4 odacıklı PVC doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %93 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %51, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %48 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %30, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %25 oranında artmaktadır. Şekil 4f' de verilen verilere göre; 5 odacıklı PVC doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %93 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %50, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %47 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %29, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %24 oranında artmaktadır. Şekil 4g' de verilen verilere göre; 6 odacıklı PVC doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %92 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %50, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %47 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %29, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %23 oranında artmaktadır.

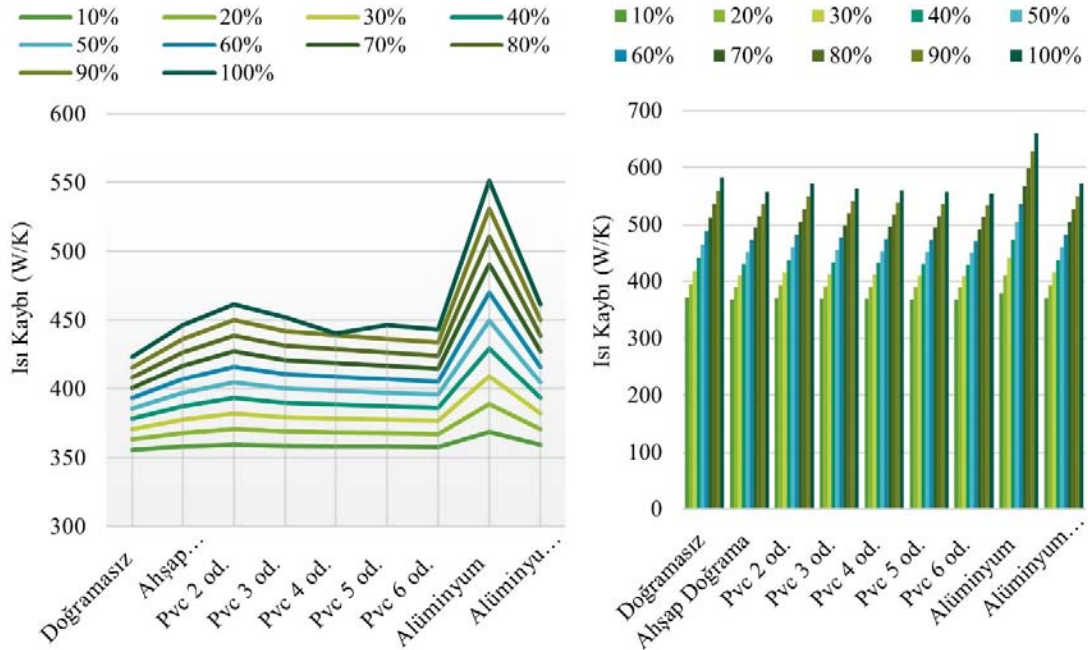
Şekil 4h' de verilen verilere göre; alüminyum doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %114 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %74, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %71 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %54, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %49 oranında artmaktadır. Şekil 4ı' da verilen verilere göre; yalıtım köprülü alüminyum doğrama pencere türü için tek cam pencere türü oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %96 artarken, 12 mm ara boşluklu çift cam türünde %54, 16mm ara boşluklu çift cam türünde %51 artmaktadır. Bu pencere türünde oran %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı 12 mm ara

boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %33, 16 mm ara boşluklu Low-E kaplamalı cam türünde %28 oranında artmaktadır.

Tüm bu verilerden yola çıkarak opak/saydam yüzey oranının artmasıyla birlikte ısı kaybı miktarlarındaki en fazla artış tek camlı doğramasız pencere türünde olduğu görülmektedir. Doğramasız pencere türünden sonra ısı kaybı miktarındaki artış en fazla alüminyum doğramalı pencere türünde olduğu görülmektedir. Koyun ve Koç'un çalışmasında [14] alüminyum kasa ile birleştirilen tek cam sistemi pencere/dış duvar alanı oran artırımında en yüksek ısı kaybı değerini veren sistem olduğunu ortaya koymuşlardır. Bahsedilen çalışmada doğramasız pencere türü hesaba katılmadığı için doğramasız pencere türü hariç yapılan bu çalışma ile sonuçlar birbirini desteklemektedir. Bektaş ve Aksoy'un yaptığı çalışmada [30] pencere türleri ve ısıtma enerjisi arasındaki ilişki araştırılmıştır ve en yüksek enerji ihtiyacına sahip alüminyum doğramalı tek camlı pencereler, en düşük enerji ihtiyacının ise ahşap doğramalı çift camlı pencereler olduğu sonuçları ortaya konmuştur. Yine bahsedilen bu çalışmada da doğramasız pencere türü hesaba katılmamıştır doğramasız pencere türü hariç yapılan bu çalışma ile sonuçlar birbirini desteklemektedir.

### 3.2. Bina Cephelerinde Opak-Saydam Yüzey Oranları ve Pencere Özelliklerine Göre Isı Kaybı ve Isı Kazancı (Heat Loss and Heat Gain According to Opaque-Transparent Surface Ratios and Window Properties on Building Facades)

Çalışmanın bu bölümünde birinci değişken olarak bina cephelerindeki opak saydam yüzey oranı dikkate alınmıştır. Cephelerdeki opak saydam yüzey oranı on farklı durum için değerlendirilmiştir. Bunlar opak yüzeylerin toplam yüzeye oranı %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 ve cephenin tamamının saydam yüzeyden oluştuğu oran olan %100'dür. Diğer değişken ise saydam yüzeyleri oluşturan pencere doğrama türleridir. Bu değişken için; doğramasız pencere türü, ahşap doğrama, PVC (2, 3, 4, 5, 6 odacıklı) doğrama türüne sahip pencere türleri, alüminyum doğrama ve yalıtım köprülü alüminyum doğrama olmak üzere 9 farklı doğrama türü değerlendirilmiştir. 9 farklı pencere doğraması çeşidi için çift cam ara boşluk 12 mm cam türü için; doğrama türü ve opak saydam yüzey oranları arasındaki ilişki aşağıdaki grafikte yer almaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Opak/saydam yüzey oranı-doğrama türü-ısı kaybı ilişkisi (Opaque/transparent surface ratio-joinery type-heat loss relationship)

Araştırılan tüm doğrama türleri için pencere/duvar oranı arttıkça ısı kayıpları da artmaktadır. Bina cephelerinde cephelerde meydana gelen ısı kayıpları arttıkça yıllık enerji tüketimi de artmaktadır. Alghoul vd. [21] ve Poirazis vd.'nin [25] çalışmalarında düşük pencere/duvar oranının daha az yıllık enerji tüketimi sağladığını ortaya koymaktadır. Daha küçük pencere/duvar oranına sahip binaların daha fazla enerji tasarrufu sağladığı ortaya çıkmaktadır.

Araştırma sonucu elde edilen veriler literatürdeki bu bulguları desteklemektedir. Fakat bununla birlikte pencere oranı artışıyla ısı kayıplarında meydana gelen artış oranları aynı değildir. Ahşap ve PVC (5 ve 6 odacıklı) pencere türleri için opak saydam yüzey oranı %10'dan %100'e arttırıldığında ısı kaybı %50 oranında, PVC (2 odacıklı) ve Alüminyum doğrama (Yalıtım köprülü) pencere türlerinde % 54, Doğramasız pencere türü için %56 ve Alüminyum pencere türü için ise % 74 oranında artmaktadır. Bu durum her pencere türü için opak saydam yüzey oranının artışına paralel bir ısı kaybı artışı oluşmadığı sonucunu göstermektedir.

Bina cephe özelliklerine göre ısı kayıpları opak saydam yüzey oranları ve saydam yüzeyleri oluşturan pencerelerin cam özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Çalışmada tek cam, renksiz yalıtım camı ve Low-e kaplamalı cam özellikleri olmak üzere üç farklı cam çeşidi için opak saydam yüzey oranı yine %10, %20, % 30, %40, %50, %60, %70, %80,%90 ve cephenin tamamının saydam yüzeyden oluştuğu oran olan %100 olan durumlar için ısı kaybı hesaplamaları yapılmıştır. Aşağıdaki grafiklerde bina saydam yüzeyleri olan pencerelerde sağlanacak ısı kayıplarının opak saydam yüzey oranları ile ilişkisini göstermektedir (Şekil 6). Isı kayıpları ahşap doğramalı pencere için hesaplama değerleri dikkate alınmıştır.

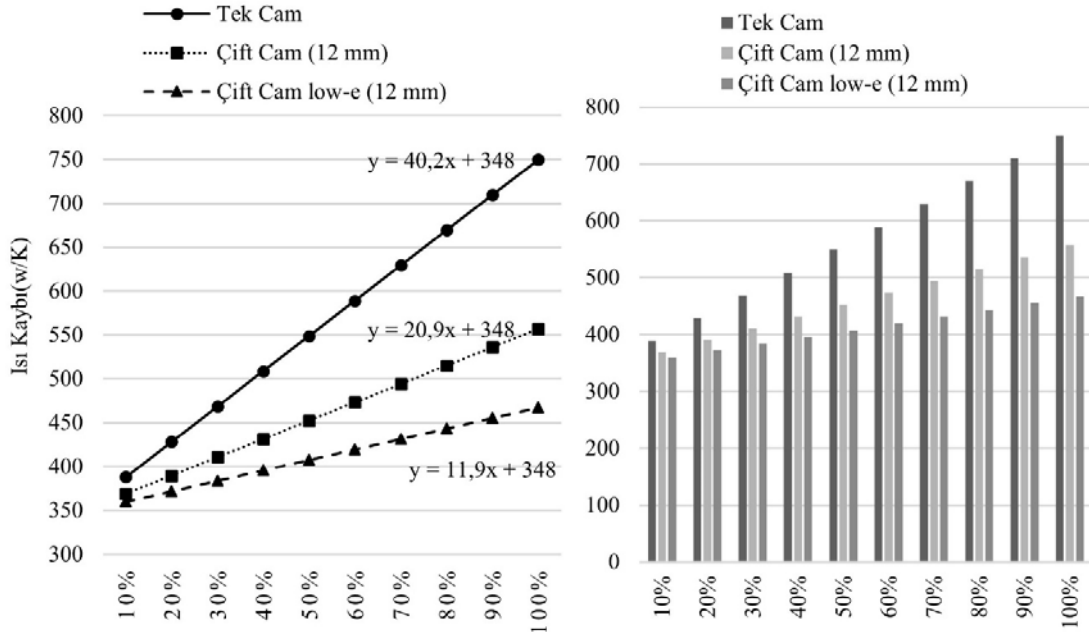
Grafikteki bilgilere göre ısı kaybı değerlerinin en yüksek olduğu cam türü renksiz tek camdır, en düşük olduğu değerler ise Low-e kaplamalı cam türündedir. Bina cephelerindeki tüm pencere cam türleri için pencere/duvar oranı arttıkça ısı kaybı değerleri de artmaktadır. Fakat bu artış oranı cam türlerine göre farklılık göstermektedir. Tek camlı pencere türü için %10 pencere oranı yerine %100 pencere oranı yaptığımızda ısı kaybı miktarı %93 artmaktadır. Çift cam pencere türünde %10 yerine %100 pencere yaptığımızda ısı kaybı miktarı %51

artarken, Low-E kaplamalı cam türü için %10 yerine %100 pencere oranı yapıldığında %29 artış göstermektedir. Saydam yüzey oranının arttırılması gereken durumlarda Low-E kaplamalı cam türü diğer cam türlerine göre daha avantajlı sonuçlar sunmaktadır.

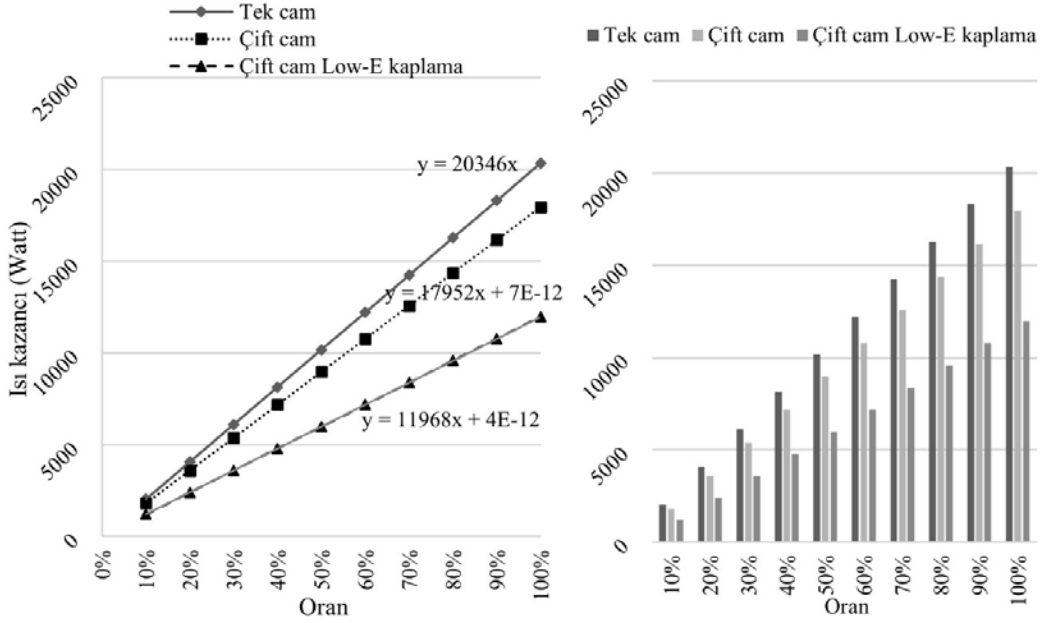
Bina cephelerindeki saydam yüzeylerde ısı kayıpları olduğu gibi bu yüzeylerden güneş enerjisinden ısı kazançları da sağlanmaktadır. Bu kazançlar saydam yüzeyleri oluşturan pencerelerin cam özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bundan dolayı çalışmada tek cam, renksiz yalıtım camı ve Low-e kaplamalı cam özellikleri olmak üzere üç farklı cam çeşidi için opak saydam yüzey oranı %10, %20, % 30, %40, %50, %60, %70, %80,%90 ve cephenin tamamının saydam yüzeyden oluştuğu oran olan %100 olan durumlar için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda güney yöndeki güneş ışınım şiddeti değerleri dikkate alınmıştır. Aşağıdaki grafiklerde bina saydam yüzeyleri olan pencerelerde sağlanacak ısı kazançlarının opak saydam yüzey oranları ile ilişkisini göstermektedir (Şekil 7).

Grafikteki bilgilere göre tüm cam türleri için cephedeki saydam yüzey oranı arttıkça ısı kazancı değerleri de artmaktadır. Özer [20]'in yaptığı çalışmada da bina cephelerindeki pencere oranı arttıkça ısı kazançlarının artacağı sonuçları ortaya konmuştur. Bu çalışmada ilave olarak pencere cam türlerinin ısı kazancına etkisi de dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmenin sonuçlarına göre renksiz tek cam özelliğine sahip opak yüzeylerden güneşten elde edilen ısı kazanç oranları en yüksektir. Low-e kaplamalı cam türüne sahip saydam yüzeylerden elde edilen kazançlar ise tek cam ve renksiz yalıtım camı (renksiz çift cam) özelliğindeki saydam yüzeylerden elde edilen kazançlardan daha azdır. Tek cam özelliğine sahip saydam yüzeylerden çift cama göre %11 daha fazla enerji kazancı sağlanabiliyorken low-e kaplamalı cam türüne göre %41 daha fazla enerji kazancı sağlanabilecektir. Çift cam özelliğine sahip saydam yüzeylerden ise low-e kaplamalı cam yüzeylere göre %33 daha fazla ısı kazancı elde edilebilmektedir. Tüm cam türleri için saydam yüzey oranı ile ısı artış miktarları paralel artmaktadır. Yani saydam yüzey oranını % 10 arttırıldığında ısı kazancı oranı da % 10 artacaktır.

Şekil 5 ve Şekil 6 dikkate alındığında bina cephelerinde saydam yüzey oranı arttığında hem ısı kayıp değerleri ve hem de güneş enerjisinden



Şekil 6. Opak/saydam yüzey oranı-cam türü-ısı kaybı ilişkisi (Opaque/transparent surface ratio-glass type-heat loss relationship)



Şekil 7. Opak/saydam yüzey oranı- cam türü- ısı kazancı ilişkisi (Opaque/transparent surface ratio-glass type-heat gain relationship)

sağlanan ısı kazançları artmaktadır. Bu artışların oranları farklı olduğu için saydam yüzey oranının artışı sağlanabilecek enerji kazançlarının oluşması durumu da ortaya çıkmaktadır. Tek camlı pencere türü için saydam yüzey oranı arttığında ısı kayıp değeri bu artıştan daha yüksek bir oranda artarken ısı kazancı eşit oranda artmaktadır. Tek camlı pencere türü kullanılan binalarda saydam yüzeylerin artırılması ısı kazanç ve kayıpları bakımından olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Çift camlı pencere yapılması durumunda saydam yüzey oranı %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %51 artarken ısı kazancı saydam yüzey oranına paralel olarak artmaktadır. Bu cam türü için saydam yüzey oranı artırıldığında elde edilen kazanç oranı kayıp oranından fazla olacağı için bina saydam yüzey oranı artırılması ısı kayıp ve kazançları bakımından olumlu sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Low-E kaplamalı cam özelliklerine sahip pencere yapılması durumunda saydam yüzey oranı %10'dan %100'e çıkarıldığında ısı kaybı %29 artarken ısı kazancı saydam yüzey oranına paralel olarak artmaktadır. Bu cam türü için saydam yüzey oranı artırıldığında elde edilen kazanç oranı kayıp oranından fazla olacağı için bina saydam yüzey oranı artırılması ısı kayıp ve kazançları bakımından olumlu sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Tüm cam türleri dikkate alındığında ısı kayıp ve kazanç oranları bakımından saydam yüzey oranı arttıkça en avantajlı cam türü Low-E kaplamalı cam türüdür. Saydam yüzey oranı fazla olan cephelerde renksiz tek cam türü özelliğine sahip pencere yapılması durumunda diğer cam türlerine göre en olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Çift cam özelliğine sahip pencere türlerinin yapılması durumunda tek cama göre daha iyi sonuçlar elde edilebilecekken Low-E kaplamalı cam özelliklerine sahip pencere türüne göre daha avantajlı sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

#### 4. Simgeler (Symbols)

$A_d$	: Dış hava ile temas eden taban döşemesinin alanı
$A_D$	: Dış duvar alanı
$A_{ds}$	: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı
$A_i$	: 'i' yönündeki toplam pencere alanı
$A_k$	: Dış kapının alanı
$A_p$	: Pencerenin alanı

$A_t$	: Zemine oturan tabanın/döşemenin alanı
$A_T$	: Tavan döşemesinin alanı
$g_{i,ay}$	: 'i' yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
$I_{i,ay}$	: 'i' yönündeki dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti
$i$	: Yön (doğu/batı/kuzey/güney)
$K$	: Kelvin
$m^2$	: Metrekare
$r_{i,ay}$	: 'i' yönündeki saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü
$U_i$	: Isı köprülerinin ısıl geçirgenlik katsayısını
$U_d$	: Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı
$U_D$	: Dış duvar ısıl geçirgenlik katsayısı
$U_{ds}$	: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı
$U_p$	: Pencere ısıl geçirgenlik katsayısı
$U_k$	: Dış kapı ısıl geçirgenlik katsayısı
$U_T$	: Tavan döşemesi ısıl geçirgenlik katsayısı
$U_t$	: Zemine oturan tabanın/döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı
$\phi_{say}$	: Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları
$\Sigma$	: Toplam
$W$	: Watt

#### 5. Sonuç ve Öneriler (Conclusions and Recommendations)

Bu çalışmada, binaların opak/saydam yüzey oranı- pencere doğrama türü, pencere cam türü özelliklerine bağlı olarak ısı kayıp ve kazançları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Binalarda opak/saydam yüzey oranı arttıkça ısı kayıpları artmaktadır. Fakat bu artış pencere doğraması ve cam türü özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir.
- Pencere camı özellikleri ile ısı kaybı ilişkisi dikkate alındığında en yüksek ısı kaybının tek camlı pencere türlerinde olduğu sonucu

ortaya çıkmaktadır. En düşük ısı kaybı ise 16 mm ara boşluğu olan Low-e kaplamalı cam türüne sahip pencerelerde olduğu görülmektedir. Bina cephelerinde saydam yüzey oranının fazla olması gereken durumlarda ısı kaybını azaltmak için Low-e kaplamalı cam türü seçilmesinin gerektiği ortaya çıkmaktadır.

- Doğrama türü ve cam özellikleri birlikte dikkate alındığında en yüksek ısı kayıp oranlarının tek camlı alüminyum doğrama türündedir. En düşük ısı kaybı oranları ise 6 odacıklı PVC pencere türündedir.
- Ahşap doğrama pencere türü PVC 5 odacıklı doğramalı pencere türü ile aynı oranda ısı kaybı değerine sahiptir. Bu doğrama türü PVC 6 ve 5 odacıklı pencere türleri dışındaki diğer doğrama türlerine göre ısı kaybı bakımından daha iyi performansa sahiptir.
- PVC doğramalı pencere türleri arasında en yüksek ısı kayıpları PVC 2 odacıklı pencere türünde, en düşük ısı kayıplarının ise 6 odacıklı PVC pencere türlerinde olduğu görülmektedir.
- Ahşap ve PVC (5 ve 6 odacıklı) pencere türleri için opak saydam yüzey oranı %100 oranında artarken ısı kaybı %50 oranında, PVC (2 odacıklı) ve Alüminyum doğrama (Yalıtım köprüsü) pencere türlerinde % 54, Doğramasız pencere türü için %56 ve Alüminyum pencere türü için ise % 74 oranında artmaktadır. Yani opak saydam yüzey oranının artışına paralel bir ısı kaybı oluşmamaktadır. Pencere duvar oranının artırılması gereken durumlarda ahşap, PVC 5 ve 6 odacıklı pencere türlerinin tercih edilmesi ısı kayıpları bakımından daha iyi sonuçlar ortaya çıkaracaktır.
- Bina cephelerinde saydam yüzey oranı arttıkça güneş enerjisinden elde edilen ısı kazancı değerleri de artmaktadır. Tüm cam türleri için saydam yüzey oranı ile ısı artış miktarları paralel artmaktadır. Yani saydam yüzey oranını % 10 arttırıldığında ısı kazancı oranı da % 10 artacaktır.
- Tek cam özelliğine sahip saydam yüzeylerden çift cama göre %11 daha fazla enerji kazancı sağlanabiliyorken Low-e kaplamalı cam türüne göre %41 daha fazla enerji kazancı sağlanabilecektir. Çift cam özelliğine sahip saydam yüzeylerden ise Low-e kaplamalı cam yüzeylere göre %33 daha fazla ısı kazancı elde edilebilmektedir.
- Renksiz tek cam özelliğine sahip opak yüzeylerde güneşten elde edilen ısı kazanç oranları en yüksektir. Low-e kaplamalı cam türüne sahip saydam yüzeylerden elde edilen kazançlar diğer cam türlerinden daha azdır.
- Genel olarak bina cephelerindeki opak/saydam yüzey oranı tüm cephe cam yüzey olacak şekilde arttırıldığında yaklaşık olarak %100 oranlarında ısı kazancı sağlanabiliyorken iyi yalıtım özelliklerine sahip pencere doğrama ve cam türü seçilerek ısı kayıplarında yaklaşık olarak %42 oranında azalmalar sağlanabilmektedir.

#### Öneriler:

- Doğrama türlerinin enerji kayıpları üzerindeki araştırmalar çalışmanın bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu doğrama türlerinde PVC doğramaların odacıklarındaki hava boşlukları standart kabul edilmiştir. Bu hava boşluklarındaki değişim ile ısı kaybı arasındaki ilişki daha sonra yapılacak olan çalışmalarda göz önünde bulundurularak optimum sonuçlar elde edilmesinde önemli katkı sunacaktır.
- Bundan sonra yapılacak olan buna benzer çalışmalarda maliyetleri de karşılaştıran duyarlılık analizleri ile desteklenen çalışmalar ile bu konu daha iyi bir noktaya taşınabilecektir.

#### Kaynaklar (References)

1. Phillips R., Troup L., Fannon D., Eckelman M. J., Triple bottom line sustainability assessment of window-to-wall ratio in US office Buildings, *Building and Environment*, 182, 1-13, 2020.
2. Kirankumar G., Saboor S., Ashok Babua T. P., Investigation of different window and wall materials for solar passive building design, *Procedia Technology*, 24, 523 – 530, 2016.
3. Göğül G.N., Köksal A. M., Economic evaluation of the methods used to reduce energy consumption of a single detached house, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34 (1), 215-234, 2019.
4. Marino C., Nucara A., Pietrafesa M., Does window-to-wall ratio have a significant effect on the Energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions, *Journal of Building Engineering*, 13, 169–183, 2017.
5. Fenga G., Chia D., Xua X., Doua B., Suna Y., Fua Y., Study on the influence of window-wall ratio on the energy consumption of Nearly Zero Energy Buildings, *Procedia Engineering* 205, 730–737, 2017.
6. Kahsay M.T., Bitsuamlak G. T., Tariku F., Thermal zoning and window optimization framework for high-rise buildings, *Applied Energy*, 292, 1-14, 2021.
7. Peri G., Rizzo G., The overall classification of residential buildings: possible role of tourist EU Ecolabel award scheme, *Build. Environ.*, 56, 151-161, 2012.
8. AbuGrain M.Y., Alibaba H.Z., Optimizing existing multistory building designs towards net-zero energy, *Sustainability*, 9, 2017.
9. Ekici B.B., Aksoy U.T., Elazığ ili için güneş ısı kazanç faktörü değerlerinin hesaplanması, *e-journal of New World Sciences Academy*, 6 (4), 1327-1335, 2011.
10. Kahsay MT, Bitsuamlak G, Tariku F., Effect of localized exterior convective heat transfer on high-rise building energy consumption, *Build Simul Feb.*, 13 (1), 127-139, 2020.
11. Iousef S., Montazeri H., Blocken B., Van Wesemael P., Impact of exterior convective heat transfer coefficient models on the energy demand prediction of buildings with different geometry, *Build Simul Oct*, 12 (5), 797–816, 2019.
12. Azari R., Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes, *Energy Build*, 82, 156-162, 2014.
13. Yıldız Y., Özbaltı G. T., Arsan D. Z., Farklı cam türleri ve yönlere göre pencere/duvar alanı oranının bina enerji performansına etkisi: eğitim binası, İzmir, MEGARON, 6 (1), 30-38, 2011.
14. Koyun T., Koç E., Bir binanın değişken cam ve dış duvar tiplerine göre Pencere/Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi, *Mühendis ve Makine*, 58 (688), 1-14, 2017.
15. Troup L., Phillips R., Eckelman M.J., Fannon D., Effect of window-to-wall ratio on measured energy consumption in US office buildings, *Energy & Buildings* 203, 1-10, 2019.
16. Ertürk M., Calculation amount of carbon dioxide and sulfur dioxide per capita area, per unit area for the heating period: Example of İzmir, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (1), 319-332, 2021.
17. Goia F., Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential, *Sol. Energy*, 132, 467-492, 2016.
18. Junnila S., Horvath A., Life-cycle environmental effects of an office building, 157-166, 2003.
19. Kılıçarslan E.A., Kuş, H., Evaluation of the hygrothermal performance of external thermal insulation applications on the outer walls of existing buildings, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 36 (1), 89-103, 2021.
20. Özer Y. G., Binaların pencere/duvar oranı ve yönlenme parametrelerinin güneş enerjisi kazancına etkisi, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3 (2), 425-441, 2021.
21. Alghoul S. K., Rijabo H. G., Mashena M. E., Energy consumption in buildings: a correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya, *J. Build. Eng.*, 11 82–86, 2017.
22. Susorova I., Tabibzadeh M., Rahman A., Clack H.L., Elnimeiri M., The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings, *Energy Build*. 57, 6–13, 2013.
23. Obrecht T., Vesn M.P., Leskovar Ž., Influence of the orientation on the optimal glazing size for passive houses in different European climates (for non-cardinal directions), *Sol. Energy*, 189 (9), 15–25, 2019.
24. Ashrafian T., Moazzen N., The impact of glazing ratio and window configuration on occupants' comfort and energy demand: the case study of a school building in Eskisehir, Turkey, *Sustain. Cities Soc*, 47 (5), 101483, 2019.
25. Poirazis H., Blomsterberg Å., Wall M., Energy simulations for glazed office buildings in Sweden, *Energy and Buildings*, 40 (7), 1161- 1170, 2003.
26. Ertürk M., Pul H., Daşdemir A., Coşkun C., Oktay Z., Keçebaş A., Hozalet B., Investigation of optimum air gap thickness for windows in

- provinces of the aegean region, *Mugla Journal of Science and Technology*, 2 (1), 60-64, 2016.
27. Ertürk M., Pul H., Ali Daşdemir A., Coşkun C., Keçebaş A., Pencerelede birbirine paralel farklı tabaka halinde hava boşluğunun enerji tüketimine etkisinin araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 646-654, 2016.
  28. Pul H., Ertürk M., Keçebaş A., Uygunoğlu T., Ali Daşdemir A., İl bazında çift ve üç camlı pencereler için optimum hava tabakası kalınlığı analizi, *Tesisat Mühendisliği*, 151, 5-13, 2016.
  29. Baldinelli G., Asdrubali F., Baldassarri C., Bianchi F., D'Alessandro F., Schiavoni S., Basilicata C., Energy and environmental performance optimization of a wooden window: a holistic approach, *Energy and Buildings*, 79 114–131, 2014.
  30. Bektaş B., Aksoy U. T., Soğuk iklimlerdeki binalarda pencere sistemlerinin enerji performansı, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.*, 17 (3), 499-508, 2005.
  31. Chang C.Y., Chen P.K., Human response to window views and indoor plants in the workplace, *HortScience* 40, 1354–1359 2005.
  32. Shin W.S., The influence of forest view through a window on job satisfaction and job stress, *Scand. J. For. Res.*, 22, 248–253, 2007.
  33. Caudill W., Pena W., Kennon P., *Architecture and you*, Whitney Library of Design, NewYork, 1978.
  34. Cuttle C., *People and windows in workplaces*, Proceedings of the People and Physical Environment Research Conference, Wellington, 1983.
  35. Türk Standardı TSE 825, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, 2013, Ankara.

