

**CEPHELERDE KULLANILAN ŞEFFAF YAPI (CAM)
MALZEMELERİNİN ISI YALITIMI AÇISINDAN TS 825 HESAP
PROGRAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ELAZIĞ
SAHRA ROYAL SİTESİ ÖRNEĞİ**

MERVE GÜL TUĞAL

**NİSAN 2024
DİYARBAKIR**

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CEPHELERDE KULLANILAN ŞEFFAF YAPI (CAM)
MALZEMELERİNİN ISI YALITIMI AÇISINDAN TS 825 HESAP
PROGRAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ELAZIĞ
SAHRA ROYAL SİTESİ ÖRNEĞİ**

MERVE GÜL TUĞAL

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MİMARLIK ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

NİSAN 2024

DİYARBAKIR

**CEPHELERDE KULLANILAN ŞEFFAF YAPI (CAM)
MALZEMELERİNİN ISI YALITIMI AÇISINDAN TS 825 HESAP
PROGRAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ELAZIĞ
SAHRA ROYAL SİTESİ ÖRNEĞİ**

Merve Gül TUĞAL tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEK
Danışman, **Mimarlık Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEK (*,**)
Mimarlık Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Nursen IŞIK
Mimarlık Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gonca ÖZER YAMAN
Mimarlık Bölümü, Bingöl Üniversitesi



Savunma Tarihi: 22/04/2024

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.



Aileme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Merve Gül TUĞAL

İmza:

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca beni her konuda destekleyen, tecrübesiyle fikir aşamasından, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmelere kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEK'e teşekkür ederim. Jüri üyelerim Doç. Dr. Nursen IŞIK ve Dr. Öğr. Üyesi Gonca ÖZER YAMAN'a da bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için çok teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatım boyunca beni her koşulda destekleyen babam Ahmet TUĞAL, annem Güler TUĞAL ve ablalarım Özgü TUĞAL ve Nida TUĞAL'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
1.3 Kapsam ve Sınırlılıklar	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. LİTERATÜR VE KAVRAMLAR	11
3.1 İklim ve Malzeme İlişkisi	11
3.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları	12
3.3 Enerji Kaynakları ve Tüketimi	16
3.4 Isı Yalıtımı, Pencerele ve Konfor	20
3.5 Şeffaf Malzeme Çeşitleri	21
3.5.1 Geleneksel şeffaf (cam) malzemeler	21
3.5.2 Akıllı malzemeler	27
3.5.3 Akıllı şeffaf (cam) malzemeler	31
4. MALZEME VE YÖNTEM	42
4.1 Elazığ Konumu ve İklim Verileri	42
4.2 Alan Çalışması: Elazığ Sahra Royal Sitesi Örneği	45
4.3 TS 825 Hesap Metodu ve Bazı Kavramlar	52
4.4 Sahra Royal Sitesinde Kullanılan Geleneksel ve Akıllı Şeffaf Malzemeler	54

5. BULGULAR VE TARTIŞMA	56
5.1 Sahra Royal Sitesi Mevcut Cam TS 825'e Göre Hesaplanması	56
5.2 Geleneksel Şeffaf Malzemelerin TS 825'e Göre Hesaplanması	59
5.2.1 Düzcam.....	59
5.2.2 Isıcam K serisi	63
5.2.3 Isıcam C serisi.....	66
5.2.4 Selectaglaze ikincil cam kaplama	69
5.2.5 Guardian glass (Güneş kontrol camı)	72
5.3 Akıllı Şeffaf Malzemelerin TS 825'e Göre Hesaplanması	75
5.3.1 Fotokromik cam (PC)	75
5.3.2 Termokromik cam (TC)	78
5.3.3 Gazokromik cam (GC)	81
5.3.4 Faz değıştiren malzeme (PCM)	84
5.3.5 Elektrokromik cam (EC)	87
5.3.6 Askıya alınmış parçacık cam (SPD).....	90
5.3.7 Fotovoltaik cam (PV)	94
5.3.8 Guardian glass (Low-e cam)	97
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 TS 825'e göre Türkiye iklim bölgeleri haritası	11
Şekil 3.2 Yapı kabuğu için tavsiye edilen u değerleri.....	14
Şekil 3.3 Dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları	16
Şekil 3.4 Kullanışlarına göre enerji kaynakları	17
Şekil 3.5 Türkiye' de 2019–2023 yılları için birincil enerji arz miktarları.....	17
Şekil 3.6 Birincil enerji tüketimi 2035 yılı değerlendirmesi	18
Şekil 3.7 Birincil enerji tüketimi ve dağılımı 2050 yılı değerlendirmesi	18
Şekil 3.8 Yapıda meydana gelen enerji kayıpları.....	19
Şekil 3.9 Renkli ve renksiz düzcam	23
Şekil 3.10 Mevcut standart pencere ve selectaglaze ikincil cam uygulanmış pencere.	24
Şekil 3.11 Guardian Glass güneş kontrol camı uygulama örnekleri	26
Şekil 3.12 Isıcam K serisi uygulama örnekleri.....	27
Şekil 3.13 Akıllı malzeme sistemlerinin sınıflandırılması	29
Şekil 3.14 Güneş ısısı kazancı kontrol camlarının taksonomisi	31
Şekil 3.15 Akıllı camların sınıflandırılması	32
Şekil 3.16 Gelen ışığın şiddetine bağlı olarak koyulaşan fotokromik cam	33
Şekil 3.17 Termokromik cam çalışma prensibi	33
Şekil 3.18 Termokromik cam uygulaması.....	34
Şekil 3.19 Gazokromik cam gelen ışığa bağlı davranış şekli	34
Şekil 3.20 PCM yaz ve kış aylarında gelen ışınlarla verdiği tepki	35
Şekil 3.21 PCM (GlassX) kullanımı	36
Şekil 3.22 Elektrokromik cam çalışma prensibi	36
Şekil 3.23 Elektrokromik cam uygulaması.....	37
Şekil 3.24 Sageglass elektrokromik cam uygulaması	37
Şekil 3.25 Likit kristal cam (PDLC) çalışma prensibi	38
Şekil 3.26 Likit kristal cam uygulama örneği açık ve kapalı durumu	38
Şekil 3.27 Askıya alınmış parçacık cam (SPD) çalışma prensibi	39
Şekil 3.28 Kristal silikon PV cam perde duvar uygulaması	40
Şekil 3.29 Fotovoltaik cam uygulaması aydınlatma ve perde duvar olarak	40
Şekil 3.30 Guardian Glass (ClimaGuard) uygulaması	41

Şekil 3.31 Guardian Glass (SunGuard HP Neutral 78/65) uygulaması	41
Şekil 4.1 Günlük ortalama yüksek ve düşük sıcaklık	43
Şekil 4.2 Metrekare başına toprağa düşen güneş enerjisi	43
Şekil 4.3 Elazığ ili haritası.....	45
Şekil 4.4 Elazığ ili haritası Çaydaçıra Mahallesi	45
Şekil 4.5 Sahra Royal sitesi vaziyet planı	46
Şekil 4.6 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları	47
Şekil 4.7 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları	47
Şekil 4.8 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları	48
Şekil 4.9 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları	48
Şekil 4.10 Sahra Royal sitesi kat planları	49
Şekil 4.11 Sahra Royal sitesi kat planları	49
Şekil 4.12 Sahra Royal sitesi kesit çizimleri	50
Şekil 4.13 Sahra Royal sitesi cephe çizimleri.....	51
Şekil 5.1 Pencereleden gerçekleşen ısı kaybı referans bina mevcut cam malzeme ile diğer cam malzemelerin kıyaslanması	100
Şekil 5.2 Özgül ısı kaybı referans bina mevcut cam malzeme ile diğer cam malzemelerin kıyaslanması.....	100
Şekil 5.3 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı referans bina mevcut cam malzeme ile diğer cam malzemelerin kıyaslanması.....	101

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Düzcam gün ışığı ve güneş enerjisi değerleri	23
Tablo 3.2 Selectaglaze cam u değerleri tablosu	24
Tablo 3.3 Guardian glass güneş kontrol camı performans değerleri	25
Tablo 3.4 Isıcam serisi performans değerleri	26
Tablo 3.5 Fotokromik camların performans değerlerinin kıyaslanması	33
Tablo 3.6 Termokromik cam performans değerleri	34
Tablo 3.7 Gazokromik cam performans değerleri.....	35
Tablo 3.8 Elektrokromik cam performans değerleri	37
Tablo 3.9 Amorf Silikon PV cam performans değerleri.....	39
Tablo 3.10 Kristal Silikon PV cam performans değerleri	40
Tablo 3.11 Guardian glass (Low-e cam) performans değerleri.....	41
Tablo 4.1 Elazığ ili 2021-2023 yılları ısıtma ve soğutma gün dereceleri	44
Tablo 4.2 TS 825'e hesap yöntemine göre hesaplanacak şeffaf malzeme çeşitleri ...	55
Tablo 5.1 Isıcam S serisi TS 825 hesap programında hesaplanması	59
Tablo 5.2 Düzcam TS 825 hesap programında hesaplanması.....	62
Tablo 5.3 Isıcam K serisi TS 825 hesap programında hesaplanması.....	65
Tablo 5.4 Isıcam C serisi TS 825 hesap programında hesaplanması	68
Tablo 5.5 Selectaglaze ikincil cam kaplama TS 825 hesap programında hesaplanması.	71
Tablo 5.6 Guardian glass (Güneş kontrol camı) TS 825 hesap programında hesaplanması.....	74
Tablo 5.7 Fotokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması	78
Tablo 5.8 Termokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması.....	81
Tablo 5.9 Gazokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması.....	84
Tablo 5.10 Faz değiştiren malzeme TS 825 hesap programında hesaplanması	87
Tablo 5.11 Elektrokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması	90
Tablo 5.12 Askıya alınmış parçacık cam TS 825 hesap programında hesaplanması	93
Tablo 5.13 Fotovoltaik cam TS 825 hesap programında hesaplanması	96
Tablo 5.14 Guardian glass (Low-e cam) TS 825 hesap programında hesaplanması .	99

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge

Açıklama

°C

Derece

%

Yüzde

CO₂

Karbondioksit

CaCl₂6H₂O

Kalsiyumklorürhekzaahidrat

TiO₂

Titanyumdioksit

λ_h

Isı iletkenlik hesap değeri

λ

Isı iletkenliği katsayısı

U değeri

Isı Geçirgenlik Katsayısı

W/Mk

Isıl iletkenlik

m²K/W

Termal Direnç

W/m²K

Termal Geçirgenlik

DC

Doğru Akım

AC

Alternatif Akım

T_{vis}

Güneş Enerjisi Geçirgenlik Değeri

T_{sol}

Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik Değeri

Kısaltma

Açıklama

Low-E

Düşük Emisyonlu

VLT

Görsel Işık Geçirgenliği

SHGC

Solar Heat Gain Control

UV

Ultraviyole

HVAC

Heating, Ventilation and Air Conditioning

G/D

Gün/Derece

CDD

Cooling Degree Days

HDD

Heating Degree Days

PC

Photochromic

TC

Thermochromic

GC	Gasochromic
PCM	Phase Change Materials
EC	Electrochromic
SPD	Suspended Particle Devices
PDLC	Polymer Dispersion Liquid Crystal
PV	Photovoltaic
ISO – 7730	Termol Konfor Ölçümü
ASHRAE – 55	İnsanların Yaşamalarına İlişkin
	Termal Çevre Koşulları
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü



ÖZET

CEPHELERDE KULLANILAN ŞEFFAF YAPI (CAM) MALZEMELERİNİN ISI YALITIMI AÇISINDAN TS 825 HESAP PROGRAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ELAZIĞ SAHRA ROYAL SİTESİ ÖRNEĞİ

TUĞAL, Merve Gül

Yüksek Lisans, Mimarlık Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEK

Nisan 2024, 130 sayfa

İnsan hayatı geçmişten günümüze gelişim göstermiştir. İlkçağdan günümüze kadar yaşam koşulları ve çevre şartları değişmiş bu koşullar değişip geliştikçe insan ihtiyacı doğrultusunda kullandığı malzemeler de gelişim göstermiştir. Yapılarda kullanılan geleneksel malzemeler yapılarda ısı yalıtımı açısından yeterli değildir. Bu yüzden yapılarda değişen iklim koşullarına, çevre şartlarına ayak uydurabilecek yenilikçi akıllı malzeme ihtiyacı doğmuştur. Buradan hareketle cephelerde ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufu sağlayacak, farklı iklim koşulları için uygun “u değerine” sahip şeffaf (cam) malzemelerin kullanımı ile enerji tüketiminin azalacağı, enerji tasarrufu sağlanacağı varsayılmıştır. Bu tez çalışmasının amacı bir binanın cephesinde farklı “u değerine” sahip şeffaf (cam) malzemelerin kullanımı ile yapının ısı yalıtımı açısından enerji kaybını, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını açığa çıkarmak ve böylece enerji tüketimi ve enerji tasarrufu açısından en elverişli malzemeyi belirlemektir. Çalışma küresel ısınma ve iklim değişikliği ile birlikte enerji tüketiminin büyük bir çoğunluğunu oluşturan yapı – inşaat sektöründe doğru malzeme seçimi ile azalan enerji kaynaklarını korumak ve alternatif enerji kaynakları üretmek ve sağlamak açısından önemlidir. Cephelerde kullanılan farklı şeffaf malzeme çeşitleri her iklim tipi için uyum sağlayamamakta, doğru ve etkin ısı yalıtımı için belirli parametrelere göre malzeme seçimi yapılması gerekmektedir. Tez kapsamında incelenen geleneksel ve akıllı şeffaf (cam) malzemelerin seçiminde “u değerleri” en önemli etkidir. Enerji tüketimi, ısı yalıtımı, ısı konfor ve seçilen malzemelerin “u değerleri” arasında önemli bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında cephelerde şeffaf (cam) malzemelerin ısı yalıtımı açısından değerlendirilmek üzere “u değerleri” belirli parametreler göz önünde bulundurularak TS 825 hesap programında hesaplanmıştır. Alan çalışması olarak 3. İklim bölgesi olarak tanımlanan Elazığ ilinde bulunan Sahra Royal Sitesi seçilmiştir. Yapının cephesinde kullanılan mevcut malzeme; geleneksel ve akıllı şeffaf malzeme kullanımı ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şeffaf cam malzeme, Enerji tasarrufu, Isı yalıtımı, TS 825

ABSTRACT

EVALUATION OF TRANSPARENT BUILDING (GLASS) MATERIALS USED ON FACADES IN TERMS OF THERMAL INSULATION IN TS 825 CALCULATION PROGRAM: ELAZIĞ SAHRA ROYAL SITE EXAMPLE

TUĞAL, Merve Gül

Master of Science in Department of Architecture

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hatice ÇİÇEK

April 2024, 130 pages

Human life has developed from past to present. From ancient times to the present day, living conditions and environmental conditions have changed and as these conditions have changed and developed, the materials used in line with human needs have also developed. Traditional materials used in buildings are not sufficient in terms of thermal insulation in buildings. Therefore, the need for innovative smart materials that can keep up with the changing climatic conditions and environmental conditions in buildings has arisen. From this point of view, it is assumed that energy consumption will be reduced and energy savings will be achieved with the use of transparent (glass) materials that will provide energy savings in terms of thermal insulation on facades and have suitable “u-values” for different climatic conditions. The aim of this thesis is to reveal the energy loss and annual heating energy requirement of the building in terms of thermal insulation by using transparent (glass) materials with different “u-values” on the facade of a building, and thus to determine the most favorable material in terms of energy consumption and energy saving. The study is important in terms of protecting the diminishing energy resources and producing and providing alternative energy resources with the right material selection in the building - construction sector, which accounts for the majority of energy consumption with global warming and climate change. Different types of transparent materials used in facades cannot adapt to every climate type, and material selection should be made according to certain parameters for correct and effective thermal insulation. The “u-values” are the most important factor in the selection of traditional and smart transparent (glass) materials examined in this thesis. It is thought that there is an important relationship between energy consumption, thermal insulation, thermal comfort and “u values” of the selected materials. Within the scope of the study, “u-values” were calculated in TS 825 calculation program by considering certain parameters in order to evaluate transparent (glass) materials in terms of thermal insulation. Sahra Royal Site located in Elazığ province, which is defined as the 3rd climate zone, was selected as the field study. The existing material used on the facade of the building was compared with the use of traditional and smart transparent materials.

Keywords: Energy saving, Thermal insulation, Transparent glass material, TS 825

1. GİRİŞ

İnsan hayatı geçmişten günümüze gelişim göstermiştir. İlkçağdan günümüze kadar yaşam koşulları, kullanılan malzemeler insan öznesi etrafında gelişmiştir. Göçebe hayattan yerleşik hayata geçildikçe konaklama ihtiyacı ve bu ihtiyaç doğrultusunda yapıların biçimlenişi, yapılarda kullanılan malzemeler değişmiş ve gelişmiştir. İlk başlarda insanlar yerel, yaşadıkları yerde bulunan yöreye özgü malzemeleri kullanırken; tarımın, sanayinin ve endüstrinin gelişmesiyle malzeme sayısı çeşitlenmiştir. Bu malzemeler ile birlikte günümüze kadar ulaşan hali hazırda kullanılan malzemelerden de faydalanılmıştır.

Mimaride malzemedan farklı şekillerde faydalanılır. Örneğin bir malzeme; yapı malzemesi olarak cephede veya iç mekânda, taşıyıcı unsur veya görsel amaçlı kullanılabilir. Geçmişte daha çok geleneksel malzeme olarak adlandırdığımız ahşap, taş ve kerpiç kullanılırken günümüzde bu malzemelerin kullanımı ile birlikte bu malzemelere ek olarak akıllı malzeme olarak adlandırdığımız yeni malzemeler de kullanılmaktadır.

Günümüzde küresel ısınma, iklim değişikliği ve doğal kaynakların azalmasıyla birlikte sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu, var olan kaynakları koruma gibi konular daha önemli hale gelmiştir. Yaşamın her alanında ve mimari çevrede yenilenemeyen veya çevreye zarar veren enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir çevre dostu enerji kaynakları tercih edilmelidir. Geçmişte bir yapıdan beklenen, değişen çevre koşullarına bağlı olarak mevcut durumunu koruması iken günümüzde bir yapıdan beklediğimiz olgular farklılaşmıştır.

İnşaat sektörü dünyadaki enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Kullanılan malzemelerin geri dönüştürülmeye elverişli olmaması ve üretim aşamasında sınırlı olan yenilenemeyen doğal kaynakların tüketimi; mimarlar, tasarımcılar ve mühendisleri yeni malzeme arayışına yönlendirmiştir. Mevcut malzemelere ek sistemler geliştirerek veya tamamen yeni geliştirilen malzemeler ve sistemler ile bir yapıdan değişen çevre ve iklim koşullarına bağlı olarak çevreye minimum zarar vermesi, enerji tüketimini azaltması ve enerji tasarrufu sağlaması beklenir.

1.1 Problemin Tanımı

Değişen iklim koşulları ve çevre şartları ile birlikte yapı sektöründe enerji tüketimini azaltmak ve var olan kaynakları korumak önemlidir. Buradan hareketle cephelerde ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufu sağlayacak, farklı iklim koşulları için uygun “u değerine” sahip şeffaf (cam) malzemelerin kullanımı ile enerji tüketiminin azalacağı, enerji tasarrufu sağlanacağı varsayılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasının amacı bir binanın cephesinde farklı u değerine sahip şeffaf (cam) malzemelerin kullanımı ile yapının ısı yalıtımı açısından enerji kaybını, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını açığa çıkarmak ve böylece enerji tüketimi ve enerji tasarrufu açısından en elverişli malzemeyi belirlemektir.

Bu çalışma küresel ısınma ve iklim değişikliği ile birlikte enerji tüketiminin büyük bir çoğunluğunu oluşturan yapı – inşaat sektöründe doğru malzeme seçimi ile azalan enerji kaynaklarını korumak ve alternatif enerji kaynakları üretmek ve sağlamak açısından önemlidir.

1.3 Kapsam ve Sınırlılıklar

Çalışma kapsamında cephelerde şeffaf (cam) malzemelerin ısı yalıtımı açısından değerlendirilmek üzere “u değerleri” belirli parametreler sabit tutularak TS 825 hesap programında hesaplanmıştır. Alan çalışması olarak 3. İklim bölgesi olarak tanımlanan Elazığ ilinde bulunan Sahra Royal Sitesi seçilmiştir. Yapının cephesinde kullanılan mevcut malzeme; geleneksel ve akıllı şeffaf malzeme kullanımı ile kıyaslanmıştır.

TS 825 hesap programında seçilen malzemeler kıyaslanırken yapının bulunduğu iklim bölgesi, yapıda kullanılan malzeme çeşidi, yapının araziye göre konumlandırılması gibi bazı parametreler dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin bazıları sabit tutularak seçilen malzemelerin “u değerleri” üzerinden kıyaslama yapılarak yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yapının şeffaf (cam) yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı hesaplanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tezin bu bölümünde ısı yalıtımı, TS 825 hesap programı, akıllı şeffaf malzemeler ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Çalışma kapsamında ısı yalıtımı ve akıllı malzemeler ile ilgili literatür taraması yapılmış ve kaynak özetleri verilmiştir.

Isı yalıtımı ile ilgili araştırmalar

Isı yalıtım malzemesi, ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, ısı yalıtımı ve bina kabuğu ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiştir.

Bektaş (2018), çalışmasında örnek bir bina için olması gereken yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. Çalışma kapsamında analiz yapılabilmesi bugünkü değer yöntemi ve P1-P2 metodundan yararlanılmıştır. Duvar tipi ve farklı yalıtım malzemeleri seçilerek yaşam maliyet analizi ve TS 825 hesaplama metodu ile uygun yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır.

Binalardaki dış duvarların ısı yalıtımını iyileştirmek için kullanılan farklı kaplama teknolojilerinin enerji verimliliğini ve ekonomik fizibilitesini incelemiştir. Geleneksel kaplama yalıtımı ile havalandırmalı cephe arasında bir karşılaştırma yapılarak, bunların yıl boyunca sabit bir iç ortam sıcaklığını korumak için enerji tüketimi üzerindeki etkileri birleşik sayısal bir yaklaşımla değerlendirilir. Ayrıca, makale havalandırmalı cephelerde hava boşluğunun açılıp kapanmasının kış ve yaz mevsimlerinde ısı yalıtımı üzerindeki etkisini araştırmaktadır (Venturelli vd., 2023).

Bu çalışma kapsamında termal konfor kavramı yapının enerji verimliliği ile bağlantısı açısından incelenmektedir. Bu fikir inşaat sektöründe çok önemlidir çünkü bir binanın yapısı, aydınlatması ve enerji üreten makinelerinin tümü bina sakinlerine mümkün olan en konforlu iç ortamı sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu çalışma öncelikle termal konfor kavramlarının kökenini ve gelişimini incelemekte ve biyo-bazlı malzemelerin entegre edilmesinin bina kabuğunun termal konforu sürdürme kabiliyetini nasıl etkileyebileceğini araştırır. Yalıtım malzemelerinin çevre dostu olma özelliğini artırmak için üretimden bertarafa kadar tüm yaşam döngüsü dikkate alınmalıdır (Ajabli vd., 2023).

Villegas vd. (2019), makalelerinde bina enerji kullanımı GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda, geleneksel bir binanın yaşam döngüsü kullanımının toplam GWP'nin %62-80'ine katkıda bulunduğunu, düşük enerjili bir binanın ise toplam GWP'nin %54-91'ine katkıda bulunduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada bir binada derin enerji yenileme senaryosu, bina kabuğu senaryosu, azaltılmış iç ortam sıcaklığına sahip ısı geri kazanımlı havalandırma senaryosu ve azaltılmış iç ortam sıcaklığına sahip olmayan ısı geri kazanımlı havalandırma senaryosu olmak üzere dört farklı senaryo üzerinden binanın küresel ısınma potansiyeline etkisi ve enerji kullanımı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda derin enerji yenileme senaryosu en düşük GWP etkisine sahip senaryodur.

Kunwar vd. (2023), çalışmalarında binaların enerji performansı, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğiyle etkin bir şekilde mücadele etmek için önemli olduğunu ve bina kabuklarının kilit bir rol oynadığını belirtmiştir. Bu nedenle, binaların işletilmesinden kaynaklanan enerji kullanımını ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için bina zarflarının performansını iyileştirmek için önemli çabalar sarf edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

PCM, bina kabuğuna entegre edilerek ısıtma ve soğutma enerji tüketimini azaltmak için umut verici bir çözüm olarak kabul edilir ve bu da CO₂ emisyonlarını azaltır. Bu makalede, bina kabuğuna entegre PCM'nin enerji performansına dayalı optimizasyonunu değerlendirmek için sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tunus'taki konut binalarının iki tipik modelinde çeşitli parametrelerin (PCM erime sıcaklığı, yalıtımla birleştirilmiş PCM katmanı, PCM katmanı ve yalıtım katmanı kalınlığı, çift dış duvarda çift PCM katman sistemi ve çatıda PCM ile hava katmanı etkileşimi) enerji tasarrufu üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Dardouri vd., 2023).

Fawaier ve Bokor (2022), çalışmalarında dinamik yalıtımın, bina kabuğundan geçen ısı iletim oranının zaman içinde kontrollü bir şekilde değişmesine olanak tanıyan umut verici bir yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Dinamik yalıtımın birincil işlevi, bina kabuğunun geçirgenliğini gerçek dış ortam koşullarına göre değiştirmektir. Bu sistem

hemen hemen her iklim koşulunda uygulanabilir. Bu nedenle, bu makale dinamik (aktif) yalıtımın arka planını sınıflandırmakta ve ısı yalıtım stratejilerinin zaman içindeki tarihsel gelişimine dayalı olarak çeşitli matematiksel modellerin, deneysel çalışmaların ve sayısal simülasyonların karşılaştırmalı bir incelemesini sunmaktadır.

Özalp vd. (2019), çalışmalarında farklı tip yapı elemanlarına sahip örnek bir binayı enerji ve çevre açısından TS 825 hesap programında değerlendirmişlerdir. Bir yerleşim bölgesindeki binalarda ısınma amaçlı enerji talebi, bölgenin hava koşullarına, binaların mimari özelliklerine ve termal-fiziksel özelliklerine, buna bağlı olarak yerleşim yerindeki bina sayısına ve yerleşimin nüfusuna bağlıdır. Bu çalışmada binaların tasarımında kullanılan farklı yapı malzemeleri (tuğla, pomza, gazbeton ve briket) ve yalıtım malzemelerinin (XPS, EPS, taşyünü ve camyünü) kullanılması durumunda oluşabilecek ısı kayıplarının sayısal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak ve Türk Isı Yalıtım Standardında (TS 825) önerilen dış ve iç hava koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Daha sonra farklı yapı malzemelerinden yapılmış dış duvarı olan bir model bina için TS 825'e göre ısıtma ihtiyacı, aylık yakıt tüketimi, geri ödeme süresi ve yalıtım durumunda emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Dilmaç ve Kesen (2003), çalışma kapsamında Türk standardı TS 825 genel olarak anlatıldıktan sonra ISO 9164, EN 832 ve Alman yönetmeliği ile karşılaştırılmıştır. Yeni TS 825, ISO 9164'ün her açıdan birebir uygulamasıdır. EN 832'deki en önemli fark, güneş enerjisi kazancının, doğrudan güneş kazanımlarının yanı sıra pasif güneş kazanımlarını da içerecek şekilde oldukça detaylı hesaplanmasıdır. Çalışmada hangi parametrelerin sabit hangilerinin değişken olması gerektiğini belirlemek, daha basit ama doğru sonuçlar elde etmek ve tasarımcılara binaların enerji gereksinimlerini azaltmak için etkili bir şekilde kontrol edilecek parametreleri göstermek amacıyla parametrelerin ve bina tiplerinin enerji talepleri üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

Bina tipinden bağımsız olarak, bileşenin alanı ne kadar yüksekse, zemin hariç U-değeri Qyılı üzerinde o kadar etkilidir. Daha düşük duvar ve pencere U-değerleri ile pencere alanı ve pencere yönlerinin müstakil binaların Qyılı üzerindeki etkileri en aza indirilmektedir. Tüm bina tipleri için güney pencere alanındaki artışın Qyılı üzerinde

kuzey, doğu ve batı pencere alanlarındaki artıştan biraz daha fazla etkiye sahip olduğu açıktır.

Akıllı malzemeler ile ilgili araştırmalar

Termotropik (TT) malzemeler güneş enerjisi ve gün ışığının dinamik olarak düzenlenmesini sağlayarak binalarda enerji tasarrufu ve iç ortamın iyileştirilmesini sağlayabilir. TIM (Şeffaf Yalıtım Malzemeleri) çift camlı bir pencerenin boşluğuna entegre edildiğinde pencere sisteminin termal direncini artırabilir, böylece bina ısıtma enerjisi tüketimini azaltabilir. Bu çalışmada, bu iki gelişmiş teknoloji, uyarlanabilir gün ışığı kontrolü ve gelişmiş ısı yalıtımı için yeni bir pencere sistemi oluşturmak üzere birleştirilmiştir (Ming vd., 2022).

Sun vd. (2021), makalelerinde Termotropik bir malzeme içeren bir TIM yapısını entegre ederek gelişmiş enerji verimliliği ve iyileştirilmiş bir iç mekan aydınlık ortamı sağlayan yeni bir çok etkili akıllı pencere sistemi geliştirmenin ilk adımını sunmaktadır. Bu sistem, pencereye entegre TIM'in artan termal direncinden ve dağınık gün ışığından yararlanırken, değişen ortama yanıt vererek güneş ısısının ve doğal ışığın binaya girişini otomatik olarak düzenler.

Pencereler, hizmet ettikleri binanın enerji tüketimini ve iç çevre kalitesini belirlemede önemli bir rol oynar. Doğru tasarlanmış bir pencere, pasif ısıtma ve doğal aydınlatma için yeterli güneş enerjisi ve gün ışığını kabul etme, ısıtma enerjisinde tasarruf sağlamak için istenmeyen ısı kayıplarını en aza indirme, aşırı ısınmayı ve parlamayı önleme ve bir binanın içine ve dışına tatmin edici manzaralar sunma potansiyeli sunar (Sun vd., 2021).

Elektrokromik (EC) cam, Termokromik (TC) cam ve Termotropik (TT) cam gibi akıllı değiştirilebilir pencereler, değişen dış ortama yanıt olarak güneş ve gün ışığı geçirgenliğini dinamik olarak düzenleme potansiyeli sağlar. Bunlar, istendiğinde pasif güneş kazançlarının ve/veya gün ışığının etkili bir şekilde iletilmesine izin verebilir ve istenmediğinde aşırı ısınmayı ve/veya parlamayı önlemek için bunları zayıflatabilir.

Enerji tasarrufu sağlayan işlevsel malzemelerin geliştirilmesi, akıllı pencereler alanında çok önemlidir. Şeffaf bambu, cama sürdürülebilir bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, termokromik mikro kapsül tozu dâhil edilerek dinamik olarak sıcaklığa uyarlanabilir işlevlere sahip tersinir termokromik şeffaf bambu geliştirilmiştir. Tersinir termokromik şeffaf bambu düşük sıcaklıklarda renksiz ve yüksek geçirgenliğe sahipken, yüksek sıcaklıklarda düşük geçirgenlikle mor rengini almaktadır. Termokromik şeffaf bambu, akıllı pencere uygulamaları için mükemmel bir potansiyele sahiptir ve etkileyici pus ve ışık emme özellikleri, güneş enerjisi depolama malzemesi olarak kullanılmasına da olanak sağlayabilir (Ji vd., 2023).

Wu vd. (2023), bina ve inşaat sektörleri toplam küresel enerji tüketiminin neredeyse üçte birini ve karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %15'ini oluşturmaktadır. HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) enerji tüketimi, bina enerji tüketiminin en büyük bölümünü oluşturmaktadır bu nedenle bina soğutma ve ısıtma yüklerinin azaltılması önemlidir. Akıllı pencereler üzerine yapılan önceki araştırmalar termokromik, elektrokromik, gazokromik, mekanokromik ve fotokromik pencereleri içerir. Yapılan incelemeler sonucunda maliyet, performans, uzun ömürlülük ve ölçek gibi çeşitli nedenlerden dolayı termokromik ve elektrokromik teknolojilerin bina alanında daha fazla uygulandığı görülmüştür.

Qahtan (2023), çift cam katmanlarının konumlandırılması ve tipi, hem yaz hem de kış mevsimlerinde ısı kazancı ve ısı kaybını etkili bir şekilde düzenler. Bu çalışma, Suudi Arabistan'ın aşırı iklimlerinde güneş ısısı kazanımını kontrol etmede Tersinir PDLC sisteminin termal performansını değerlendirmeyi amaçlar. Laboratuvar ölçekli deneyler ve analitik yöntemler, her biri yalıtımlı çift cam sistemi içindeki PDLC konumlandırılması ve durumları ile karakterize edilen dört cam senaryosunu incelemek için kullanılmıştır. PDLC sistemi dinamik mahremiyet koruması, parlamayı azaltma ve gün ışığına ve dış mekân bağlantısına yanıt olarak sisteme esneklik gibi ek avantajlar sağlamaktadır.

Akıllı değiştirilebilir cam pencereler, görsel konfor sağlamak ve enerji tüketimini azaltmak için alternatif bir çözüm sunar. Suudi Arabistan'da, geleneksel cam sistemlerinin entegrasyonu nedeniyle dış kabuk cephelemleri yoluyla önemli miktarda

enerji kaybedilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, sıcak çöl ikliminde PDLC akıllı pencere ile entegre edilmiş ölçekli bir model üzerinde çalışma yapılmıştır. PDLC camın ikili davranışı, sırasıyla şeffaf ve opak durumlar için CO₂ emisyonunu 32,5 ve 89 kg CO₂/m²'den azaltmıştır (Mesloub vd., 2022).

Binaların, özellikle de ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimi, ulaşım ve sanayinin toplam enerji tüketimini aşmaktadır. Çok işlevli akıllı pencereler, elektrokromik, termokromik ve fotokromik teknolojileri gibi uygulamaların tek bir cihazda birleştirilmesiyle elde edilebilir. Özellikle, akıllı pencere teknolojisi üretmek için enerji depolama ve enerji hasadı uygulamalarının entegre edilmesinin fizibilitesi ve net sıfır binalar oluşturmak için önemlidir (Mustafa vd., 2023).

PDLC teknolojisi, dinamik güneş radyasyonu, gölgeleme, havalandırma ve enerji üretimi kontrol etme işlevselliğine sahip yeni akıllı pencere teknolojilerinden biridir. Sisteme alternatif bir elektrik akımı verildiğinde optik iletimlerini yarı saydamdan saydamlığa değiştiren akıllı pencerelerdir. Ayrıca insan cildini yüksek derecede korumakta UV'ye maruz kalmayı kontrol etme özelliğine sahiptir. PDLC cam teknolojisinin soğuk iklimde ısı yüklerini azaltmada etkili olabileceği düşünülmektedir (Hemaida vd., 2020).

SPD (Askıya Alınmış Parçacık Cihaz) değiştirilebilir cam, AC (Alternatif Akım) güç kaynağı ile optik iletimi opak durumdan şeffaf duruma değiştirebilmektedir. Bu sistem binalarda iç sıcaklıkların kontrol edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında SPD cam ve çift camın termal özellikleri Dublin, İrlanda'da bir dış mekân test hücresi kullanılarak hesaplanmıştır. Gün içerisinde camın zamana bağlı farklı sıcaklıklar altında "u değeri" bulunmuştur. Sonuç olarak SPD ve çift camın "u değerleri" sırasıyla 5,9 W/m²K ve 2,98 W/m²K bulunmuştur. SPD cama çift camın eklenmesiyle ise bu değer 1,99 W/m²K olarak hesaplanmıştır (Ghosh vd., 2015).

Ruggiero vd. (2022), çalışma kapsamında elektrik akımı ile optik özellikleri değişen PDLC teknolojisinin farklı iklimlerde ve sıcaklıklarda teste tabi tutarak enerji tüketimi ve gün ışığı kontrolü üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Analiz edilen tüm durumlarda

camın her zaman şeffaf olduğu duruma göre duvar pencere oranı % 100 olduğunda enerji tüketimi azalımı yaklaşık % 9 ila % 35 arasında değişmekte ve duvar pencere oranı % 18 olduğunda enerji tüketimi azalımı maksimum % 11 olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakarak PDLC ile statik cam karşılaştırıldığında, PDLC kullanımı farklı iklim koşullarında ve sıcaklıklarda enerji tüketiminde azalma sağlar.

Baetens vd. (2010), çalışmalarında binalarda dinamik gün ışığı ve güneş kontrolü için elektrokromik, gazokromik, sıvı kristal, elektroforetik ve asılı parçacık cihaz teknolojilerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Çalışmada günümüzde en çok bilinirliğe ve güvenilirliğe aynı zamanda % 68 güneş spektrumuna sahip olan elektrokromik pencerelere alternatif bir teknoloji bulunması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre; Elektrokromik pencereler gün ışığı ve güneş enerjisi amaçlı kullanımda en umut verici teknolojidir. Sıvı kristal ve asılı parçacık cihazlarının geçirgenlik modülasyonun zayıf olduğu ve UV radyasyonuna karşı dayanıklı olmadığı bu yüzden uzun süreli dış bina uygulamalarında avantajlı olmayacaktır. Gazokromik pencerelerin ise yüksek geçirgenlik modülasyonuna sahip olduğu ve gelecek için umut vadettiği elde edilmiştir.

Leftheriotis ve Yianoulis (2022), pencereler bir binanın birçok fonksiyonunda önemli bir rol oynadığından binanın temel unsurlarıdır: Görünür ışık girişiyle (estetik ve psikolojik açıdan çok önemli olan) iç-dış mekânın devamlılığını sağlarlar. “Güneş enerjisi kazanımları” (kışın arzu edilir, yazın ise istenmeyen) ve termal kayıplar yoluyla binanın enerji dengesinde önemli bir rol oynarlar. Çalışma kapsamında görünür geçirgenliği yüksek ve ısı yalıtımı arttırılmış çoklu camlar, ince film kaplamalar (low-e, yansıtıcı, kendi kendini temizleyen), akıllı şeffaf malzemeler, vakumlu camlar, kromojenikler ve aerogeller gibi yeni teknolojiler avantajları ve dezavantajları bakımından incelenmiştir.

Feng vd. (2016), çalışma kapsamında gazokromik akıllı pencerenin optik ve termal özellikleri incelenmiş ve piyasada en çok kullanıma sahip olan elektrokromik akıllı pencere ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Şangay kentinde yaz ve kış

ikliminde gazokromik akıllı pencere kullanımı HVAC yüklerinde tek şeffaf düz cama kıyasla % 28,4 ve renkli cama kıyasla % 11,5 azalma sağlamaktadır.

Nicoletti vd. (2022), pencerelerin binaların termal dengesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çalışma kapsamında yapılarda PCW (Fotokromik pencere) kullanım performansını binanın enerji talebini karşılama ve doğal aydınlatma sağlama açısından değerlendirilmiştir. Pencerelerde gelen güneş ışınımına bağlı olarak değişebilen ısı iletim katsayısı önemlidir. Çalışmada PCW pencereler şeffaf çift cam ve Low-e kaplamalı pencereler ile kıyaslanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre PCW, şeffaf çift cama kıyasla % 9,3'e kadar ve Low-e kaplamalı pencereye % 4,1'e kadar yıllık enerji tüketiminde azalma sağlar. Aynı zamanda diğer iki pencere tipine oranla daha fazla gün ışığı ve daha az parlama sağladığı tespit edilmiştir.

Berardi ve Khaled (2023), Camın önemli bir bileşenini oluşturduğu bina pencereleri, düşük ısı direnci ve statik güneş geçirgenliği nedeniyle genellikle bina kabuğunun zayıf bir halkası olarak kabul edilir. Çalışma kapsamında statik ve dinamik optik özelliklere sahip çeşitli kaplama teknolojileri tartışılmakta ve yeni malzeme gelişmeleri sunulmaktadır. Uygun bir kaplama teknolojisinin seçilmesi, binanın kullanımı, konumu, iklim koşulları, pencere-duvar oranı, yönlendirme ve sonuçta geri ödeme süreleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bununla birlikte, düşük emisyonlu, dinamik güneş modülasyonu ve yansıma önleyici özellikleri birleştiren çok işlevli kaplamalar, yüksek performanslı gelişmiş cam uygulamaları için özellikle umut vericidir.

Tällberg vd. (2019), uyarlanabilir ve kontrol edilebilir akıllı pencereler geleneksel statik pencerelerle karşılaştırıldığında; optik özelliklerini değişen sınır koşullarına göre ayarlama yeteneğine sahiptir ve dolayısıyla binaların enerji performansını ve kullanıcı konforunu iyileştirme potansiyeline sahiptir. Çalışma kapsamında uyarlanabilir ve kontrol edilebilir akıllı pencereler; Trondheim (Norveç), Madrid (İspanya) ve Nairobi (Kenya) olmak üzere üç farklı yerde simüle edilmiştir ve bir referans statik pencereyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, çalışma sıcaklığı tarafından kontrol edilen elektrokromik pencerenin, tüm durumlar ve konumlar için enerji talebini azaltmada en yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

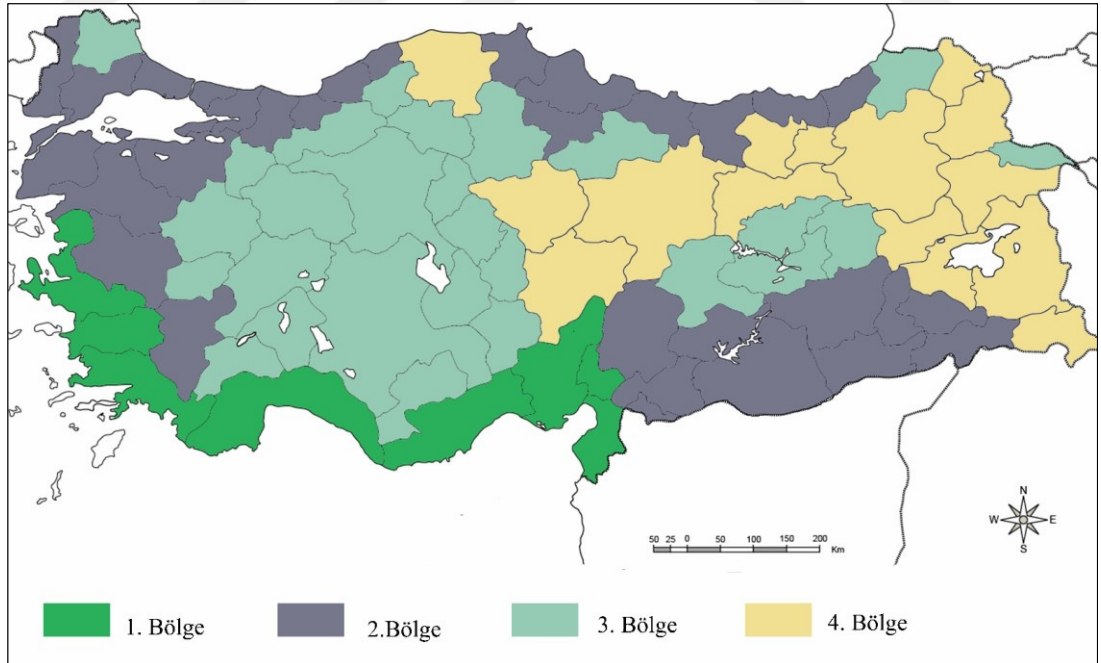
3. LİTERATÜR VE KAVRAMLAR

Tez çalışmasında bu bölümde iklim ve malzeme ilişkisi, TS 825 hesap programı, ısı yalıtımı ve şeffaf malzeme kavramları incelenmiştir.

3.1 İklim ve Malzeme İlişkisi

Yapılarda ısı yalıtımı sağlayabilmek için malzeme seçimi çok önemlidir. Yapının farklı elemanlarında kullanılan malzemeler sistem içerisinde bir bütün olarak çalışır. Yapıda doğru malzeme kullanılarak; duvar, pencere, kapı, çatı ve zemin yoluyla ısı yalıtımı sağlanabilir. Bu malzemelerin seçilmesinde rol oynayan etmenlerden biri de iklim faktörüdür.

“Yapı kabuğunun malzemesi, biçimi, yönlenme, saydam ve sağır yüzeylerin oranı doğrudan iklimsel etmenlere bağlıdır. Bu doğrultuda binadaki konfor ortamı iklim etkileri aracılığı ile olabildiğince doğal yollardan sağlanmalıdır.” (Yüceer, 2011) Doğal yollarla sağlanan ısı konfor, doğru malzeme seçimi ile birlikte maksimum verimlilik sağlanacak şekilde oluşturulabilir.



Şekil 3.1 TS 825'e göre Türkiye iklim bölgeleri haritası (MMO, 2024)

İklim, yapının enerji performansında dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Örneğin çalışma kapsamında ele alınan 3. İklim bölgesinde bulunan Elazığ ilinde bulunan bir yapıda ve 1. İklim bölgesinde bulunan Hatay ilinde bulunan bir yapıda kullanılacak aynı malzemenin enerji performansları birbirinden farklıdır.

Çalışma kapsamında cephelerde kullanılan şeffaf (cam) malzemelerin “u değerleri”, yapının yönlenmesine göre hangi cephede kullanıldığı ve olduğu cepheye bağlı olarak aldığı gün ışığı, güneş enerjisi miktarı yapının enerji performansını ısı yalıtımı açısından etkilemektedir.

Kullanılan malzemenin TS 825 hesap programına göre belirlenen iklim bölgelerinden hangi iklim bölgesinde kullanılacağına bağlı olarak o iklim bölgesinin standartlarına uygun minimum “u değerine” sahip olması gerekmektedir. Her ne kadar çalışma kapsamında cephelerde kullanılan şeffaf (cam) malzemeler incelense de diğer yapı malzemeleri de iklime uygun “u değerlerine” sahip malzemelerden seçilirse enerji daha etkin kullanılabilir. Bu doğrultuda birincil enerji kaynaklarına olan talep azaltılabilir ve enerji tasarrufu sağlanabilir.

3.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları

Binalarda ısı yalıtımı, enerji performansını belirlemek için geçmişten günümüze çok sayıda yönetmelik çıkarılmıştır. Değişen koşullara göre yapılardan istenen olgular ve standartlarda değişmiştir. 8 Mayıs 2000 tarihinde Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği kapsamında; “Binalar, ısı kayıpları bakımından çevre şart ve gereklerine uygun düzeyde yalıtılacaktır.” maddesi gereğince binalara ısı yalıtım zorunluluğu getirilmiştir.

1998 tarihinde ise binalarda ısı yalıtım kuralları güncellenerek 2008 yılında tekrar yürürlüğe girmiştir. 9 Ekim 2008 tarihinde yayımlanan standartlar ile Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği birbirine uyumlu hale getirilerek tekrar yayımlanmıştır. Son olarak günümüzde 5 Aralık 2008 tarihinde yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine göre ısı yalıtım projesi zorunludur ve yapılarda kullanılacak malzemelerin TS 825 standartlarına uyması gerekmektedir (Bektaş, 2018).

Bir yapının ısı yalıtımı değerlerini hesaplamak, yapının bulunduğu iklime uygun ısı yalıtım malzemesini seçebilmek için bazı programlardan faydalanılmaktadır. Ülkemizde en çok bilinirliğe sahip olan ve uygulanan İzoder tarafından oluşturulan TS 825 Hesap Programıdır. Bunun yanı sıra Almanya Passivehouse Enstitüsü tarafından oluşturulan ISOVER- Multi Comfort ve Türkiye Gazbeton Üreticileri tarafından oluşturulan TGÜB 825 gibi ısı yalıtım programları bulunmaktadır.

Bu programlarda da TS 825 Hesap Programında olduğu gibi yapının özellikleri sisteme girilerek ısı kayıpları, ısı kazançları ve yıllık ısı ihtiyacı hesaplanabilmektedir. Çalışma kapsamında referans binada kullanılan şeffaf malzemeler TS 825 Hesap Programında kıyaslanması ile sınırlı tutulmuştur.

Bir binada ısı yalıtımı uygulaması; çatılarda, dış duvarlarda, kapı ve pencere boşluklarında, pencere camlarında uygulanabilir. Bu alanlara ek olarak yapıda ısı köprüsü oluşabilecek yerlerde de ısı yalıtımı yapılması enerji kayıplarını azaltacaktır. Isı köprüsü yapılarda farklı ısı iletkenliğine sahip iki malzemenin yan yana gelmesi veya yapının geometrisinden kaynaklı oluşmaktadır.

Binalarda yapımı yönetmeliklerle zorunlu hale getirilen ısı yalıtımı uygulaması; çevresel, ekonomik ve sağlık faktörleri açısından fayda sağlamaktadır.

- Isı yalıtımı uygulaması binalarda tüketilen ve üretilmesi gereken enerji miktarında azalma sağlar.
- İç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından etkilenmemesini sağlar.
- Enerji tüketim miktarını azalttığı için karbondioksit salınımı azalmakta ve çevreye daha az zarar verilmektedir.
- Isıtma ve soğutma için harcanan enerji tüketimi mali yönden azalmaktadır.
- Yapının daha uzun kullanım süresine sahip olmasını sağlar.
- Özellikle pencerelerde yalıtım uygulaması ısı yalıtımı sağlamakla birlikte gürültü ve radyasyona karşı da koruma sağlamaktadır.
- Tüketilen enerji miktarının azalması ile birlikte birey ve ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır.

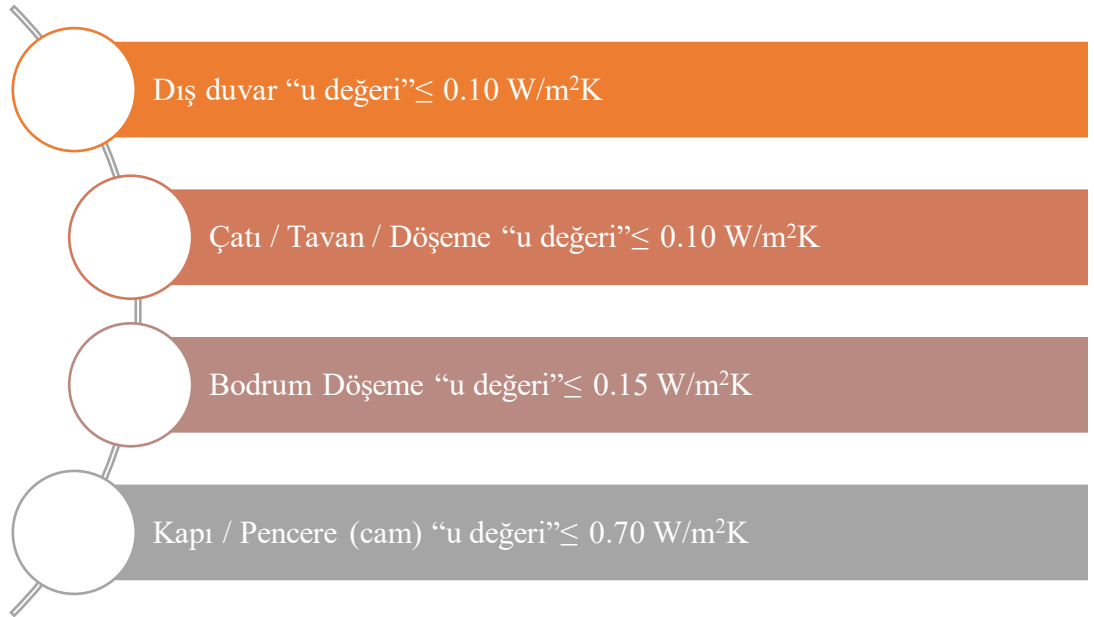
- İç ortam sıcaklığı yaz-kış dengede tutularak insanın yaşaması gereken ısı konfor ortamı oluşmaktadır. Bu da insan sağlığı üzerinde olumlu etki bırakmaktadır.

Genel olarak ısı yalıtımı

Isı yalıtımı, iki ortam arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan enerji tüketimini / enerji kayıplarını azaltmak veya sıfıra indirmek için yapılan teknoloji sistemidir (BM Çevre Programı, 2023).

Isı, sıcak olan ortamdaki soğuk olan ortama geçme eğilimindedir. Yapılarda kullanılan her malzemenin ısı iletkenlik katsayısına ve kalınlığına bağlı olarak; ısı sıcak ortamdaki soğuk ortama geçerken bir direnç ile karşılaşır. Bu kapsamda ısı yalıtımı bu direnci artıran sistem olarak tanımlanabilir (Bektaş, 2018).

Isı yalıtımı yaparken bütünlük içerisinde yapılmalıdır. Doğru yerde doğru malzeme seçilmeli, seçilen malzemeler uygun kalınlık ve termal özelliklere sahip olmalıdır. İyi bir ısı yalıtımı sağlayabilmek için yapıda kullanılan malzemelerin; düşük ısı iletkenlik (W/mK), yüksek termal direnç (m^2K/W) ve düşük termal geçirgenlik ($U- W/m^2K$) gibi özelliklere sahip olması gerekir (Bektaş, 2018).



Şekil 3.2 Yapı kabuğu için tavsiye edilen u değerleri (Zerobuild, 2023)

Pencerelerde ısı yalıtımı

Pencerelerin enerjiyi etkin kullanması, bina sakinleri için dışarı ve içerisi arasındaki sıcaklık farkını yaz-kış dengeleyerek konfor alanı oluşturmaya ve binanın enerji tüketim performansı açısından önemlidir. Bu sebeple pencerelerde tek cam yerine ısı yalıtımı sağlayacak malzemeler kullanılmalıdır.

Kullanılan malzemenin ısı yalıtım değeri tek başına iyi bir yalıtım sağlayamaz. Farklı iklim koşulları için, doğru malzeme doğru tasarım ile birlikte kullanıldığında iyi bir yalıtım sağlanır. Örneğin soğuk bir iklimde ısı geçirgenliği düşük bir malzeme kullanımı ısı konfor ortamı oluşturmayacağı gibi ısıtma için bina enerji yükünü artıracaktır. Aynı şekilde sıcak iklim için yüksek ısı geçirgenliğe sahip bir malzeme soğutma için harcanan enerji tüketim miktarını artıracaktır.

Pencerelerin tasarımı ve malzeme seçimindeki hatalar binanın yıllık ısıtma, soğutma yüklerini artırarak iç iklimsel konfor koşullarını zedelemekte, günışığından yararlanma düzeyini düşürmektedir (Ayçam ve Utku, 1999). Bina kabuğunda dış ortam koşullarının iç ortam koşullarını iyileştirmesi açısından dinamik, değişen koşullara ayak uydurabilen yeni nesil akıllı malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır.

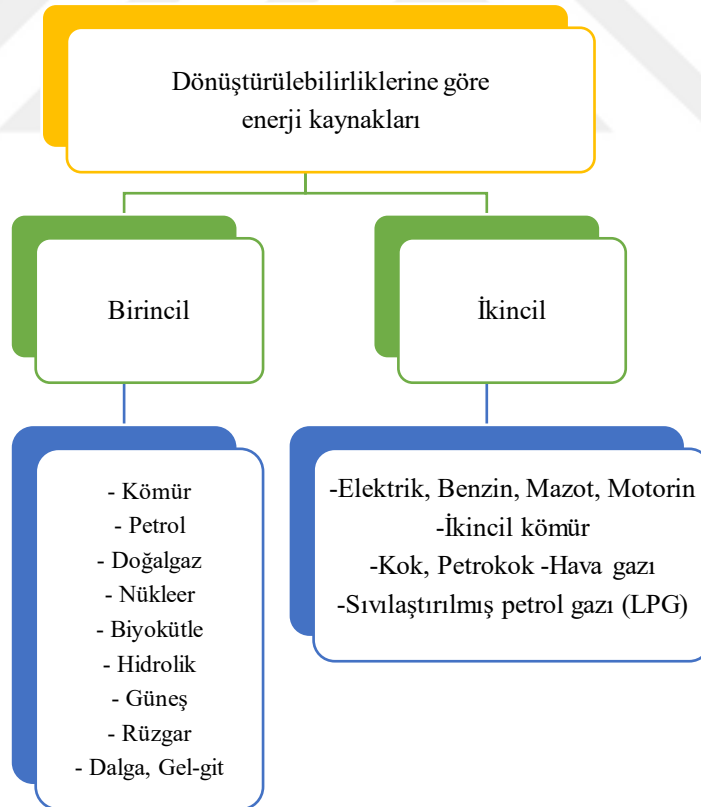
Bir yapıda pencere tasarımı, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma nedeniyle tükettiği enerji miktarını, binanın enerji üretim ve tüketim arasındaki denge korunum miktarını şekillendirmektedir (Ayçam ve Utku, 1999). Pencerelerde kullanılan camın ısı yalıtımı sağlayabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar en temelde ısı geçirgenliği, güneş ısı kazancı katsayısı ve görünür ışık geçirgenliği olarak sıralanabilir. Isıl geçirgenliği kavramını anlayabilmek için; bazı kavramların birlikte ele alınması gerekir.

Isıl iletkenlik hesap değeri (λh) (W/mK); bir malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini gösteren değerdir. Yapı malzemelerinde bu değerin küçük olması istenen bir durumdur. Değer küçüldükçe ısı iletim miktarı da azalır ve malzeme sisteme iyi bir ısı yalıtım performansı sağlar (Ytong, 2023).

Isı iletkenliği katsayısı (λ); bir metre kalınlığındaki iki yüzey arasında 1°K sıcaklık farkı için bir saatte taşınan ısı miktarı olarak tanımlanır (Ytong, 2023). Toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U) ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$); yapı malzemesinin 1 m^2 'sinden birim zamanda geçen ısı miktarı olarak tanımlanır. “ u değeri” malzemenin ısıl iletkenlik hesap değeri ve malzeme kalınlığına bağlıdır. Bir malzemenin “ u değeri” ne kadar düşük olursa o kadar iyi bir yalıtım sağlar (Ytong, 2023).

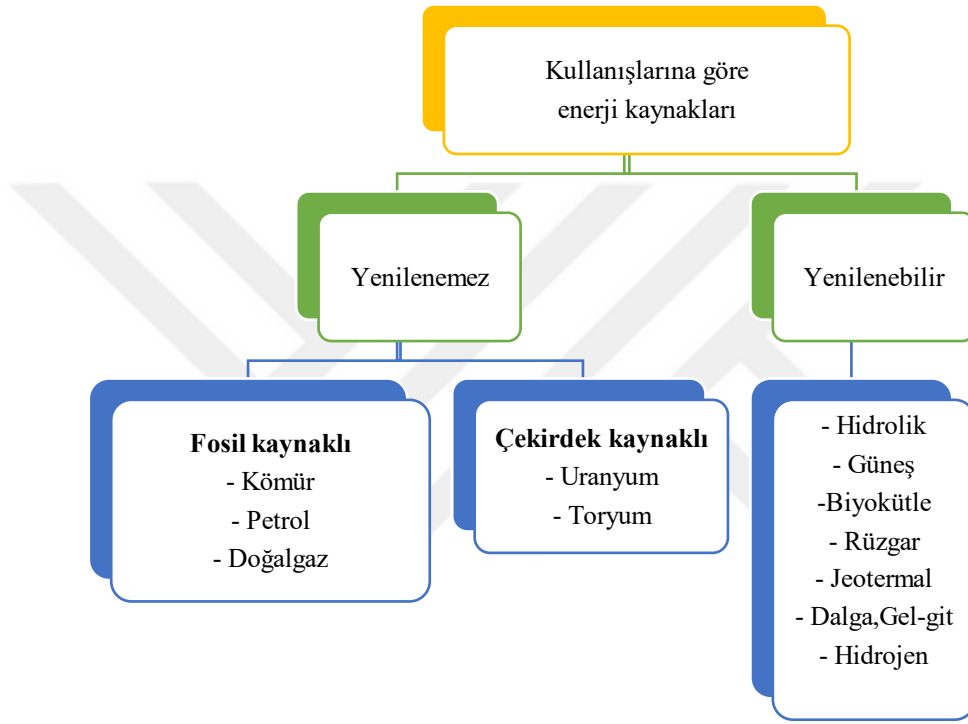
3.3 Enerji Kaynakları ve Tüketimi

Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüme uğramamış şekli birincil enerji olarak tanımlanır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji ise ikincil enerji olarak tanımlanır. Enerji kaynakları bu tanımlanmanın yanı sıra kullanım sonrası miktarında azalma olmayan, tükenmeyen enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanım sonrası azalan tükenen enerji olarak adlandırılan yenilenemeyen enerji kaynakları olarak sınıflandırılır (Koç ve Kaya, 2015).



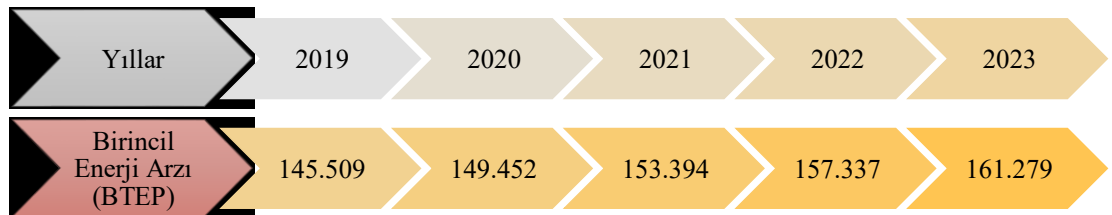
Şekil 3.3 Dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları (Koç ve Kaya, 2015)

Dünyada ve ülkemizde enerji kaynakları çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında daha çok inşaat sektörü açısından enerji kaynaklarının tüketimi incelenmiştir. Yapıların inşa sürecinden kullanım ve geri dönüşüm sürecine kadar yani beşikten mezara tabiriyle yapının her alanında Birincil ve ikincil enerji kaynakları tüketilmektedir. Bina sektörünün dünya genelinde nihai enerji tüketimindeki payı % 30'u, küresel elektrik tüketimindeki payı ise % 50'yi geçmiş olup küresel karbon emisyonlarının üçte birinden de bina sektörü sorumludur (Kabakçı, 2019).



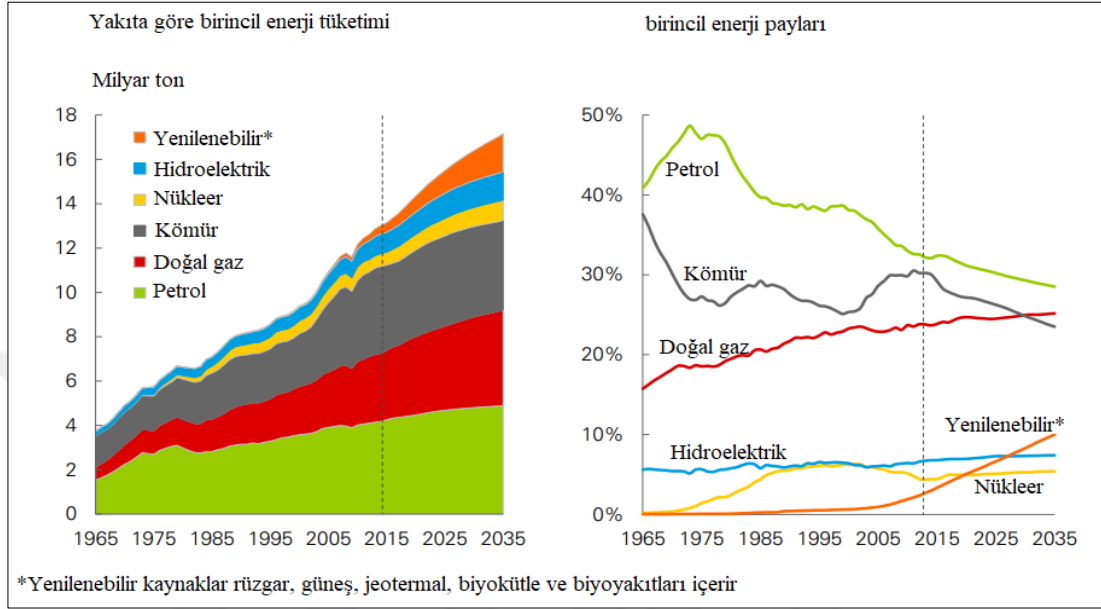
Şekil 3.4 Kullanışlarına göre enerji kaynakları (Koç ve Kaya, 2015)

Türkiye fosil yakıtlar bakımından dışarıya bağımlı bir ülke olduğu için, yenilenebilir enerji kaynaklarından da yatırım ve finansman kaynaklı yeterince yararlanılamamaktadır. Bu sebeple mümkün olduğunca enerji israfı yapmamak yerli kaynakları kullanmak, yenilenemeyen kaynakları korumak ve enerji tasarrufu yapmak önemlidir.



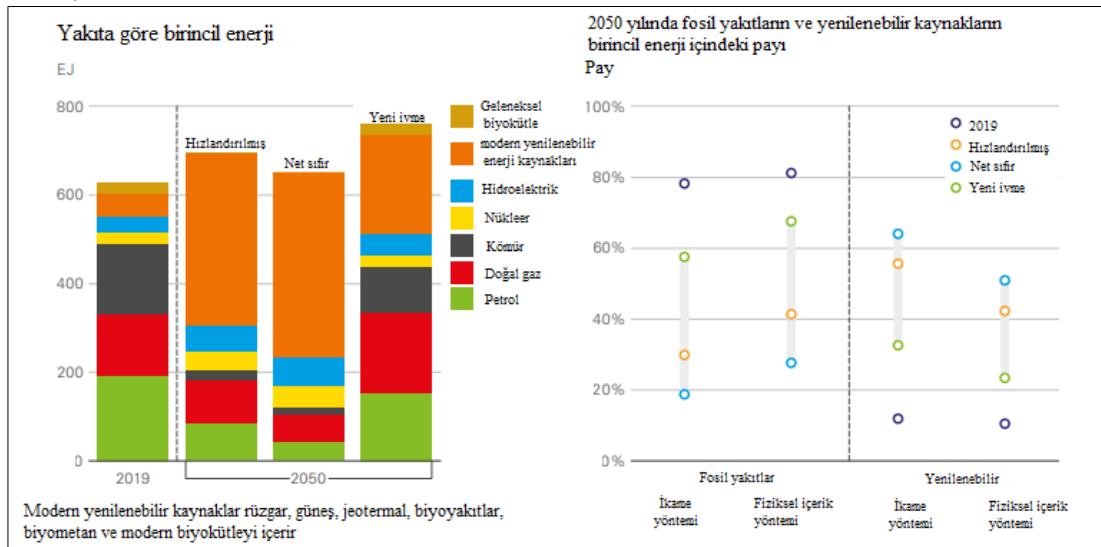
Şekil 3.5 Türkiye’ de 2019–2023 yılları için birincil enerji arz miktarları (Yılankırkan ve Doğan, 2020)

Bir ülkenin enerjide dışarıya bağımlı olmaması sürdürülebilir gelişmenin göstergesidir. Birincil enerji arzı ise ülkenin enerji üretim ve tüketim miktarı arasındaki dengedir. Artan nüfus, ekonominin büyümesi ile birlikte bir ülkenin enerjiye olan talebini de artırmaktadır.



Şekil 3.6 Birincil enerji tüketimi 2035 yılı değerlendirmesi (Güner, 2018)

Birincil enerji kaynaklarının 2035 yılı için oluşturulan projeksiyonuna göre; nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artış göstermektedir. Bu kaynakların kullanımında artış yaşansa bile petrol, kömür ve doğal gaz dünya enerji tüketimi sıralamasında ilk üç olarak yerini korumakta ve 2035 yılında tüketilen toplam enerji miktarının dörtte üçünden fazlasını oluşturmaktadırlar (BP Energy Outlook, 2017).



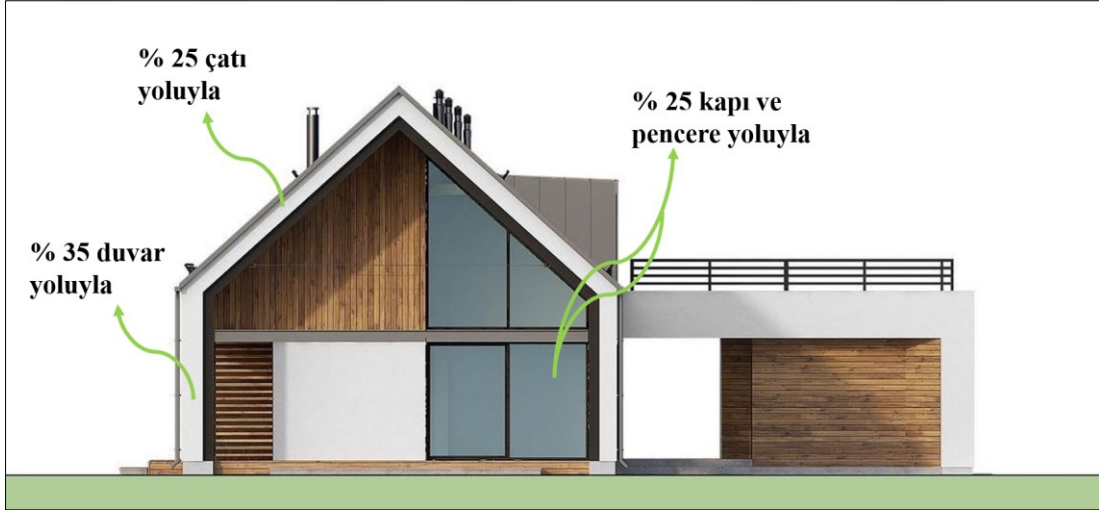
Şekil 3.7 Birincil enerji tüketimi ve dağılımı 2050 yılı değerlendirmesi (BP Energy Outlook, 2022)

BP Energy Outlook 2022 raporuna göre enerji tüketimlerini azaltmak için Paris İklim Konferansında alınan kararlara göre üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Üç senaryoda da amaç fosil yakıt kullanımını azaltıp yenilenebilir enerji kullanımını arttırarak daha düşük karbon salınımı elde etmektir.

Enerji tüketimi ve pencerelerde ısı yalıtımı ilişkisi

Yapılar, inşa sürecinden başlayıp kullanım sürecinde ve son olarak kullanım ömrünü tamamlayıp geri dönüştürülme sürecine kadar enerji harcar. Bir yapıda kullanılan malzemenin termal özellikleri, yapının araziye konumlandırılması veya yapının bulunduğu iklime göre tasarlanmış şekli yapının enerji tüketimini artırabilir ve azaltabilir.

Binalarda enerji tüketiminin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma kaynaklıdır. Enerji tüketimini azaltmak için doğru yalıtım şekli ile enerjiye ihtiyaç duymayan binalar tasarlanmalıdır. Isı yalıtımı; yetersiz enerji kaynaklarına sahip ülkeler için enerji tüketimini azaltarak; enerji tasarrufu yapmak ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için kaçınılmaz bir kavramdır.



Şekil 3.8 Yapıda meydana gelen enerji kayıpları (Bektaş, 2018)

Pencereler; ısı kaybının ve ısı kazancının yüksek olması nedeniyle binalarda tüketilen enerji miktarının yaklaşık % 60'ını oluşturmaktadır (Hemaida vd., 2020). Pencerelerde ısı kaybını ve ısı kazancını etkileyen temel etmenler; ısıl geçirgenliği (U değeri), güneş ısı kazancı katsayısı (SHGC) ve görünür ışık geçirgenliği (VT) olarak tanımlanır (Dino, 2017).

Pencerelerde geleneksel tek cam olarak adlandırdığımız camlar yerine çalışma kapsamında inceleyeceğimiz yeni teknoloji ısıl geçirgenliği düşük şeffaf cam malzemeler veya şeffaf plastik malzemeler kullanılarak enerji tüketimi azaltılabilir.

3.4 Isı Yalıtımı, Pencereler ve Konfor

Isıl konfor; ASHRAE - 55 ve ISO - 7730 standartlarında; insanın bulunduğu ortamın ısı koşullarından hoşnut olması olarak tanımlanmaktadır (Aydın ve Mıhlayanlar, 2017). Isıl konfor, insan sağlığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olup çeşitli parametrelere bağlıdır. Isıl konfor; hava sıcaklığı, hava hızı, bağıl nem, yüzey sıcaklıkları gibi iç mekân parametrelerine ve aktivite düzeyi, giysi ve kişinin metabolik hızı gibi kişisel parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterir (Kutlu, 2018).

İç mekân konfor koşulları için önerilen uygun değerler;

- İç mekân sıcaklığı: 20-25 °C,
- İç yüzey sıcaklığı: 17-19 °C,
- Döşeme sıcaklığı: 18-20 °C,
- Tavan döşemesi sıcaklığı: 18-20 °C,
- Hava hareketi hızı $\leq 0,2$ m/s,
- Bağıl hava nemi yaklaşık % 50,
- Düşeyde sıcaklık farkı ≤ 3 °C olarak belirlenmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Pencerelerde ısı yalıtımı uygulanması ile binalarda hem enerji tasarrufu sağlanır hem de ışığın istenen miktarda içeri girmesi sağlanarak doğal aydınlatma sağlanır. Isıl konfor, ortam sıcaklığı ve doğal havalandırma insan sağlığını fiziksel ve psikolojik olarak etkilemektedir. Bir ortamın ısıl konfora sahip olması iç ortam kalitesini de iyileştirir.

İyi bir ısı yalıtımı dört mevsim boyunca iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkını minimize ederek yaşam alanlarında yüksek konfor ve sağlık sunar. Dış cephe ısı yalıtımı ile birlikte doğru bir pencere ve kapı yalıtımı da yapıldığında, herhangi bir sızıntı ya da ısı transferi olmadan, yaşam alanlarının ısıl konfor seviyesi artırılmış olur (Zerobuild, 2023).

3.5 Şeffaf Malzeme Çeşitleri

Yapı kabuğunda tasarım, manzara, gün ışığından yararlanarak doğal aydınlatma, havalandırma gibi amaçlarla pencereler kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze pencereler kullanıcının ihtiyacı doğrultusunda, malzeme ve tasarlanış şekli ile gelişme göstermiştir.

İlk çağlarda yapılarda pencere bile bulunmazken günümüzde kişilerin değişen yaşam koşullarına bağlı olarak yapıların tasarlanış biçimi ve yapı kabuğundaki pencere / duvar oranı da artmıştır. Yapı kabuğunun tamamı ile şeffaf (cam) malzemeden oluştuğu yapılar tasarlanmıştır.

Yapı kabuğunda şeffaf malzeme kullanımı, kullanılan malzemenin termal özelliklerine göre yapıya olumlu ve olumsuz geri dönüşler sağlamaktadır. Değişen iklim koşulları ve azalan enerji kaynakları yapılarda bir dönüşümü zorunlu hale getirmektedir. Sürdürülebilir bir çevre oluşturmak için yapıda kullanılan malzemeler önemlidir.

Binalarda kullanılan şeffaf malzemelerin; pasif güneş enerjisinden yararlanıp ısıtmaya bağlı enerji tüketimini ve gelen ışığı iç ortama iletmeyerek soğutmaya bağlı enerji tüketimini azaltması ve iyi bir ısı yalıtımı sağlaması açısından önemlidir.

Yapılarda kullanılan şeffaf malzemelerin, sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle gün geçtikçe sayısı artmış ve yapılan çalışmalarla yeni malzemeler keşfedilmiştir. Çalışma kapsamında geleneksel cam malzemeler ve akıllı şeffaf malzemeler incelenecektir. Bu malzemeler enerji tüketimi ve ısı yalıtımı bakımından kıyaslanacaktır.

3.5.1 Geleneksel şeffaf (cam) malzemeler

Cam malzemeler mimari yapılarda diğer yapı malzemelerinin gelişimine paralel olarak gelişim göstermiştir. Yapılarda beton ve çeliğin kullanımı ile birlikte daha hafif daha şeffaf yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Cam malzemelerin binalarda ilk kullanım halinden günümüze kadar kullanım amacı gelişmiş; ısı kontrolü sağlayan, UV ışınlarına karşı koruma, kir tutabilme ve ısı kontrolü sağlarken gün ışığı geçirgenliğine sahip olabilme gibi çeşitli özelliklere sahip malzemeler üretilmiştir.

Günümüzde yapı cephelerinde, iç mekânlarda çeşitli amaçlarla kullanılan cam çeşidi sayısı artmıştır. Bu cam çeşitlerine düzcam, temperli cam, lamine, renkli, reflektif, emaye, çiftcam, low-e cam, ikincil cam kaplama uygulaması, guardian glass güneş kontrol camları ve ısıcamlar örnek verilebilir.

Çalışma kapsamında ısı yalıtımı açısından değerlendirme yapılacağı için hesaplama yapılırken şeffaf malzemelerin “u değerleri” dikkate alınmıştır. Hem cephelerde kullanımı yaygın olan hem de enerji tüketimi açısından kıyaslama yapılabilmesi için birbirinden farklı “u değerine” sahip olan cam çeşitleri ve ulaşımı kolay olan geleneksel şeffaf (cam) çeşitleri seçilmiştir. Genel olarak geleneksel cam çeşitleri kısa bir şekilde tanıtılıp hesaplamada kullanılacak olan cam çeşitleri detaylı incelenmiştir.

Temperli cam

Güçlendirilmiş cam veya güvenlik camı olarak tanımlanır. Diğer camlar ile kıyaslandığında kırılmaya ve parçalanmaya karşı daha dayanıklıdır. Temperli camlar düz camın dayanıklılığını artırmak için üretilir (Camyapı, 2023).

Lamine cam

Renkli veya renksiz özel bağlayıcı polivinil butiral (PVB) tabakalar yardımıyla iki veya daha fazla cam plakanın ısı ve basınç altında birleştirilmesi ile üretilir. Kırılma halinde parçaları yerinde tutarak yaralanma risklerini azaltır (Arkipedi, 2023).

Emaye cam

Temperli veya ısıl işleme tabi tutularak güçlendirilmiş, bir tarafı mineral pigmentlerle kısmen veya tamamen kaplanmış cama denir. Dekoratif özelliğine ilave olarak aynı zamanda güneş ışık kontrolü sağlar (Sarcam, 2023).

Renkli cam

Cam hamuruna az miktarda renk verici metal oksit veya element konularak elde edilen camlardır. Renkli camlar içerden dışarısını gösterir, dışarıdan içerisini göstermez (Özlercam, 2023).

Reflektif cam

Yapının dış cephesinde kullanılan bu camlar metalik kaplama kullanılarak elde edilir. Cam güneş ısısının azaltılması amacıyla kullanılırken aynı zamanda ayna görevi görmektedir. Bu özelliği sayesinde iç kısmın görünmesini engeller (Sarcam, 2023).

Low-e cam

Düşük emisyonlu cam anlamına gelmektedir. Bu cam sistemleri bünyesinde bulunan metal tabaka sayesinde ısı ve ışık yayan UV ışınlarından gelen enerjiyi yansıtıp ısıyı tutarken diğer yandan da ısıнын geçişine müsaade eden sistemlerdir. Cam kaynaklı enerji kaybını %50' ye varan ölçülerde azaltır (Sarcam, 2023).

Düzcam (Float cam)

Cam eriyiğinin erimiş kalay üzerinde yüzdürülmesi yöntemiyle elde edilir. Düz cam, saydam olması sebebiyle yüksek ışık geçirgenliğe sahiptir (Seyhancam, 2023).



Şekil 3.9 Renkli ve renksiz düzcam (Euroglas, 2023)

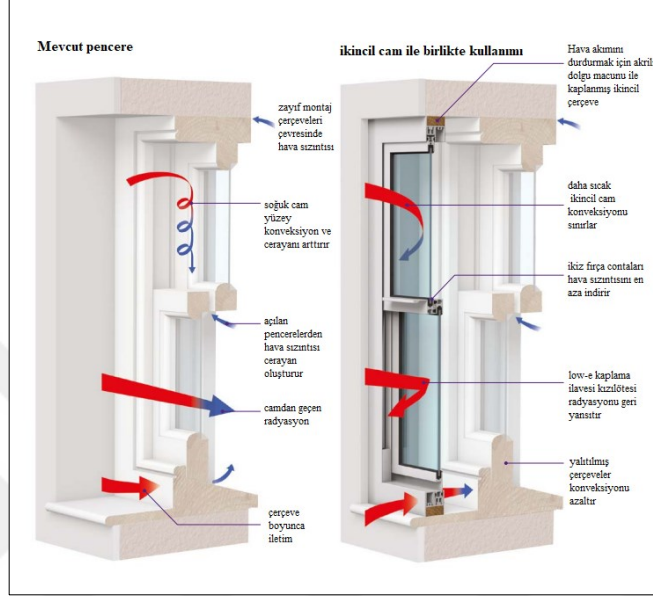
Düz cam, diğer cam ürünlerinin üretildiği temel camdır. Camda dalga veya bozulma yoktur ve günümüzde cam üretimi için standart yöntemdir. Dünya genelinde üretilen camın %90'ından fazlası düz camdır (Leftheriotis ve Yianoulis, 2022).

Tablo 3.1 Düzcam gün ışığı ve güneş enerjisi değerleri (Seyhancam, 2023)

Renksiz Düzcam (mm)	Günüşiği (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)			Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) W/m ² K (EN 673)
	Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Direkt Geçirgenlik %	Toplam Geçirgenlik %	Gölgeleme Katsayısı	
3 mm	90	8	84	86	0,99	5,8
6 mm	88	8	78	82	0,94	5,7
8 mm	87	8	75	80	0,92	5,6
12 mm	85	8	69	75	0,86	5,5
15 mm	83	8	64	72	0,83	5,4

Selectaglaze ikincil cam kaplama

İkincil cam, çift pencere veya 'çift cam' oluşturmak üzere mevcut (birincil) pencerenin oda tarafına takılan tamamen bağımsız bir iç pencere olarak tanımlanmaktadır. Mevcut pencere ve ikincil pencereler arasındaki boşluk, ikincil camın ne amaçla takılacağına bağlı olarak değişebilmektedir (Selectaglaze, 2023).



Şekil 3.10 Mevcut standart pencere ve selectaglaze ikincil cam uygulanmış pencere (Selectaglaze, 2023)

Mevcut pencere üzerine ikincil cam uygulaması ile pencerelerdeki gömülü karbon korunmakta, geri dönüşüm veya atık depolama için malzemelerin çıkarılması ve ayrıştırılmasıyla ilişkili bir karbon maliyeti oluşturmamaktadır (Selectaglaze, 2023).

Tablo 3.2 Selectaglaze cam u değerleri tablosu (Selectaglaze, 2023)

Selectaglaze İkincil Kaplama	Ahşap Gövde + İkincil kaplama (100 mm boşluk)		Metal Gövde + İkincil kaplama (100 mm boşluk)	
	6 mm	6 mm low-e	6 mm	6 mm low-e
Yatay Sürme	2,64	1,81	2,92	1,94
Dikey Kayar	2,61	1,80	2,89	1,93
Menteşeli Kanat	2,58	1,78	2,85	1,91
Kaldırma	2,58	1,78	2,85	1,91
Sabit Işık	2,57	1,78	2,84	1,90
Demonte Sabit Işık	2,61	1,80	2,89	1,92

Guardian glass (Güneş kontrol camı)

Güneş enerjisinin çoğunu yayıp yansıtırken güneş ışığının bir pencere veya cepheden geçmesine izin verir. Bu sayede iç mekânlar standart camla olduğundan daha aydınlık ve daha serin hale gelir (Guardianglass, 2023).

SunGuard eXtraSelective®; üç gümüş kaplamalı güneş kontrol camıdır, ideal düzeyde doğal ışık geçirgenliği ve güneş enerjisi kontrolü sağlar (Guardianglass, 2023).

SunGuard® SuperNeutral; ticari iki gümüş kaplamalı cam serisidir. Üstün doğal ışık geçirgenliği, çok yüksek güneş kontrolü ve düşük yayıcılık sunar (Guardianglass, 2023).

SunGuard® Solar; güçlü güneş ışığının yol açabileceği güneş ısıtması ve iç aydınlatma sorunlarının azaltılmasına yardımcı olur (Guardianglass, 2023).

SunGuard® High Performance; tek gümüş kaplamalı cam serisi güneş kontrolünün yanı sıra tasarım esnekliği ve iyi düzeyde ısı yalıtımı sunar (Guardianglass, 2023).

SunGuard® High Durable; optik şeffaflık ve gelişmiş enerji performansı sunan, yüksek dayanıklılığa sahip bir güneş kontrol camıdır (Guardianglass, 2023).

Tablo 3.3 Guardian glass güneş kontrol camı performans değerleri (Guardianglass, 2023).

Guardian Glass Güneş Kontrol Camı		Işık Geçirgenliği %	Solar Geçirgenlik %	U Değeri
SunGuard eXtraSelective® SNX 50	Çift camlı	49	22	1,0
	Üç camlı	44,5	19,1	0,5
SunGuard® SuperNeutral SN 75	Çift camlı	73	38	1,0
	Üç camlı	65,3	32,4	0,6
SunGuard® Solar Bright Green 20	Çift camlı	19	12	1,1
	Üç camlı	17	10,1	0,8
SunGuard® High Performance Amber 41/29	Çift camlı	40	26	1,1
	Üç camlı	36,4	21,3	0,6
SunGuard® High Durable Diamond 66	Tekli	66	67	5,7
	Çift camlı	59,8	44,1	-



Şekil 3.11 Guardian Glass güneş kontrol camı uygulama örnekleri (Guardianglass, 2023)

Isıcam

İki veya daha çok sayıda cam plakanın aralarında ortam basıncına uygun kuru hava veya gazları barındıracak şekilde fabrika şartlarında bir araya getirilmesi ile oluşur. Sıradan tek ve çift cam göre daha fazla ısı yalıtımı sağlar.

Isıcam C serisi; standart düzeyde yalıtım ve tasarruf sağlayan klasik seridir. İçerideki ısıнын dışarıya kaçmasını engelleyerek yalıtım ve tasarruf sağlar (Isıcam, 2023). Isıcam K serisi; yüksek nitelikli ısı ve güneş kontrol kaplamalı Şişecam Solar Low-E Cam'lar ile üretilir. Maksimum ısı yalıtımı ve güneş kontrolü sağlayarak kışın yakıt, yazın klima masraflarını azaltır (Isıcam, 2023). Isıcam S serisi; yüksek nitelikli ısı kontrol kaplamalı Şişecam Low-E Cam'lar ile üretilir. Maksimum ısı yalıtımı sağlayarak yakıt masraflarını azaltır (Isıcam, 2023).

Tablo 3.4 Isıcam serisi performans değerleri (Isıcam, 2023)

Isıcam Cam Çeşitleri		Gün Işığı (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)		Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) W/m ² K (EN 673)	
		Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Toplam Geçirgenlik %	Gölgeleme Katsayısı	Kuru Hava	Argon
ISICAM C	4+12+4	82	15	78	0,90	2,9	2,7
	4+16+4					2,7	2,6
ISICAM K	4+12+4	72	10	44	0,51	1,6	1,3
	4+16+4					1,4	1,1
ISICAM S	4+12+4	79	12	55	0,63	1,6	1,3
	4+16+4					1,4	1,1



Şekil 3.12 Isıcam K serisi uygulama örnekleri (Westgateresidence, 2023)

Bir yapıda ısıcam sistemleri kullanılarak;

- Isı yalıtımı ve güneş kontrolü sağlar.
- Diğer tek cam ile kıyaslandığında daha fazla güneş kontrolü sağlar.
- Doğal gün ışığından maksimum düzeyde faydalanılır.
- Buğulanmayı geciktirir.
- Darbelere karşı güvenlik sağlar.
- UV ışınlarının geçişini engeller.
- Gürültüyü azaltarak yaşam kalitesini artırır.
- Gürültünün insan sağlığına olan zararlı etkilerini azaltır.
- Camın kırıldığı zaman parçalanma oranını azaltarak güvenlik açığı oluşturmaz.
- Isıcam sistemleri ülkemizde yaygın bir üretime sahip olduğu için malzemeye ulaşım kolaydır.
- Temperlenmiş ısı ve güneş kontrol camı, tempersiz bir cama göre yaklaşık 5 kat daha dayanıklıdır (Isıcam, 2023).

3.5.2 Akıllı malzemeler

Akıllı malzemeler olarak adlandırılan malzemeler, gelişen teknoloji sonucu ortaya çıkan, bilgisayar destekli tasarımlar ile çevresel şartlara uyum sağlayan, tek başına hareket edebileceği gibi sistemin içerisinde de uyum içinde çalışabilen malzemelerdir. Akıllı malzemeler sıcaklık, nem, basınç, pH gibi çevresel veya dışarıdan uygulanan etkiler karşısında istenilen tepkilerin alınabildiği malzemelerdir (Çakmak ve Kaya, 2017).

Akıllı malzemeler, kendi içinde veya dışarıdan gelen bir uyarana karşı uyum içerisinde çalışır ve bazı fiziksel (basınç, sıcaklık, nem, ışık, elektrik alan, manyetik alan), kimyasal (pH, CO₂ vb.) veya biyolojik uyarılara verdikleri tepkilere göre sınıflandırılırlar (Qader vd., 2019).

Akıllı malzemeler; dâhili veya içsel sensörler, aktüatörler ve kontrol mekanizmalarına sahip olan ve bu sayede bir uyarıyı algılayabilen, ona önceden belirlenmiş bir şekilde ve ölçüde, kısa bir sürede yanıt verebilen ve uyaran ortadan kaldırıldığı anda orijinal durumuna geri dönebilen malzemelerdir (Abdullah ve Al-Alwan, 2019).

Akıllı malzeme teknolojisi yapının değişen çevre koşullarına karşı cevap verebilmesi ihtiyacı doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Bir malzemenin akıllı malzeme olarak adlandırılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar; tersinir olma, enerji dönüşümü yapabilme ve bir veya daha fazla özelliğini aynı anda değiştirebilme olarak tanımlanır.

Sahip olunan bu özellikler ile binalarda yeni nesil akıllı malzemelerin kullanılması; enerji tasarrufu sağlanması, enerji tüketiminin azalması, yapıların değişen koşullara uyum sağlayarak daha uzun ömürlü olması açısından önemlidir.

Akıllı malzemelerin sınıflandırılması

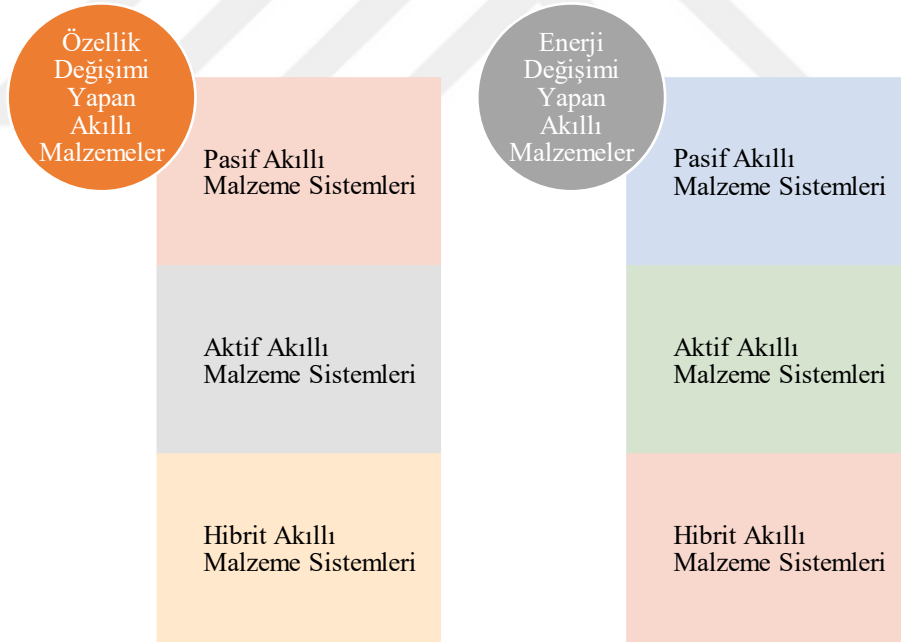
(Addington ve Schodek, 2005) akıllı malzemeleri iki gruba ayırmıştır. Bunlar nitelik değişimi yapan akıllı malzemeler ve enerji dönüşümü yapan akıllı malzemeler olarak tanımlanır. Enerji dönüşümü yapan akıllı malzemeler, enerjiyi bir halden başka bir hale dönüştürebilen malzemelerdir. Fotovoltaikler, şekil hafızalı alaşımlar, lüminesans, floresan ve fosforesans bunlara örnek verilebilir.

Nitelik değişimi yapan malzemeler ise bir etki karşısında kimyasal, mekanik, termal ve elektriksel özelliklerinin bir veya daha fazlasını değiştirebilen malzemelerdir. Fotokromik, termokromik, elektrokromik, sıvı kristal teknolojiler, asılı parçacık cihazları ve akıllı jel ve kristaller bu malzemelere örnek verilebilir (Yağlı, 2019).

Ritter (2007), ise akıllı malzemeleri özellik değiştiren, enerji alışverişi yapan ve madde alışverişi yapan akıllı malzemeler olarak sınıflandırmıştır. Özellik değiştiren akıllı malzemeleri; fotokromik, termokromik, fotoadezyon, termostriktif malzemeler olarak tanımlamıştır.

Enerji alışverişi yapan malzemeleri; ısı depolayan, fotoelektrik, termoelektrik, fotolüminesan malzemeler olarak sınıflandırmıştır. Madde alışverişi yapan akıllı malzemeleri ise gaz depolayan malzemeler olarak tanımlamıştır (Yağlı, 2019).

Bir başka sınıflandırma şekli ise akıllı malzemelerin uyaranlara nasıl tepki verdiği göre yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre akıllı malzemeler bir uyarana pasif akıllı malzeme sistemleri, aktif akıllı malzeme sistemleri ve hibrit akıllı malzeme sistemleri olarak yanıt vermektedir.



Şekil 3.13 Akıllı malzeme sistemlerinin sınıflandırılması (Abdullah ve Al-Alwan, 2019)

Pasif akıllı malzeme sistemleri; yapıda belirli bir değişiklik algılandığı zaman doğrudan harekete geçen sistem olarak tanımlanır. Sistemin harekete geçmesi için gereken enerji çevresel kaynaklardan elde edilir (Abdullah ve Al-Alwan, 2019)

Aktif akıllı malzeme sistemleri; malzemenin bir sistem tarafından kontrol edilmesi veya yönlendirilmesi durumunda harekete geçen sistem olarak tanımlanır. Sistemin yönlendirilmesi ile malzemenin performansı istenilen seviyede ayarlanabilir. Sistemin harekete geçmesi için bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır (Abdullah ve Al-Alwan, 2019).

Hibrit akıllı malzeme sistemleri; hem aktif hem de pasif sistem gibi çalışabilir. Malzeme; pasif bir sistem gibi kendiliğinden harekete geçebilir veya bir sistem tarafından kontrol edilebilir.

Örneğin aktif bir gölgeleme sistemi yazın cama bütünleşik bir şekilde gölgeleme sağlarken, kışın sistem tarafından kontrol edilerek istenilen durumda gölgelemenin önüne geçilip ortama ısı geçişini sağlayabilir. Aktif ve pasif sisteme göre hibrit sistemler daha yüksek performans sağlamaktadır (Abdullah ve Al-Alwan, 2019).

Akıllı malzeme sistemleri, sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkmış ve halen gelişmeye devam eden yeni bir teknolojidir. Akıllı malzeme sistemlerinin çoğu araştırma safhasında olup günümüzde en çok bilinirliğe sahip olan ve en çok uygulanan akıllı malzemeler aşağıda belirtilmiştir.

Elektroaktif akıllı malzemeler, elektriksel uyarana karşı şekillerini değiştirirler. Yapılarda cephede gün ışığının kontrol edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Adezyon değiştiren malzemeler, ışık, sıcaklık veya elektriksel bir etki ile malzeme yapısındaki katı, sıvı ve gaz bileşenlerinin arasındaki adezyon kuvvetini değiştiren malzemelerdir. En yaygın kullanıma sahip olan Fotoadezyon (TiO_2), ışık etkisi altında malzeme yüzeyindeki kirleri su ve karbondioksit çevirir (Ritter, 2007).

Elektrokromik akıllı malzemeler, ışığa ve sıcaklığa bağlı uyaranlara tepki olarak renk, optik özelliklerinin birini veya birden fazlasını değiştirebilir.

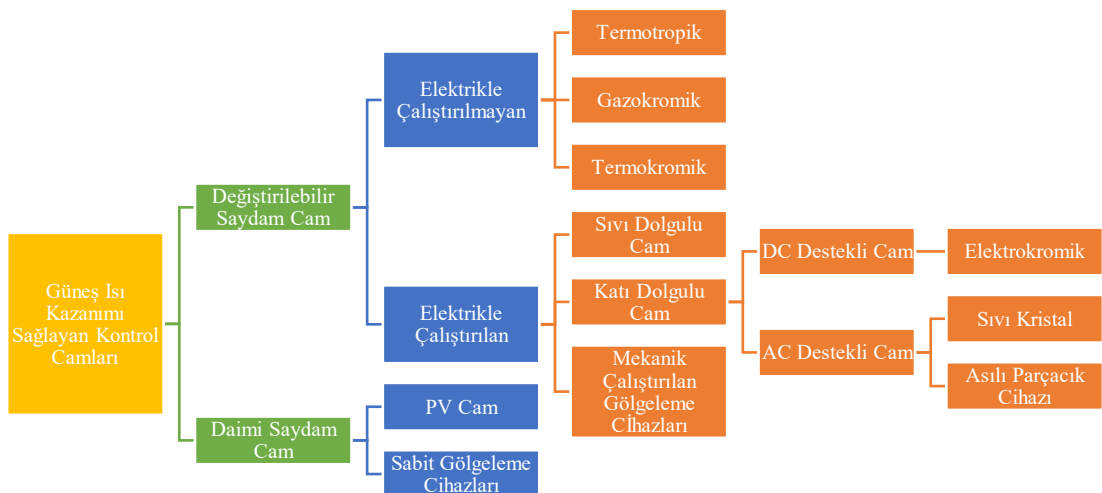
Fotokromik akıllı malzemeler, UV ışınları içindeki enerjiyi absorbe ederek optik özelliklerini, ışığın dalga boyu ve güneş ışığına maruz kalma düzeyine göre ise renklerini değiştirebilir (Perker ve Akkuş, 2016).

Fotoelektrik akıllı malzemeler, fotovoltaiik sistemler (PV) olarak adlandırılmakta ve kullanılmaktadır. Fotovoltaiik sistemler ise, fotovoltaiik hücreler ve bunlardan üretilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren elemanlar olarak tanımlanır (Ünver, 2013).

Faz değıştiren malzemeler (PCM), termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Gizli ısı ise maddenin faz değışim sırasında çevreden aldığı veya çevreye verdiği ısı olarak tanımlanır (Konuklu ve Paksoy, 2011).

3.5.3 Akıllı şeffaf (cam) malzemeler

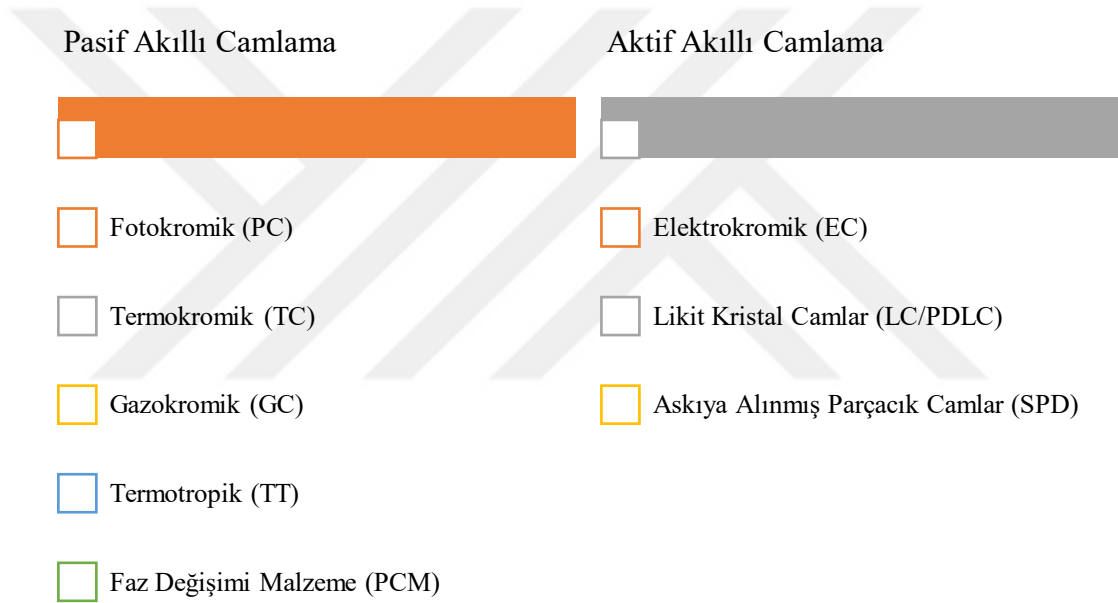
Geleneksel statik pencerelerle karşılaştırıldığında, uyarlanabilir ve kontrol edilebilir akıllı şeffaf malzemeler ile üretilen pencereler; optik özelliklerini değışen sınır koşullarına göre ayarlama yeteneğine sahiptir ve dolayısıyla binaların enerji performansını ve kullanıcı konforunu iyileştirme potansiyeline sahiptir (Tällberg vd., 2019).



Şekil 3.14 Güneş ısı kazancı kontrol camlarının taksonomisi (Ghosh vd., 2015)

Akıllı pencereler istenmeyen güneş ışımasını engelleyerek, binaların daha yüksek enerji performans seviyelerini korumasına yardımcı olur. Pencereleerin ışıının ve termal özelliklerinin dinamik olarak benimsenmesiyle soğuk havalarda ısı kazanımı artırılarak, sıcak havalarda ise azaltılarak enerji performansı artırılabilir.

Camın yüzeyine kontrol edilebilir bir soğurucu katman eklenmesi, gelen güneş ısısı akışını kontrol ederek camın optik özelliklerini değiştirebilir. Bu nedenle akıllı pencereler, binalarda HVAC enerji tüketiminin ve elektrik talebinin azalmasına yol açar (Kamalisarvestani vd., 2013).



Şekil 3.15 Akıllı camların sınıflandırılması (Ruggiero vd., 2022)

Fotokromik cam (PC)

UV ışığına maruz kaldığında koyulaşarak parlamayı azaltır ve enerji verimliliği sağlar. Güneş radyasyonu ile kendiliğinden harekete geçer çalışması için herhangi bir elektrik kaynağına ihtiyaç duymaz.

Fotokromik camlar günışığından yeterli düzeyde faydalanarak güneş ışınlarını kontrol eder ve kamaşmayı önler. Böylelikle yapıdaki soğtma sisteminin aşırı enerji tüketimini önlemiş olur (Erkol ve Sayın, 2021).

Tablo 3.5 Fotokromik camların performans değerlerinin kıyaslanması (Nicoletti vd., 2022)

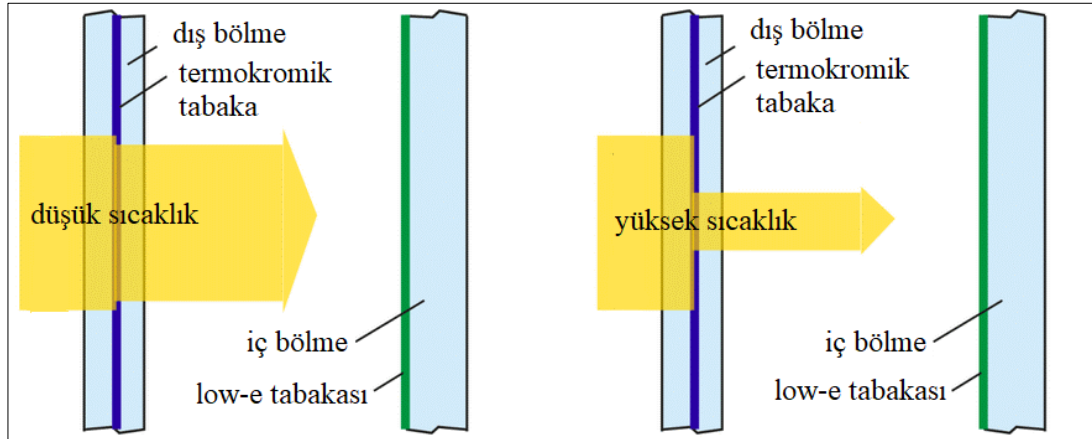
Termal Özellikler	Şeffaf cam	Low-E cam	Fotokromik cam	
			En aydınlık durum	En karanlık durum
U değeri (W/m ² K)	2,866	1,924	2,85	2,85



Şekil 3.16 Gelen ışığın şiddetine bağlı olarak koyulaşan fotokromik cam (Thomsaglass, 2023)

Termokromik cam (TC)

Dış yüzey sıcaklığına göre optik özelliklerini bağımsız olarak değiştirme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle malzeme, geçiş sıcaklığından daha düşük sıcaklıklar olduğunda berrak kalır ve sıcaklık arttıkça malzeme rengi koyulaşır (Tällberg vd., 2019).



Şekil 3.17 Termokromik cam çalışma prensibi (Zakurullin, 2020)

Termokromik pencerelerin, düz camla karşılaştırıldığında ve iklim koşullarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma enerji talebinde %5,0'dan %84,7'ye kadar tasarruf sağlama potansiyeline sahiptir. Enerji tasarrufu kapasitesindeki farklılıklar iklim ve cam tipine göre değişiklik göstermektedir (Aburas vd., 2019).

Tablo 3.6 Termokromik cam performans değerleri (Suntuitiveglass, 2023)

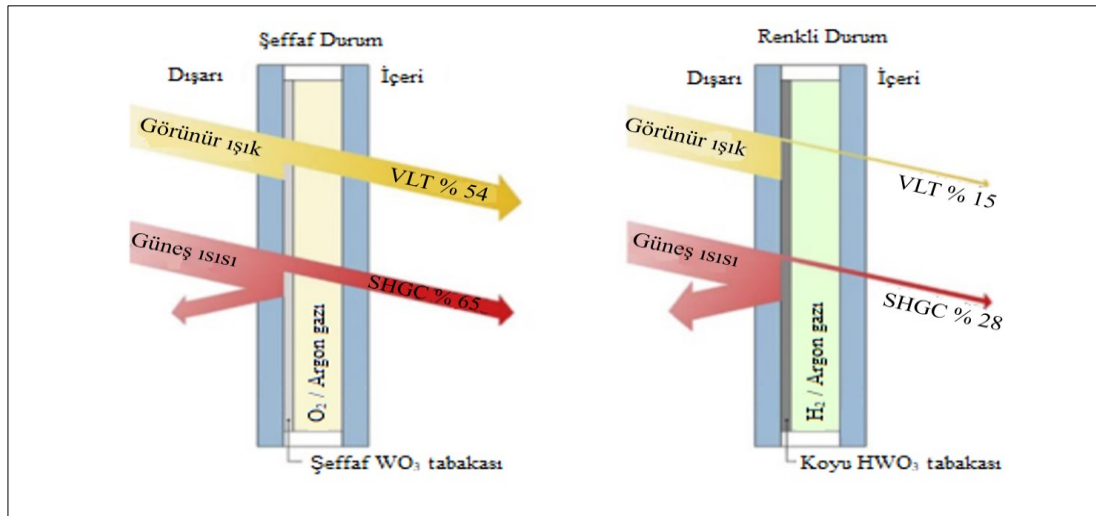
Cam Özellikleri	Şeffaf Durum (Kaplama Sıcaklığı 10°C)	Renkli Durum (Kaplama Sıcaklığı 65°C)
U Değeri	0,24	0,24



Şekil 3.18 Termokromik cam uygulaması (Suntuitiveglass, 2023)

Gazokromik cam (GC)

Tungsten oksitin seyreltilmiş hidrojene ile tepkimesi sonucu elde edilir ve böylece camın rengi ve saydamlığı istenilen düzeyde değiştirilir. Camın şeffaflık miktarı maruz kaldığı hidrojen miktarına göre değişiklik gösterir (Cüce vd., 2019).



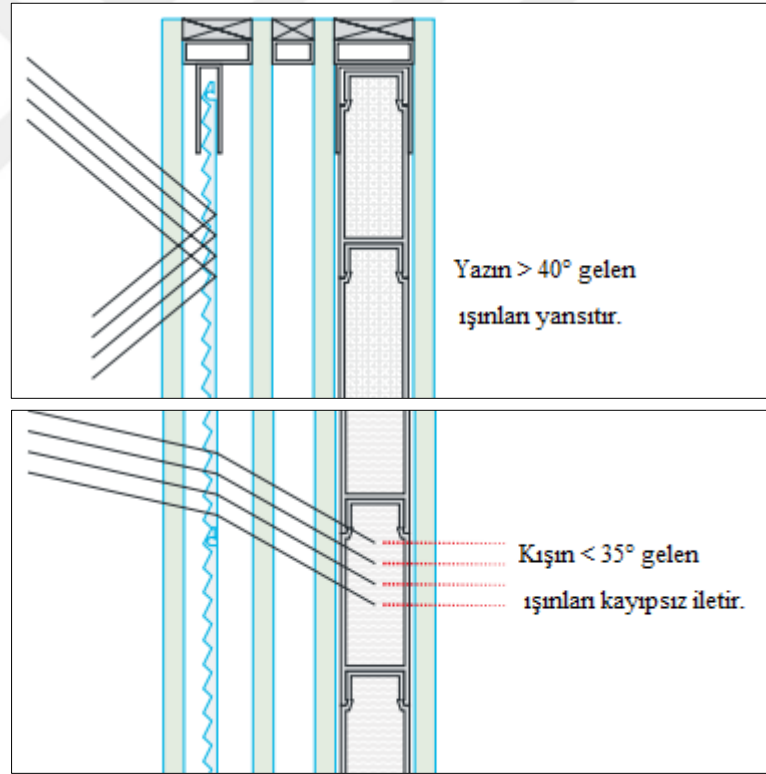
Şekil 3.19 Gazokromik cam gelen ışığa bağlı davranış şekli (Cüce vd., 2019)

Tablo 3.7 Gazokromik cam performans değerleri (Feng vd., 2016)

Cam Çeşitleri	U değeri (W/m ² K)	SHGC	Tvis
GC + Şeffaf Düzcam (Ağartılmış Durum)	2.61	0.650	0.546
GC + Şeffaf Düzcam (Renkli Durum)	2.61	0.287	0.155

Faz değıştiren malzeme (PCM)

Belirli bir sıcaklık altında suyun katı halden sıvı hale geçişi gibi; katı halden sıvı hale, sıvı halden ise tekrar katı haline dönebilmektedir. PCM'ler, belirli bir sıcaklıkta katıdan sıvıya dönüşen - yani eriyen maddelerdir. Ticari ismi GlassX olan PCM, oda sıcaklığında eriyen, toksik olmayan bir tuz kalsiyumklorürheksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) içermektedir (Glassx, 2023).



Şekil 3.20 PCM yaz ve kış aylarında gelen ışınlara verdiği tepki (Greenliteglass, 2023)

GlassX üçlü veya daha fazla yalıtımlı cam ünitesi olarak üretilmektedir. Sisteme $U=0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ gibi çok düşük bir ısı yalıtımı sağlamaktadır. Malzeme üzerine gelen ışığı yazın $> 40^\circ$ açıyla gelen ışınları yansıtır, kışın ise $< 35^\circ$ gelen ışınları iletir.

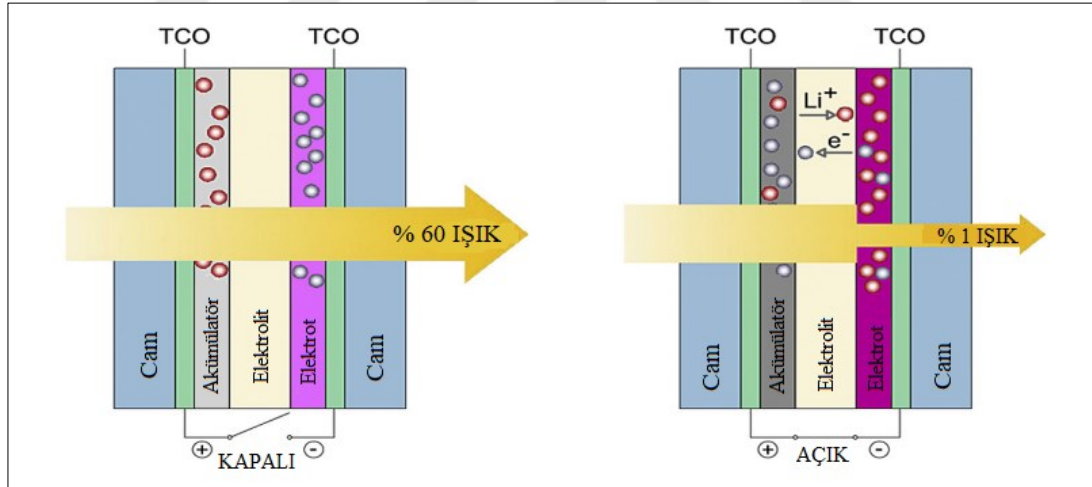
2 cm kalınlığındaki bir PCM 20 cm kalınlığındaki beton duvar kadar ısı depolama kapasitesine sahiptir. Faz değiştiren malzemeler içerisinde barındırdığı toksik olmayan tuz hidrat sayesinde sıcaklık farklarından kaynaklı faz değiştirerek ısı depolama kapasitesine sahip olmaktadır (Greenliteglass, 2023).



şekil 3.21 PCM (GlassX) kullanımı (Kaempfen, 2023), (Schwarz Architekten, 2023)

Elektrokromik cam (EC)

Cama elektrik akımı uygulanarak camın opaklığında değişimin gerçekleşmesidir. Camın içerisindeki iletken kısım elektrik akımı ile harekete geçerek cam opaklaşır. Elektrik akımı kesildiğinde ise bu durumun tersi görülür (Erkol ve Sayın, 2021).



şekil 3.22 Elektrokromik cam çalışma prensibi (Cüce vd., 2019)

Elektrokromik camlardaki elektrokromik kaplama; küçük bir elektrik yükü uygulanarak camın görsel ışık geçirgenliğini (VLT) ve güneş ısı kazanç katsayısını (SHGC) dinamik olarak modüle edebilen çok sayıda metalik eleman katmanından oluşur.

Tablo 3.8 Elektrokromik cam performans değerleri (Sageglass, 2023)

Elektrokromik cam	Kalınlık	% Tvis	% Tsol	SHGC	U Değeri
Sageglass şeffaf	6 mm	60	33	0.41	0.28
Sageglass gri	6 mm	45	23	0.33	0.29
Sageglass mavi	6 mm	40	21	0.30	0.29
Sageglass yeşil	6 mm	49	18	0.27	0.29



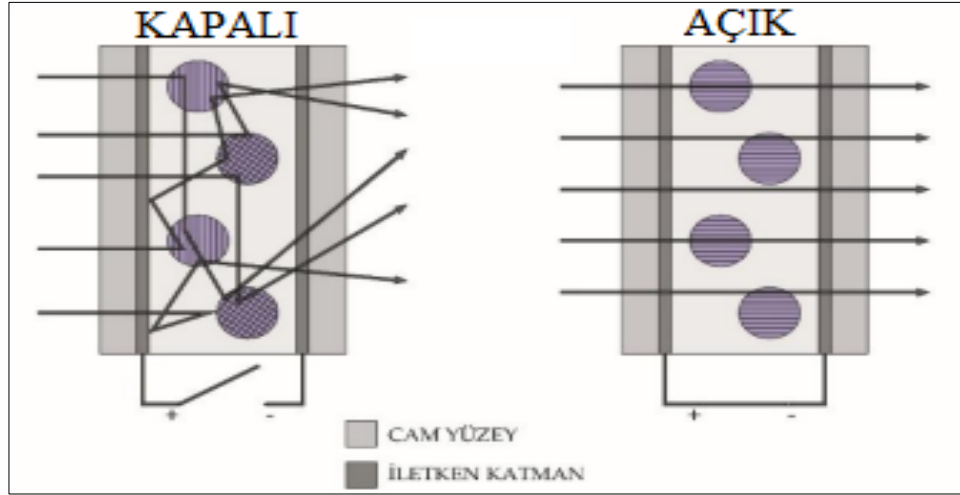
Şekil 3.23 Elektrokromik cam uygulaması (Viracon, 2023)



Şekil 3.24 Sageglass elektrokromik cam uygulaması (Sageglass, 2023)

Likit kristal camlar (PDLC)

Çalışma prensibi iki cam katmanı arasına yerleştirilen elektrik akımı verilen sıvı kristallerin gerilim sonucu camın geçirgenliğinde değişme meydana getirmesidir. Elektrik akımı verilmesi sonucu sıvı kristaller, saydamlaşır ve ışık geçişini sağlar. Elektrik akımının kesilmesiyle ise sıvı kristaller dağınık bir hal alır ve cam opak hale gelir, geçirgenlik kaybolur (Erkol ve Sayın, 2021).



Şekil 3.25 Likit kristal cam (PDLC) çalışma prensibi (Erkol ve Sayın, 2021)



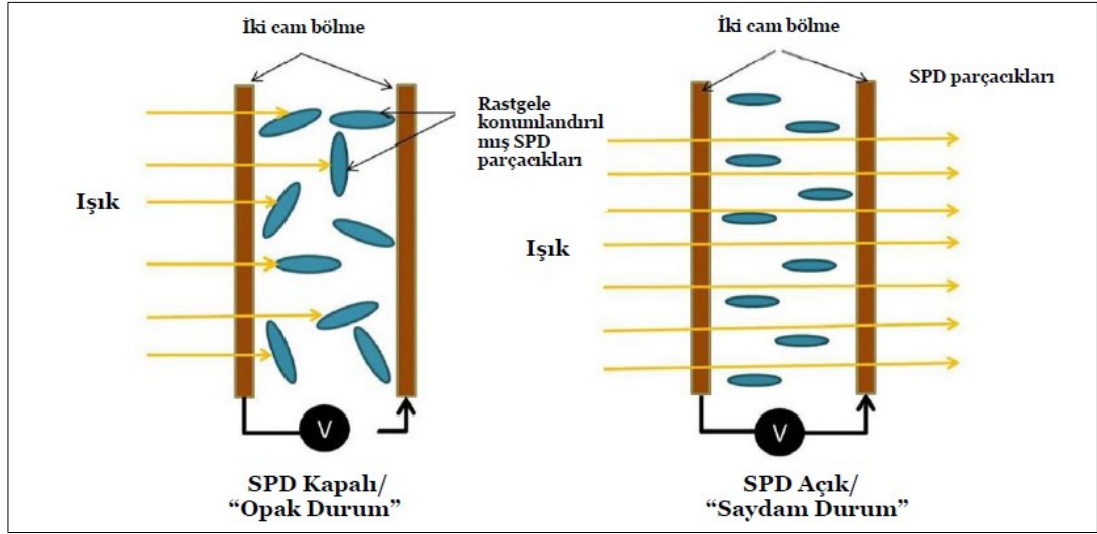
Şekil 3.26 Likit kristal cam uygulama örneği açık ve kapalı durumu (Smartglass, 2023)

Likit kristal camlar aynı zamanda opaklaşıp saydamlaşabildiği için perde amaçlı da kullanılabilir. (Erkol, & Sayın, 2021).

Askıya alınmış parçacık camlar (SPD)

Alternatif akım (AC) güç kaynağı varlığında optik iletimi "opak" durumdan "saydam" duruma değiştirebilir (Ghosh vd., 2015). Sisteme elektrik akımı verildiğinde camın içerisindeki tanecikler düzgün bir hale geçerek camın şeffaf hale gelmesini sağlar. Elektriksel akım kesildiğinde tanecikler dağınık bir hale geçerek camın şeffaf halden opak hale geçirir (Erkol, & Sayın, 2021).

SPD ve çift cam örnekleri için ortalama “u değerleri” sırasıyla 5.9 W/m²K ve 2.98 W/m²K olarak bulunmuştur. Bu SPD değiştirilebilir tek cama çift camın eklenmesi, 1,99 W/m²K’lık bir “u değeri” bulunmuştur (Ghosh vd., 2015).



Şekil 3.27 Askıya alınmış parçacık cam (SPD) çalışma prensibi (Ghosh vd., 2015)

Fotovoltaik cam (PV)

PV camlar, binaların yüzey alanının büyük olması ve PV hücrelerin güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürebildikleri için zamanla daha fazla kullanılmaktadır. Maliyeti düşürerek ve temiz enerji üreterek PV teknoloji sayesinde enerji maliyetleri ve hava kirliliği önemli ölçüde azaltılabilir (Cüce vd., 2019).

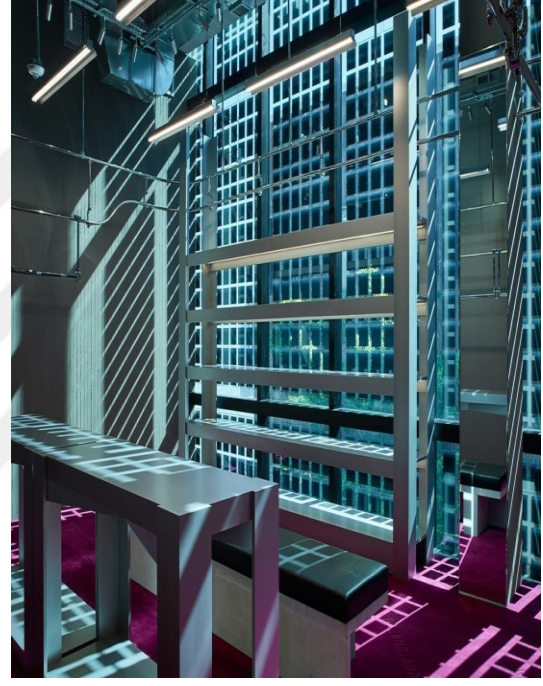
PV camlar; kristal silikon PV cam ve amorf silikon PV cam olarak ikiye ayrılır. Kristal silikon PV camın amorf silikon PV cam ile kıyaslandığında doğrudan güneş ışığı altında iki kat daha fazla enerji üretir. Kristal silikon PV cam teknolojisi iyi güneş yönlendirilmesine sahip binalarda kullanılabilir. Kristalin silikon PV cam, kanopi ve tavan penceresi uygulamalarında, spandrel camda, masif duvarlarda ve korkuluklarda kullanılmaya en uygun malzemedir (OnyxSolar, 2023).

Tablo 3.9 Amorf Silikon PV cam performans değerleri (OnyxSolar, 2023)

PV Cam	Cam Kalınlığı	SHGC %	U Değeri (W/m ² K)	Şeffaflık %	Üretim Gücü (Wp/m ²)
Yüksek şeffaf	6 + 3.2 + 6 /12 argon/ 4 /12 argon/ 6 low-e	17	1.0	30	28
Orta şeffaf	6 + 3.2 + 6 /12 argon/ 4 /12 argon/ 6 low-e	12	1.0	20	34
Düşük şeffaf	6 + 3.2 + 6 /12 argon/ 4 /12 argon/ 6 low-e	9	1.0	10	40
Karanlık Durum	6 + 3.2 + 6 /12 argon/ 4 /12 argon/ 6 low-e	5	1.0	0	57.6

Tablo 3.10 Kristal Silikon PV cam performans değerleri (Onyxsolar, 2023)

PV Cam	Cam Kalınlığı	SHGC %	U Değeri (W/m ² K)	Şeffaflık %
Düşük Güneş Hücresi Yoğunluğu	6 + 6 /12 argon/ 4 /12 argon/ 6 low-e	20	1.0	38
Yüksek Güneş Hücresi Yoğunluğu	6 + 6 /12 argon/ 4 /12 argon/ 6 low-e	7	1.0	15



Şekil 3.28 Kristal silikon PV cam perde duvar uygulaması (Superfuture, 2023)



Şekil 3.29 Fotovoltaik cam uygulaması aydınlatma ve perde duvar olarak (Ease Educators, 2023), (Onyxsolar, 2023)

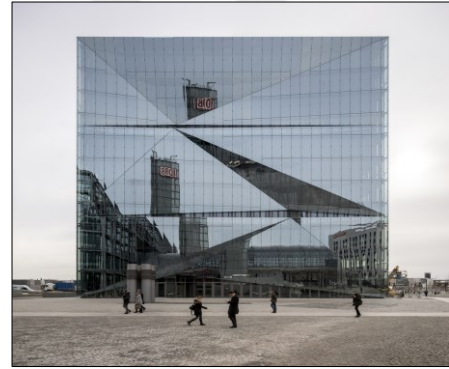
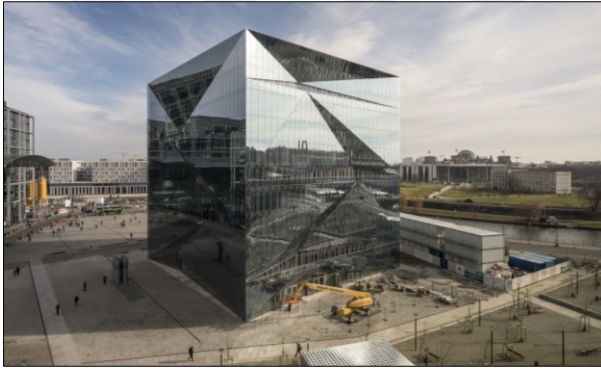
Guardian glass (Low-e cam)

Düşük emisyonlu cam (Low-e cam), doğal ışık iletimi sağlarken ısı kazancını ve termal enerji transferini sınırlamaya yardımcı olur.

SunGuard® HP Neutral 78/65; yüksek güneş kontrolü sağlamakla birlikte iyi seviyede ısı yalıtımı da sunan ticari tek gümüş kaplamalı low-e cam serisidir (Guardianglass, 2023). ClimaGuard konut camı; enerji verimliliğine yönelik değişen ve giderek katılan kuralların karşılanmasına yardımcı olabilecek güçlü bir low-E kaplamalı cam yenilikleri koleksiyonuyla olağanüstü güneş kontrolü ve ısı yalıtım performansı elde edilmesini sağlar (Guardianglass, 2023).

Tablo 3.11 Guardian glass (Low-e cam) performans değerleri (Guardianglass, 2023)

Guardian Glass (Low-e cam)		UV Geçirgenliği	SHGC	U Değeri	
				Kış Gecesi	Yaz Günü
SunGuard® HP Neutral 78/65	Çift camlı	54	0,68	0,265	0,249
	Üç camlı	48	0,63	0,195	0,199
ClimaGuard 62/27	Çift camlı	7	0,26	0,241	0,212
	Üç camlı	6	0,24	0,182	0,175



Şekil 3.30 Guardian Glass (ClimaGuard) uygulaması (Archdaily, 2023)



Şekil 3.31 Guardian Glass (SunGuard HP Neutral 78/65) uygulaması (Swagroup, 2023)

4. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışmasında incelenen şeffaf (cam) malzemeler TS 825 hesap programına göre 3. İklim bölgesinde bulunan Elazığ ilindeki referans bir binada enerji tüketimi açısından kıyaslanacaktır.

Şeffaf (cam) malzemeler TS 825 hesap programında belirli parametreler sabit tutularak “u değerleri” değişken kabul edilerek kıyaslanmıştır.

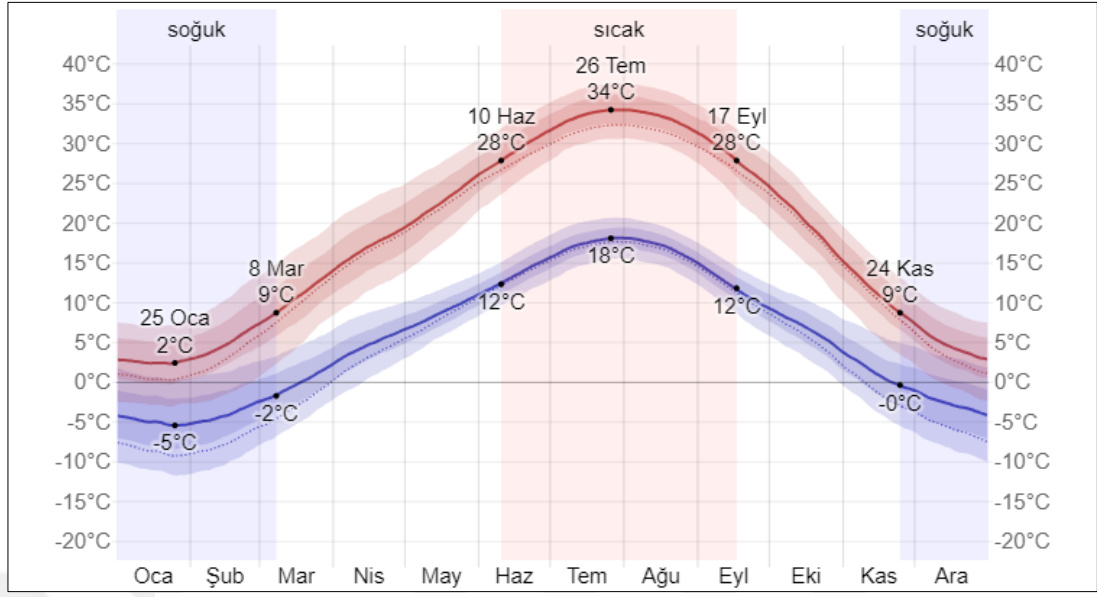
Geleneksel ve akıllı şeffaf (cam) malzemelerden çalışma kapsamında kıyaslama yapılması için seçilen malzemeler kullanımı en yaygın, erişimi kolay ve u değerlerine ulaşılabilen malzemelerden seçilmiştir. İyi bir ısı yalıtımı sağlayabilmek için malzeme yapının bulunduğu iklim bölgesine uygun olmalıdır. Çünkü her zaman düşük “u değeri” seçilen bölge için iyi bir ısı yalıtımı anlamına gelmemektedir. Bu bağlamda doğru bir kıyaslama yapılabilmesi için birbirinden farklı “u değerleri” tercih edilmiştir.

4.1 Elazığ Konumu ve İklim Verileri

Elazığ ili Doğu Anadolu Bölgesinde Yukarı Fırat bölümünde yer almaktadır. Doğudan Bingöl, kuzeyden Tunceli, batı ve güneybatıdan Malatya, güneyden ise Diyarbakır illerinin arazileri ile çevrilidir.

İklim, ortalama sıcaklık, güneş enerjisi gibi kavramlar bir binanın ısı yalıtımına olan ihtiyacını etkilemektedir. Sıcak ve soğuk iklim bölgeleri için doğru yerde doğru kalınlıkta ısı yalıtım malzemesini seçmek adına iklim ve sıcaklığa dair bu verileri bilmek önemlidir.

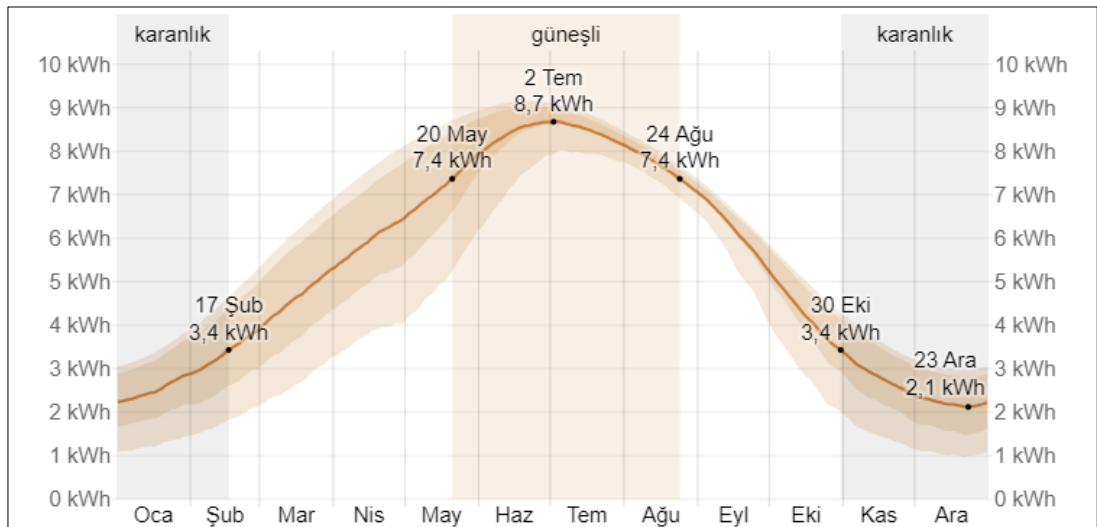
Soğutma ya da ısıtma gün dereceleri bilinmesi ise binanın enerji ihtiyacının bilinmesini sağlar ve böylelikle ısı yalıtımı yapılırken bu değerlerden faydalanılarak doğru ısı yalıtımı yapılması sağlanır. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı iklimlere göre değişiklik göstermekte olup bu veriler yapı tasarım sürecinde ve ısı yalıtım malzemesi seçiminde etkili olmaktadır. Elazığ ili sıcak mevsim Haziran ayında başlayıp Eylül ayna kadar devam eder, günlük ortalama yüksek sıcaklık 28°C’ nin üzerindedir. Elazığ bölgesinde en sıcak ay temmuz ayıdır, ortalama düşük sıcaklık 17°C ve yüksek sıcaklık 33°C seviyesindedir (Weatherspark, 2024).



Şekil 4.1 Günlük ortalama yüksek ve düşük sıcaklık (Weatherspark, 2024)

Elazığ ili soğuk mevsim ise Kasım ayında başlayıp Mart ayına kadar devam eder, günlük ortalama yüksek sıcaklık 9°C 'nin altındadır. Elazığ bölgesinde en soğuk ay Ocak ayıdır, bu ayda ortalama yüksek sıcaklık 3°C ve ortalama düşük sıcaklık -5°C seviyesindedir (Weatherspark, 2024).

Elazığ ili için yıllık güneş enerjisi hesaplanırken; geniş bir alan üzerinde yüzeye ulaşan toplam günlük kısa dalga güneş enerjisi ele alınmaktadır ve bunu yaparken günün uzunluğu, güneşin ufuk çizgisi üstündeki yüksekliği, bulut ve diğer atmosferik bileşenler tarafından emilim üzerinde mevsimsel etkileri göz önünde bulundurulmaktadır (Weatherspark, 2024).



Şekil 4.2 Metrekare başına toprağa düşen güneş enerjisi (Weatherspark, 2024)

Kısa dalga radyasyonu görünür ışın ve ultraviyole radyasyon içermektedir. Ortalama günlük kısa dalga güneş enerjisi yıl boyunca aşırı mevsimsel değişiklikler gösterir (Weatherspark, 2024). Yılın daha güneşli olan dönemi metrekare başına 7,4 kWh düzeyinin üstünde günlük ortalama kısa dalga enerjisiyle 20 Mayıs tarihinden 24 Ağustos tarihine kadar 3,1 ay boyunca sürer. Elâzığ bölgesinde en güneşli ay Temmuz ayıdır ve bu dönemde ortalama güneş enerjisi 8,5 kWh olmaktadır (Weatherspark, 2024).

Yılın daha karanlık olan dönemi metrekare başına 3,4 kWh seviyesinin altında günlük ortalama kısa dalga enerjisiyle Ekim ayından Şubat ayına kadar sürer. Elâzığ bölgesinde en karanlık ay Aralık ayıdır ve bu dönemde ortalama güneş enerjisi 2,2 kWh olmaktadır (Weatherspark, 2024).

Isıtma belli bir sıcaklığın üzerinde gereksizdir. Isıtma ve soğutma gün dereceleri yeni binalar yapılırken ısıtma ve soğutma giderleri için harcanacak enerji miktarının hesaplanması için inşaat sektörü tarafından ihtiyaç duyulan bir bilgidir (MGM, 2023).

Tablo 4.1 Elazığ ili 2021-2023 yılları ısıtma ve soğutma gün dereceleri (MGM, 2023)

Merkez	G/D	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık
Elazığ 2023	HDD	513	500	263	167	33								1476
	T _≤ 15	31	28	31	24	6								120
	CDD						36	165	226					427
	T>22						17	31	30					78
Elazığ 2022	HDD	574	383	448	75	71					68	262	383	2264
	T _≤ 15	31	28	31	11	14					12	30	31	188
	CDD					3	70	171	231	65	7			547
	T>22					3	23	31	31	17	4			109
Elazığ 2021	HDD	524	364	350	101	5				7	78	251	472	2152
	T _≤ 15	31	28	31	13	1				2	15	30	31	182
	CDD				3	23	85	215	180	38				544
	T>22				3	15	23	31	30	18				120

4.2 Alan Çalışması: Elazığ Sahra Royal Sitesi Örneği

Sahra Royal Sitesi 3. İklim bölgesi olan Elazığ ilinde Çaydaçıra Mahallesi, Prof. Dr. Necmettin Erbakan Bulvarı Merkez/Elazığ adresinde yer almaktadır.



Şekil 4.3 Elazığ ili haritası (Studio Mapbox, 2024)

Sahra Royal sitesi her blok Zemin + 15 Kat olup 8 bloktan oluşmaktadır. Arsa üzerinde havuz ve kapalı otopark dâhil olmak üzere toplam 70.264 m² inşaat alanından oluşmaktadır.

Arsanın kuzey cephesinde F blok ve havuz, kuzeybatı cephesinde E blok, batı cephesinde D blok, güneybatı cephesinde C blok, güney cephesinde B blok, güneydoğu cephesinde A blok, doğu cephesinde H blok ve kuzey doğu cephesinde G blok bulunmaktadır. Binaların arsaya konumlanması itibari ile birbirinin görüş açısını ve gelen güneş enerjisini engellemeyecek şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 4.4 Elazığ ili haritası Çaydaçıra Mahallesi (Studio Mapbox, 2024)



Şekil 4.5 Sahra Royal sitesi vaziyet planı (Değirmencioğlu Mimarlık, 2023)

Çalışma kapsamında cephelerde kullanılan şeffaf (cam) malzemeler ısı yalıtımı açısından incelenecektir. Bu sebeple TS 825 hesap programında veri girişi yapılırken duvar başlığı altında; dış havaya açık, ısıtılmayan iç ortama bitişik ve toprağa temas eden duvarlar, tavan başlığı altında; kırma çatı, taban başlığı altında; toprağa temas eden, ısıtılmayan iç ortama bitişik taban, açık geçit üzeri taban çeşitleri, pencere başlığı altında; dış ortama bakan ve ısıtılmayan iç ortama bitişik pencereler, kapı başlığı altında dış ortama bakan ve ısıtılmayan iç ortama bitişik kapılar ve güneş enerjisi kazancı başlığı altında yapının cephelerinde bulunan bütün pencereler sisteme girilmiştir.

Yapıda kullanılan şeffaf (cam) malzeme harici diğer parametreler sabit tutularak kıyaslama yapılmıştır. Yapıda blokların yönlerle göre konumlanışından dolayı cephe başına düşen pencere m^2 hesabı değiştiği için her blok kendi içinde ayrı hesaplanmıştır. Yapıda şeffaf (cam) malzeme olarak Isıcam S serisi kullanılmıştır.



Şekil 4.6 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları (Tuğal, 2024)

Şekil 4.6’da kuzeydoğu ve güneydoğu cephelerinde yer alan A, H ve G blokları, güney cephede yer alan B blok ve batı cephede yer alan C blok görülmektedir.



Şekil 4.7 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları (Tuğal, 2024)

Şekil 4.7’ de ise kuzey cephede yer alan E ve F blok ve batı cephede yer alan D ve C blok görülmektedir.



Şekil 4.8 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları (Tuğal, 2024)

Şekil 4.8’de kuzeydoğu cephesinde yer alan A ve G blok ve doğu cephesinde yer alan H blok gösterilmektedir.

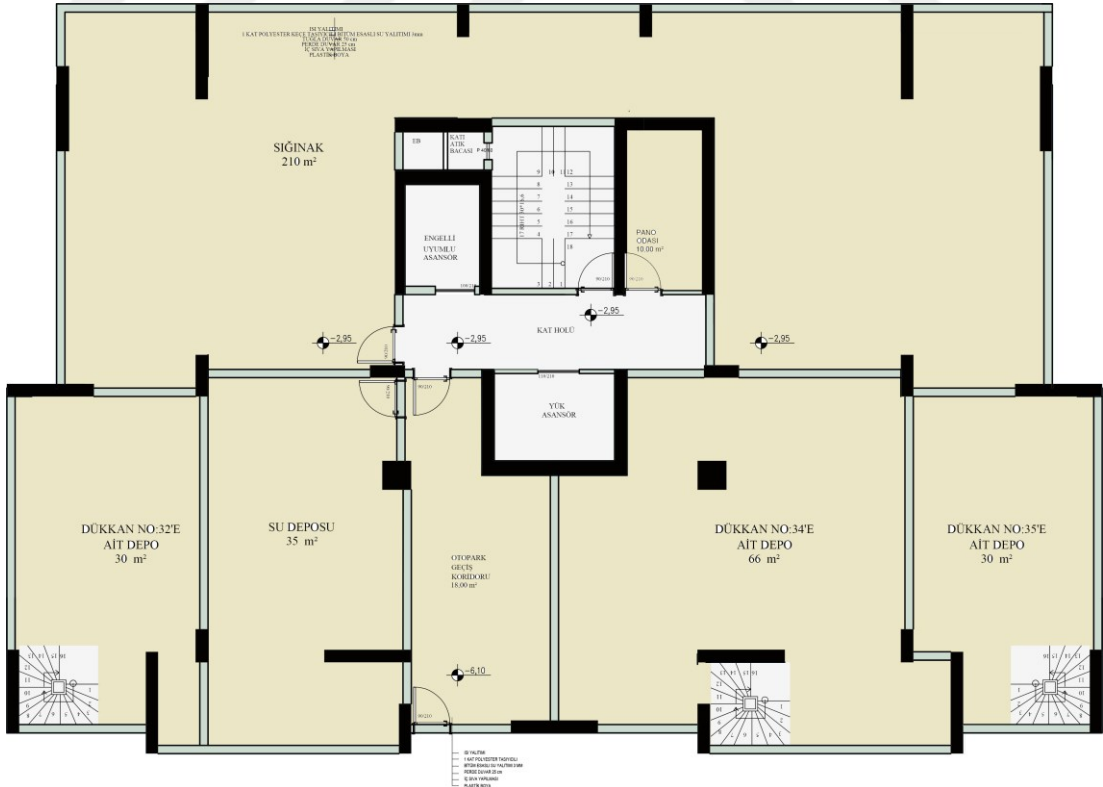


Şekil 4.9 Sahra Royal sitesi güncel fotoğrafları (Tuğal, 2024)

Şekil 4.9’da ise kuzey cephede yer alan E ve F blok, kuzeydoğu cephesinde yer alan G blok ve doğu cephesinde yer alan H blok gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Sahra Royal sitesi kat planları (Değirmencioğlu Mimarlık, 2023)



Şekil 4.11 Sahra Royal sitesi kat planları (Değirmencioğlu Mimarlık, 2023)



Şekil 4.13 Sahra Royal sitesi cephe çizimleri (Değirmencioğlu Mimarlık, 2023)

4.3 TS 825 Hesap Metodu ve Bazı Kavramalar

TS 825 standardı, bir binanın tasarım aşamasından başlayarak enerjinin verimli kullanılması için gerekli yalıtımların yapılmasını zorunlu hale getirir. TS 825 standardı, binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesine dairdir (İzocam, 2013).

Standartta binanın tavan, taban, dış duvar, pencere gibi bölümlerden gerçekleşen ısı kayıpları dikkate alınır. Bu şekilde yapılan hesaplamalarla binanın tasarım aşamasında kullanılan malzemeye göre enerji ihtiyacı hesabı yapılır. Uygun iklim bölgesine göre uygun malzeme seçimi açısından önemlidir.

TS 825 hesap metodu; binalarda kullanılacak olan yapı ve yalıtım malzemelerinin tasarım aşamasında standartta tanımlanan sınır şartlara uygun olacak şekilde seçilmesini, yerleştirilmesini ve kalınlığının belirlenmesini sağlar. Bu hesap metodunda temel prensip yapının net ısı ihtiyacının hesaplanmasıdır. Yapıdaki ısı kayıpları ve ısı kazançları birbirinden çıkarılarak yapının net ısı ihtiyacı belirlenir (Bektaş, 2018).

Çalışma kapsamında kullanılan hesap metodu, ısı kayıplarını taşınım, havalandırma ve iletim yoluyla tanımlarken ısı kazançları ise iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları olarak tanımlanmaktadır. Yapının ısıtma enerjisi ihtiyacını belirleyen faktörler; bina özellikleri, ısıtma sisteminin özellikleri, iç ve dış iklim şartları, iç ısı kazançları ve güneş enerjisi olarak tanımlanır.

- Bina özellikleri: Isıl kapasite, havalandırma, iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları
- İç iklim şartları: Binayı kullananların istediği sıcaklık değeri, binanın farklı bölümlerinde ve günün farklı zamanlarında bu sıcaklık değerlerindeki değişimler
- Dış iklim şartları: Hava sıcaklığı, rüzgâr yönü gibi şartlar
- İç ısı kazanç kaynakları: Isıtmaya katkısı olan iç kaynaklar, yemek pişirme, sıcak su elde etme gibi amaçlarla kullanılan ve ortama ısı yayan çeşitli cihazlar ve insanlar,

- Güneş enerjisi: Pencere ve cam cephe gibi bina elemanlarından ısıtılarak mekâna ulaşan güneş enerjisi miktarı (İzoder, 2023).

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı

TS 825'e göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı her ay için toplam ısı kayıplarından toplam ısı kazançlarının çıkarılmasıyla elde edilir.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay}$$

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t$$

Isı kayıplarının hesabı

Isı kayıpları yapıda farklı şekillerde gerçekleşir. Bunlar; iletim, taşınım ve havalandırma ile meydana gelmektedir (İzoder, 2023). Özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım (H_T) yoluyla meydana gelen ısı kaybı ile havalandırma (H_v) yoluyla meydana gelen ısı kaybının toplanması sonucu elde edilir (İzoder, 2023).

$$H = H_T + H_v$$

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; duvarlardan, tavandan, tabandan, pencerelerden, kapılardan ve ısı köprüleri sebebiyle oluşan ısı kayıplarının toplamıdır (İzoder, 2023).

$$H_T = \sum AU + I U_l$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds}$$

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı; doğal ve mekanik havalandırma yöntemine göre iki farklı hesap şekli bulunmaktadır. Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları $H_v = \rho \cdot c \cdot V^1$ formülü ile hesaplanır. Doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ise şu formül ile hesaplanır.

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^1 = \rho \cdot c \cdot n_h V_h = 0.33 n_h V_h$$

Isı kazançlarının hesabı

Isı kazançları, aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$) ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$) olmak üzere iki gruptan oluşur:

Aylık ortalama iç kazançlar; insanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları, sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları, yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı

kazançları, aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları ve binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançlarından oluşmaktadır (İzoder, 2023).

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları; cephelerde kullanılan şeffaf malzemelerden sağlanan doğrudan güneş ışınımının hesaplanmasını tarif etmektedir.

Kazanç kullanım faktörünün hesabı

Binaya giren iç kazançlar her zaman istenilen bir durum oluşturamayabilir. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda meydana gelebilir. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları istenilmeyen bir durumda bir yararlanma faktörü ile azaltılır bu şekilde kazanç kullanım faktörü hesaplanarak gerekli enerji miktarı belirlenebilir (İzoder, 2023).

4.4 Sahra Royal Sitesinde Kullanılan Geleneksel ve Akıllı Şeffaf Malzemeler

Hesaplama yapılırken malzeme seçiminde bazı parametrelere dikkat edilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucu geleneksel şeffaf malzemeler ve akıllı şeffaf malzemelerden kıyaslama yapılabilmesi için farklı u değerine sahip malzemeler seçilmiştir.

Geleneksel şeffaf malzemeler erişimi kolay, uygun maliyetli ve uygulama alanı geniş malzemelerdir. Akıllı şeffaf malzemeler ise inşaat sektöründe yeni yeni uygulama alanı bulmuş, fayda-zarar açısından kesin verilere ulaşılması bakımından araştırmaların devam ettiği malzemelerdir.

Yapıda düşük “u değerine” sahip malzemelerin kullanılması genellikle iyi bir ısı yalıtımı sağlamaktadır. Ancak bu her iklim bölgesi için ve her yapı için doğru sonuç vermemektedir. Bu doğrultuda tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilen Sahra Royal sitesinde mevcut kullanılan şeffaf malzeme ile geleneksel ve akıllı şeffaf malzemeler kıyaslanmıştır.

Geleneksel şeffaf (cam) malzemelerden en fazla kullanım alanına sahip düzcam, koruma gerektiren yapılarda kullanılabilen selectaglaze ikincil kaplama, guardian glass güneş kontrol camı, ısıcam c ve ısıcam k serisi kullanılmıştır.

Akıllı şeffaf (cam) malzemeler ise bilinirliği ve uygulama alanı az olduğu için sonraki çalışmalara da ışık tutması açısından “u değerine” ulaşılabilen bütün malzemeler çalışma kapsamında kıyaslanmıştır. Bu malzemeler fotokromik cam, termokromik cam, gazokromik cam, faz değiştiren malzeme, elektrokromik cam, askıya alınmış parçacık cam, fotovoltaiik cam ve guardian glass low-e camdan oluşmaktadır.

Daha iyi bir kıyaslama yapılabilmesi için birbirinden farklı “u değerine” sahip malzemelerin seçilmesine dikkat edilmiştir.

Tablo 4.2 TS 825’e hesap yöntemine göre hesaplanacak şeffaf malzeme çeşitleri

Cam Çeşitleri	Kalınlık (mm)	U değeri (W/m ² K)
Düzcam	3	5,8
Selectaglaze İkincil Kaplama	6	2,64
Guardian Glass (Güneş Kontrol Camı)	-	1,0
Isıcam C Serisi	4 + 16 + 4 (Hava)	2,7
Isıcam S Serisi	4 + 16 + 4 (Argon)	1,1
Isıcam K Serisi	4 + 16 + 4 (Argon)	0,6
Fotokromik Cam	-	2,85
Termokromik Cam	-	0,24
Gazokromik Cam	-	2,61
Faz Değiştiren Malzeme	-	0,48
Elektrokromik Cam	-	0,28
Askıya Alınmış Parçacık Cam	-	1,99
Fotovoltaiik Cam	-	1,0
Guardian Glass (Low-e Cam)	-	0,175

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu kısmında literatür taraması sonucu elde edilen yapıda pencerelerde kullanılan geleneksel cam, geleneksel plastik ve akıllı cam malzemelerin “u değerleri” TS 825 hesap programında hesaplanmıştır. Elde edilen sayısal bilgiler tablo halinde verilmiştir. Pencerelerin diğer özellikleri sayısallaştırılamayan veriler olarak sunulmuş, ısı yalıtımı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından incelenmiştir.

5.1 Sahra Royal Sitesi Mevcut Cam TS 825 Hesap Programında Hesaplanması

Alan çalışmasında kullanılan Sahra Royal sitesinde Isıcam S serisi kullanılmış olup hesaplamaları TS 825 hesap programında hesaplanmıştır. Hesaplanan diğer cam çeşitleri yapıda kullanılan mevcut cam ile kıyaslanmıştır.

Isıcam S serisi

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = 1,1 x 861,9 = 948,09 W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 2.603,52 \text{ W/K}$

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_v = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88 \text{ W/K}$

Özgül ısı kaybı

$H = 7.911,4 \text{ W/K}$

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.142.866.432 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Toplam güneş enerjisi kazancı = 371.229 W

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 39,51 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = 0,32 x $V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q^1 = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q^1 = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($39,51 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.144.207.792 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam güneş enerjisi kazancı} = 387.728 \text{ W}$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 39,55 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($39,55 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.111.605.097 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam güneş enerjisi kazancı} = 402.860 \text{ W}$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 38,43 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($38,43 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.111.021.120 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam güneş enerjisi kazancı} = 419.357 \text{ W}$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 38,41 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($38,41 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.131.634.259 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam güneş enerjisi kazancı} = 426.575 \text{ W}$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 39,12 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($39,12 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıdaki mevcut camın (u değeri: 1,1) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 948,09 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.9111,4 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 39,01 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların toplam ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Isıcam S Serisi TS 825 hesap programında hesaplanması

Isıcam S Serisi	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Güneş Enerjisi Kazancı (W)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	948,09	7.911,4	371.229	39,51
B Blok	948,09	7.911,4	387.728	39,55
C Blok	948,09	7.911,4	371.229	39,51
D Blok	948,09	7.911,4	402.860	38,43
E Blok	948,09	7.911,4	402.860	38,43
F Blok	948,09	7.911,4	419.357	38,41
G Blok	948,09	7.911,4	426.575	39,12
H Blok	948,09	7.911,4	426.575	39,12
Toplam	7.584,72	63.291,2	3.208.413	312,08

5.2 Geleneksel Şeffaf Malzemelerin TS 825 Hesap Programında Hesaplanması

Seçilen referans binada geleneksel cam malzeme çeşitleri kullanılarak pencere hariç diğer yapı elemanları sabit tutularak TS 825 hesap programına göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesaplanmıştır.

5.2.1 Düzcam

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = 5,8 x 861,9 = 4.999,02 W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 6.654,45$ W/K

Havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybı

$H_v = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$$H = 11.962,33 \text{ W/K}$$

A Blok ve C Blok

$$Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}} = 2.093.662.169 \text{ kJ}$$

$$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 72,37 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q > Q'$ ($72,37 > 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığında değildir. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygun değildir.

B Blok

$$Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}} = 2.095.742.767 \text{ kJ}$$

$$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 72,44 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q > Q'$ ($72,44 > 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığında değildir. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygun değildir.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 2.050.990.073 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 70,90 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q > Q'$ ($70,90 > 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığında değildir. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygun değildir.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 2.050.617.343 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 70,88 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q > Q'$ ($70,88 > 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığında değildir. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygun değildir.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 2.077.192.601 \text{ kJ}$$

$$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 71,80 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q > Q'$ ($71,80 > 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığında değildir. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygun değildir.

Yapıda düzcamın (u değeri: 5,8) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 4.999,02 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 11.962,33 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 71,68 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların toplam ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Düzcam TS 825 hesap programında hesaplanması

Düzcam	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	4.999,02	11.962,33	72,37
B Blok	4.999,02	11.962,33	72,44
C Blok	4.999,02	11.962,33	72,37
D Blok	4.999,02	11.962,33	70,90
E Blok	4.999,02	11.962,33	70,90
F Blok	4.999,02	11.962,33	70,88
G Blok	4.999,02	11.962,33	71,80
H Blok	4.999,02	11.962,33	71,80
Toplam	39.992,16	95.698,64	573,46
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.2.2 Isıcam K serisi

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = $U \text{ değeri} \times \text{Alan} = 0,6 \times 861,9 = 517,14 \text{ W/K}$

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 2.172,57 \text{ W/K}$

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h = 5.307,88 \text{ W/K}$

Özgül ısı kaybı

$H = 7.480,45 \text{ W/K}$

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.048.660.853 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 36,25 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($36,25 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.049.776.709 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 36,29 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($36,29 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.019.741.649 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 35,25 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($35,25 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.021.714.161 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 35,32 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($35,32 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.021.385.672 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 35,31 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($35,31 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda ısıcam k serisinin (u değeri: 0,6) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 517,14 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.480,45 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 35,65 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların toplam ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3 Isıcam K serisi TS 825 hesap programında hesaplanması

Isıcam K Serisi	Pencerelerden Gerçekleşen ısı Kaybı (W/K)	Özgül ısı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	517,14	7.480,45	36,25
B Blok	517,14	7.480,45	36,29
C Blok	517,14	7.480,45	36,25
D Blok	517,14	7.480,45	35,25
E Blok	517,14	7.480,45	35,25
F Blok	517,14	7.480,45	35,32
G Blok	517,14	7.480,45	35,31
H Blok	517,14	7.480,45	35,31
Toplam	4.137,12	59.843,6	285,23
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.2.3 Isıcam C serisi

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = $U \text{ değeri} \times \text{Alan} = 2,7 \times 861,9 = 2.327,13 \text{ W/K}$

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 3.982,56 \text{ W/K}$

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88 \text{ W/K}$

Özgül ısı kaybı

$H = 9.290,44 \text{ W/K}$

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.456.355.882 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 50,34 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($50,34 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.459.082.148 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 50,44 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($50,44 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.418.803.764 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,04 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,04 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.419.233.517 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,06 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,06 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.438.670.148 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,73 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,73 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda ısıcam c serisinin (u değeri: 2,7) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 2.327,13 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 9.290,44 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 49,72 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların toplam ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4 Isıcam C erisi TS 825 hesap programında hesaplanması

Isıcam C Serisi	Pencerelerden Gerçekleşen ısı Kaybı (W/K)	Özgül ısı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	2.327,13	9.290,44	50,34
B Blok	2.327,13	9.290,44	50,44
C Blok	2.327,13	9.290,44	50,34
D Blok	2.327,13	9.290,44	49,04
E Blok	2.327,13	9.290,44	49,04
F Blok	2.327,13	9.290,44	49,06
G Blok	2.327,13	9.290,44	49,73
H Blok	2.327,13	9.290,44	49,73
Toplam	18.617,04	74.323,52	397,72
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.2.4 Selectaglaze ikincil cam kaplama

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = $2,64 \times 861,9 = 2.275,42$ W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 3.930,85$ W/K

Havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybı

$H_V = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 9.238,73$ W/K

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.444.116.663$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,92$ kWh/m²

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($49,92 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.444.995.351$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,95$ kWh/m²

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($49,95 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.408.064.794 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 48,67 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($48,67 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.409.404.858 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 48,72 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($48,72 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.429.659.264 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,42 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,42 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda selectaglaze ikincil cam kaplama (u değeri: 2,64) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 2.275,42 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 9.238,73 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 49,34 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır.

Tablo 5.5 Selectaglaze ikincil cam kaplama TS 825 hesap programında hesaplanması

Selectaglaze İkincil Cam Kaplama	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	2.275,42	9.238,73	49,92
B Blok	2.275,42	9.238,73	49,95
C Blok	2.275,42	9.238,73	49,92
D Blok	2.275,42	9.238,73	48,67
E Blok	2.275,42	9.238,73	48,67
F Blok	2.275,42	9.238,73	48,72
G Blok	2.275,42	9.238,73	49,42
H Blok	2.275,42	9.238,73	49,42
Toplam	18.203,36	73.909,84	394,69
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.2.5 Guardian glass (Güneş kontrol camı)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = $1,0 \times 861,9 = 861,9$ W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 2.517,33$ W/K

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 7.825,21$ W/K

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.124.607.946$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 38,87$ kWh/m²

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($38,87 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.126.320.739$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 38,93$ kWh/m²

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($38,93 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.091.663.626 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 37,74 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($37,74 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.093.093.114 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 37,79 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($37,79 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.111.507.200 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 38,42 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($38,42 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda guardian glass (u değeri: 1,0) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 861,9 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.825,21 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 38,35 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların toplam ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.6'de verilmiştir.

Tablo 5.6 Guardian glass (Güneş kontrol camı) TS 825 hesap programında hesaplanması

Guardian Glass (Güneş Kontrol Camı)	Pencerelerden Gerçekleşen ısı Kaybı (W/K)	Özgül ısı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m²)
A Blok	861,9	7.825,21	38,87
B Blok	861,9	7.825,21	38,93
C Blok	861,9	7.825,21	38,87
D Blok	861,9	7.825,21	37,74
E Blok	861,9	7.825,21	37,74
F Blok	861,9	7.825,21	37,79
G Blok	861,9	7.825,21	38,42
H Blok	861,9	7.825,21	38,42
Toplam	6.895,2	62.601,68	306,78
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3 Akıllı Şeffaf Malzemelerin TS 825 Hesap Programında Hesaplanması

Seçilen referans binada akıllı cam malzeme çeşitleri kullanılarak pencere hariç diğer yapı elemanları sabit tutularak TS 825 hesap programına göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesaplanmıştır.

5.3.1 Fotokromik cam (PC)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = $2,85 \times 861,9 = 2.456,42 \text{ W/K}$

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 4.111,84 \text{ W/K}$

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88 \text{ W/K}$

Özgül ısı kaybı

$H = 9.419,72 \text{ W/K}$

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.484.239.395 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 51,31 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($51,31 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.490.564.911 \text{ kJ}$

$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 51,53 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($51,53 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.448.247.660 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 50,06 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($50,06 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.452.628.140 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 50,21 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($50,21 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 1.471.795.462 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 50,88 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($50,88 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda fotokromik cam (u değeri: 2,85) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 2.456,42 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 9.149,72 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 50,78 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7 Fotokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması

Fotokromik Cam (PC)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	2.456,42	9.149,72	51,31
B Blok	2.456,42	9.149,72	51,53
C Blok	2.456,42	9.149,72	51,31
D Blok	2.456,42	9.149,72	50,06
E Blok	2.456,42	9.149,72	50,06
F Blok	2.456,42	9.149,72	50,21
G Blok	2.456,42	9.149,72	50,88
H Blok	2.456,42	9.149,72	50,88
Toplam	19.651,36	73.197,76	406,24
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.2 Termokromik cam (TC)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = 0,24 x 861,9 = 206,86 W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 1.862,29$ W/K

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 7.170,17$ W/K

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 978.145.420$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

İstma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 33,81$ kWh/m²

Toplam hacim = 0,32 x $V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($33,81 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 969.306.067 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 33,51 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($33,51 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 951.802.146 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 32,90 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($32,90 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 940.475.510 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 32,51 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($32,51 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 958.385.971 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 33,13 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($33,13 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda termokromik cam (u değeri: 0,24) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 206,86 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.170,17 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 33,21

kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8 Termokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması

Termokromik Cam (TC)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	206,86	7.170,17	33,81
B Blok	206,86	7.170,17	33,51
C Blok	206,86	7.170,17	33,81
D Blok	206,86	7.170,17	32,90
E Blok	206,86	7.170,17	32,90
F Blok	206,86	7.170,17	32,51
G Blok	206,86	7.170,17	33,13
H Blok	206,86	7.170,17	33,13
Toplam	1.654,88	57.361,36	265,7
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.3 Gazokromik cam (GC)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = 2,61 x 861,9 = 2.249,56 W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 3.904,99$ W/K

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_v = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 9.212,87$ W/K

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.437.071.902$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,68$ kWh/m²

Toplam hacim = 0,32 x $V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,68 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.437.950.590 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

İstma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,71 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,71 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.402.850.504 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

İstma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 48,49 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($48,49 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.402.360.098 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 48,48 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($48,48 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.422.614.504 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 49,18 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($49,18 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda gazokromik cam (u değeri: 2,61) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 2.249,56 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 9.212,87 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 49,11 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.9’de verilmiştir.

Tablo 5.9 Gazokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması

Gazokromik Cam (GC)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	2.249,56	9.212,87	49,68
B Blok	2.249,56	9.212,87	49,71
C Blok	2.249,56	9.212,87	49,68
D Blok	2.249,56	9.212,87	48,49
E Blok	2.249,56	9.212,87	48,49
F Blok	2.249,56	9.212,87	48,48
G Blok	2.249,56	9.212,87	49,18
H Blok	2.249,56	9.212,87	49,18
Toplam	17.996,48	73.702,96	392,89
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.4 Faz değıştiren malzeme (PCM)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = 0,48 x 861,9 = 413,71 W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 2.069,14$ W/K

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 7.377,02$ W/K

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.023.588.196$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 35,38 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($35,38 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.027.649.860 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 35,52 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($35,52 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 995.587.597 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 34,41 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($34,41 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 998.825.264 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

İstma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 34,53 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($34,53 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 999.308.791 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

İstma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 34,54 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($34,54 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda faz değiştiren malzeme (u değeri: 0,48) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 413,71 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.377,02 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 34,84 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.10'de verilmiştir.

Tablo 5.10 Faz değiştiren malzeme TS 825 hesap programında hesaplanması

Faz Değiştiren Malzeme (PCM)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	413,71	7.377,02	35,38
B Blok	413,71	7.377,02	35,52
C Blok	413,71	7.377,02	35,38
D Blok	413,71	7.377,02	34,41
E Blok	413,71	7.377,02	34,41
F Blok	413,71	7.377,02	34,53
G Blok	413,71	7.377,02	34,54
H Blok	413,71	7.377,02	34,54
Toplam	3.309,68	59.016,16	278,71
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.5 Elektrokromik cam (EC)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = 0,28 x 861,9 = 241,33 W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 1.896,76$ W/K

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_v = 0.33 n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 7.204,64$ W/K

A Blok ve C Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 987.535.710 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 34,14 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($34,14 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 976.411.089 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 33,75 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($33,75 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 959.266.062 \text{ kJ}$$

$$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 33,16 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($33,16 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}} = 946.150.007 \text{ kJ}$$

$$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 32,71 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($32,71 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}} = 965.272.228 \text{ kJ}$$

$$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 33,37 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($33,37 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda elektrokromik cam (u değeri: 0,28) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 241,33 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.204,64 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 33,48 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11 Elektrokromik cam TS 825 hesap programında hesaplanması

Elektrokromik Cam (EC)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	241,33	7.204,64	34,14
B Blok	241,33	7.204,64	33,75
C Blok	241,33	7.204,64	34,14
D Blok	241,33	7.204,64	33,16
E Blok	241,33	7.204,64	33,16
F Blok	241,33	7.204,64	32,71
G Blok	241,33	7.204,64	33,37
H Blok	241,33	7.204,64	33,37
Toplam	1.930,64	57.637,12	267,8
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.6 Askıya alınmış parçacık cam (SPD)

$$\text{Pencereden gerçekleşen ısı kaybı} = \text{değeri} \times \text{Alan} = 1,99 \times 861,9 = 1.715,18 \text{ W/K}$$

$$\text{Toplam ısı kaybı} = \Sigma AU = 3.370,61 \text{ W/K}$$

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$$H_V = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h = 5.307,88 \text{ W/K}$$

Özgül ısı kaybı

$$H = 8.678,49 \text{ W/K}$$

A Blok ve C Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.316.153.708 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 45,50 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($45,50 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.315.800.159 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 45,48 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($45,48 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.277.878.681 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 44,17 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($44,17 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.280.824.489 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 44,27 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($44,27 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.304.963.266 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 45,11 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($45,11 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda askıya alınmış parçacık cam (u değeri: 1,99) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 1.715,18 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 8.678,49 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 44,91 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır.

Tablo 5.12 Askıya alınmış parçacık cam TS 825 hesap programında hesaplanması

Askıya Alınmış Parçacık Cam (SPD)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	1.715,18	8.678,49	45,50
B Blok	1.715,18	8.678,49	45,48
C Blok	1.715,18	8.678,49	45,50
D Blok	1.715,18	8.678,49	44,17
E Blok	1.715,18	8.678,49	44,17
F Blok	1.715,18	8.678,49	44,27
G Blok	1.715,18	8.678,49	45,11
H Blok	1.715,18	8.678,49	45,11
Toplam	13.721,44	69.427,92	359,31
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.7 Fotovoltaik cam (PV)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = $U \text{ değeri} \times \text{Alan} = 1,0 \times 861,9 = 861,9 \text{ W/K}$

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 2.517,33 \text{ W/K}$

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h = 5.307,88 \text{ W/K}$

Özgül ısı kaybı

$H = 7.825,21 \text{ W/K}$

A Blok ve C Blok

$Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}} = 1.124.607.946 \text{ kJ}$

$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 38,87 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($38,87 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}} = 1.126.320.739 \text{ kJ}$

$A_{\text{toplam}} = 6.368,98 \text{ m}^2$

$V_{\text{brüt}} = 25.132 \text{ m}^3$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{\text{yıl}} / A_n = 38,93 \text{ kWh/m}^2$

Toplam hacim = $0,32 \times V_{\text{brüt}} = 8.042,24 \text{ m}^2$

$A_{\text{top}} / V_{\text{brüt}} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($38,93 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.091.663.626 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 37,74 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($37,74 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.093.093.114 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 37,79 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($37,79 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 1.111.507.200 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 38,42 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($38,42 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

Yapıda fotovoltaik cam (u değeri: 1,0) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 861,9 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.825,21 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 38,35 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.13'de verilmiştir.

Tablo 5.13 Fotovoltaik cam TS 825 hesap programında hesaplanması

Fotovoltaik Cam (PV)	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	861,9	7.825,21	38,87
B Blok	861,9	7.825,21	38,93
C Blok	861,9	7.825,21	38,87
D Blok	861,9	7.825,21	37,74
E Blok	861,9	7.825,21	37,74
F Blok	861,9	7.825,21	37,79
G Blok	861,9	7.825,21	38,42
H Blok	861,9	7.825,21	38,42
Toplam	6.895,2	62.601,68	306,78
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08

5.3.8 Guardian glass (Low-e cam)

Pencereden gerçekleşen ısı kaybı = U değeri x Alan = $0,175 \times 861,9 = 150,83$ W/K

Toplam ısı kaybı = $\Sigma AU = 1.806,26$ W/K

Havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı

$H_V = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h = 5.307,88$ W/K

Özgül ısı kaybı

$H = 7.114,14$ W/K

A Blok ve C Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 966.204.198$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 33,40$ kWh/m²

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($33,40 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

B Blok

$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 956.439.859$ kJ

$A_{toplam} = 6.368,98$ m²

$V_{brüt} = 25.132$ m³

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$Q = Q_{yıl} / A_n = 33,06$ kWh/m²

Toplam hacim = $0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72$ kWh/m² bulunur.

$Q < Q'$ ($33,06 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

D Blok ve E Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 938.634.390 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 32,45 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($32,45 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

F Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 927.470.371 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 32,06 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^3$$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($32,06 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

G Blok ve H Blok

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 945.376.684 \text{ kJ}$$

$$A_{toplam} = 6.368,98 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 25.132 \text{ m}^3$$

Istma enerjisi ihtiyacı (yıllık);

$$Q = Q_{yıl} / A_n = 32,68 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Toplam hacim} = 0,32 \times V_{brüt} = 8.042,24 \text{ m}^2$$

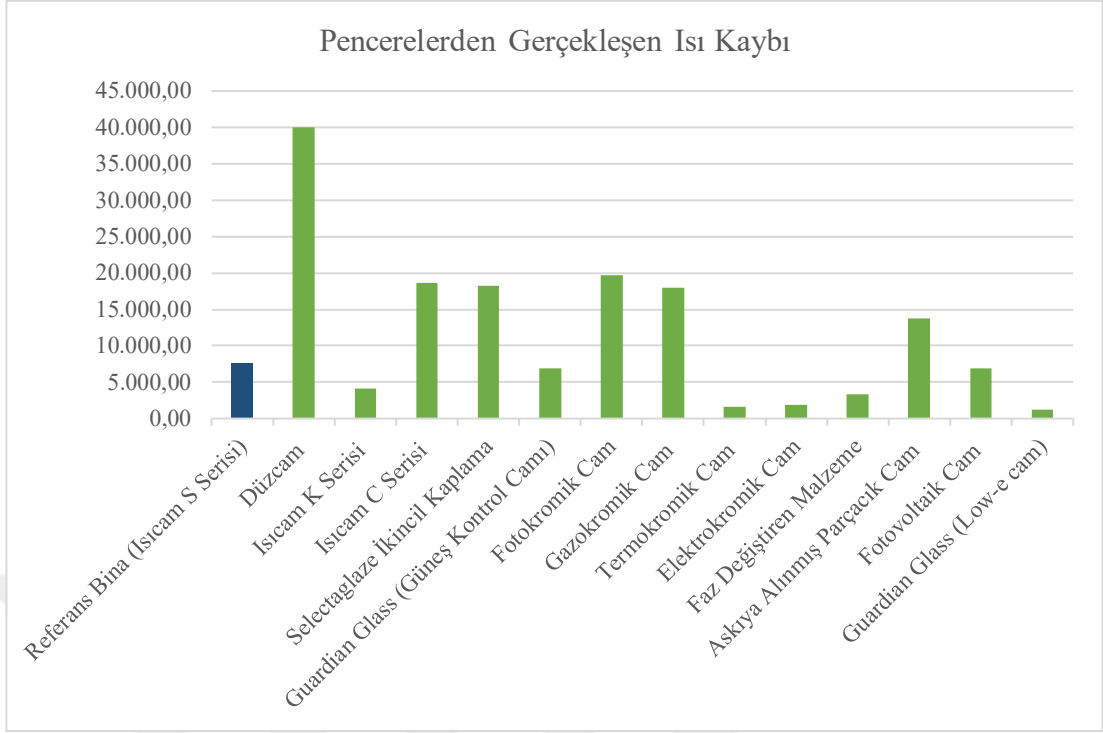
$A_{top} / V_{brüt} = 0,25$ oranı hesap programında bina için olması gereken ısı kaybı formülünde ($Q' = 76,3 \times A/V + 36,4$) yerine konulduğunda $Q' = 55,72 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.

$Q < Q'$ ($32,68 < 55,72$) olduğundan ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken uygun değer aralığındadır. Yapılan hesap metoduna göre bu malzemenin kullanımı standartlara uygundur.

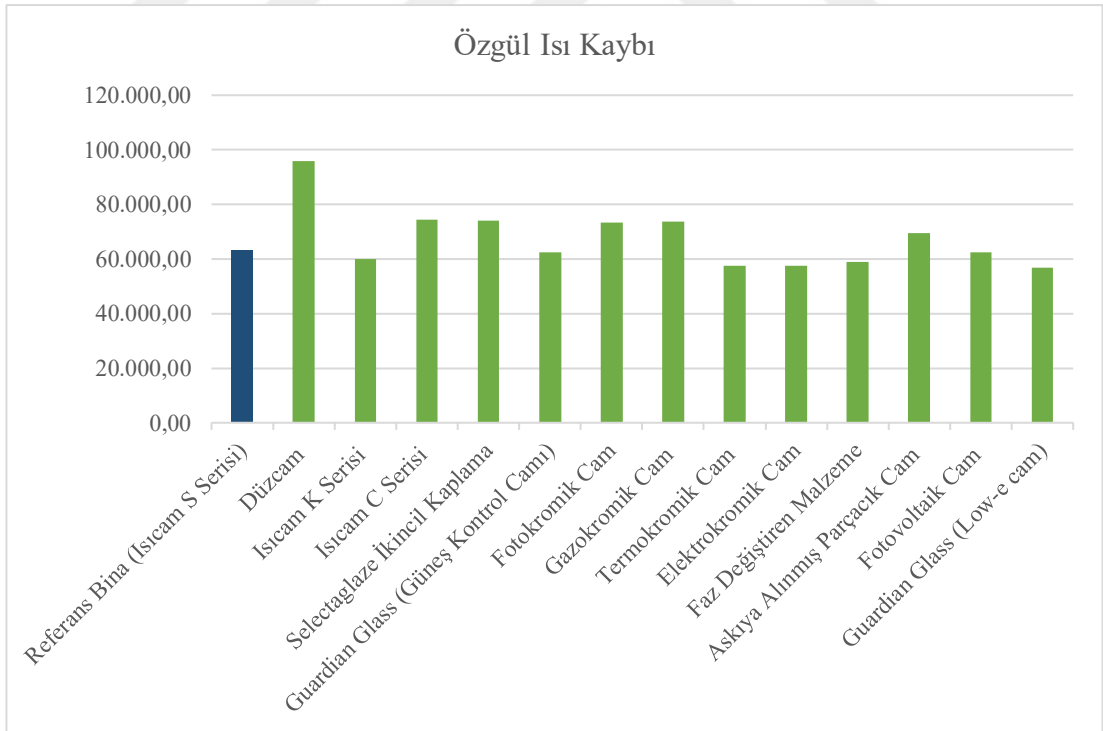
Yapıda guardian glass (u değeri: 0,175) kullanılması ile yapılan hesaplamalara göre her blokta pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı 150,83 W/K, yapıdan gerçekleşen özgül ısı kaybı 7.114,14 W/K ve bütün blok verilerine ayrı ayrı bakıldığında ortalama 32,77 kWh/m² yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı oluşmaktadır. Bütün blokların ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplamaları Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14 Guardian glass (Low-e cam) TS 825 hesap programında hesaplanması

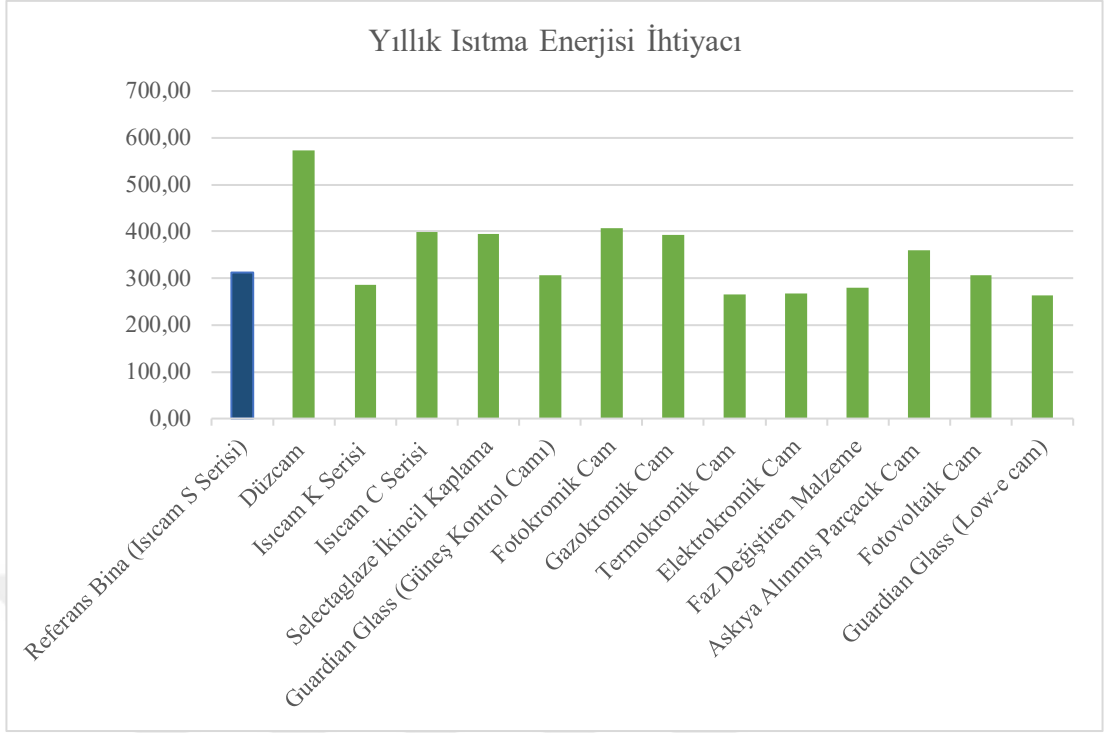
Guardian Glass Low-e cam	Pencerelerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)	Özgül Isı Kaybı (W/K)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh/m ²)
A Blok	150,83	7.114,14	33,40
B Blok	150,83	7.114,14	33,06
C Blok	150,83	7.114,14	33,40
D Blok	150,83	7.114,14	32,45
E Blok	150,83	7.114,14	32,45
F Blok	150,83	7.114,14	32,06
G Blok	150,83	7.114,14	32,68
H Blok	150,83	7.114,14	32,68
Toplam	1.206,64	56.913,12	262,18
Referans Bina	7.584,72	63.291,2	312,08



Şekil 5.1 Pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı referans bina mevcut cam malzeme ile diğer cam malzemelerin kıyaslanması



Şekil 5.2 Özgül ısı kaybı referans bina mevcut cam malzeme ile diğer cam malzemelerin kıyaslanması



Şekil 5.3 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı referans bina mevcut cam malzeme ile diğer cam malzemelerin kıyaslanması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya nüfusu arttıkça ve yaşam şekli teknoloji ile birlikte değiştikçe bu değişimlerin toplum üzerinde olumlu ve olumsuz bazı etkileri olmaktadır. Bu bağlamda şehirler ve yaşanan mekânlar; mimari, sosyal ve ekonomik boyutlarda gelişim göstermiştir. Çalışma kapsamında değişen mimari yapının buna bağlı olarak mimari yapılarda kullanılan malzemelerin değişimleri incelenmiştir.

Tez çalışmasında cephelerde kullanılan şeffaf malzeme çeşitleri incelenmiştir. Pencerelede ve yapı cephelerinde kullanılan bu malzemeler uygun ısı yalıtım değerleri ile ısı yalıtımı sağlayarak ortamın ısıtma, soğutma ve havalandırma için harcanan enerji miktarını kontrol edebilir.

Yapıda pencereler; güneş ısı kazancı, gün ışığı, doğal havalandırma, görsel konfor, ısı konfor ve mahremiyet kontrolü sağlar. Bu sebeple yapının ısı kazançları ve ısı kayıplarının önemli bir miktarı pencereler yoluyla gerçekleşir.

Son yıllarda yapılarda ve pencerelerde kullanılan ısı yalıtımı sağlayan geleneksel malzemelerin yanı sıra akıllı malzemeler araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bu malzemeler daha düşük “u değeri” ile yapıya iyi bir ısı yalıtımı sağlamakta, kendi enerjisini kendi üretmekte, HVAC yüklerini azaltmakta, kullanıcı için termal ve görsel konfor sağlamaktadır.

Aktif akıllı cam malzeme sistemleri; güneş ışıınımı, gölgeleme, havalandırma, enerji üretim ve tüketimini kontrol edebilme özelliğine sahip oldukları için gün geçtikçe bilinirliği ve kullanımı artmaktadır. Bu sistemler farklı iklim koşullarına uyum sağlayarak yapının enerji performansını iyileştirmektedirler.

Araştırma kapsamında geleneksel cam malzemeler ve akıllı cam malzemelerin cephelerde kullanımı ile yapının ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kullanılan her malzemenin kendi içinde avantajları ve dezavantajları vardır.

Literatür taraması sonucu elde edilen ve incelenen geleneksel cam malzemeler ve akıllı cam malzemeler ısı iletkenlik katsayısı (u değeri) ile TS 825 Hesap Programında karşılaştırılmıştır. Seçilen referans binada pencerede kullanılan cam malzemesi hariç diğer etkenler sabit tutularak yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve pencerelerden yaşanan ısı kaybı, havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ve toplam özgül ısı kaybı hesaplanmıştır. İncelenen geleneksel ve akıllı şeffaf malzemeler düzcamlar haricinde TS 825 standartlarına uygun bir ısı yalıtımı sağlamaktadır.

Geleneksel şeffaf (cam) malzemeler; ulaşımı kolay, akıllı cam malzemelere göre ucuz maliyetli, bilinirliği ve uygulaması daha fazla olan malzemelerdir. Çalışma kapsamında geleneksel şeffaf malzemelerden; düzcamlar, ısıcam çeşitleri, guardian glass (güneş kontrol camı) ve selectaglaze ikincil cam kaplama incelenen malzemelerdir.

Akıllı cam malzemeler ise inşaat sektöründe yeni yeni kullanılmaya başlanmış olup bu malzemeler hakkında doğru bilgiye ulaşabilmek için araştırmalar devam etmektedir. Akıllı cam teknolojisi gün geçtikçe gelişmekte ve kullanılan malzeme sayısı artmaktadır. Fotokromik, termokromik, gazokromik, faz değiştiren malzeme, elektrokromik, askıya alınmış parçacık cam ve fotovoltaiik cam çalışma kapsamında incelenen malzemelerdir.

Akıllı cam çeşitlerinden en çok bilinirliğe sahip olan ve yapılarda daha fazla kullanılan malzeme elektrokromik cam (EC) malzemesidir. Kullanıldığı yapının enerji tüketimini azaltması, düşük " u değeri" ile ısı yalıtımı sağlaması, HVAC elektrik tüketimini azaltması yapının sürdürülebilir bir yapı olarak ifade edilmesi açısından katkı sağlar.

Fotokromik, termokromik malzemeler pasif akıllı malzeme sistemleri olarak adlandırılmakta olup bu şeffaf malzemeler kendi kimyasal yapısı gereği renk değiştirmektedir. Dışarıdan bir uyarıcı olmadan kendiliğinden harekete geçmektedirler. Dışarıdan sisteme müdahale edilememesi bazen istenilmeyen durumlar oluşturabilir.

Faz değiştiren malzeme (PCM)'ler ise düşük u değerine sahiptirler. Bu özellikleri her iklim bölgesi için uyum göstermemektedir. Çok soğuk ve çok sıcak iklimlerde malzemenin katı veya sıvı halde kalması, hal değişimini gerçekleştirememesi

dezavantaj oluşturmaktadır. Gazokromik ve askıya alınmış parçacık camlar da kullanıldığı yapıda ısı yalıtımı sağlamakta yapının enerji tüketimini azaltmaktadır.

Fotovoltaik camlar (PV) ise düşük “u değeri” ile yapıda ısı yalıtımı ve enerji tüketimini azaltırken aynı zamanda yapısındaki fotovoltaik hücreler sayesinde elektrik enerjisi üretmektedir. Yeni bir teknoloji olan fotovoltaik cam yapıda kullanımı ile enerji tasarrufu sağlarken aynı zamanda enerji üretmesi ile daha avantajlı bir teknolojidir.

Yapının enerji tüketimini azaltmakla birlikte aynı zamanda yapının ihtiyacı olan enerjiyi sağlaması bu malzemenin özellikle tamamiyle şeffaf cephelerden oluşan yapılarda kullanımı daha fazla yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Yapıda kullanılan şeffaf malzeme yüzeyi arttıkça enerji üretimi miktarı da aynı oranda artmaktadır.

Çalışma kapsamında şeffaf malzemeler 3. İklim bölgesi olan Elazığ ilinde Sahra Royal sitesinde incelenmiştir. Yapı TS 825 hesap programında ısı yalıtımı açısından kıyaslanırken yapıda kullanılan malzemeler, bulunduğu iklim bölgesi ve yapının araziye konumlanışı gibi parametreler etkili olmaktadır.

Yapı 8 bloktan oluşmaktadır ve kıyaslama yapılırken her blok kendi içinde araziye konumlanışına göre her cephede bulunan şeffaf malzeme miktarı m^2 olarak hesaplanmış ve TS 825 hesap programı sistemine girilmiştir. Hesaplama yapılırken kullanılan şeffaf malzeme hariç diğer parametreler sabit tutulmuştur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda referans binada kullanılan ısıcam s serisi geleneksel ve akıllı şeffaf (cam) malzemeler ile kıyaslanmıştır. Bu malzemeler pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı, özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmiştir.

Geleneksel şeffaf malzemeler; referans bina ile kıyaslandığında ısıcam k serisi ve guardian glass (güneş kontrol camı) yapıda bulunan mevcut camdan (ısıcam s serisi) daha iyi bir ısı yalıtımı sağlamaktadır. Daha düşük “u değerine” sahip olan bu malzemeler pencerelerden gerçekleşen ısı kaybını ve yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltmaktadır.

Diğer geleneksel şeffaf malzemeler (düzcam, ısıcam c serisi, selectaglaze ikincil cam kaplama) ise mevcut malzemeden daha kötü bir performans gösterdiği için bu iklim bölgesi için önerilmemektedir.

Akıllı şeffaf malzemeler; referans bina ile kıyaslandığında ise termokromik cam, elektrokromik cam, faz değiştiren malzeme, fotovoltaiik cam ve guardian glass low-e cam mevcut cama (ısıcam s serisi) kıyasla pencerelerden gerçekleşen ısı kaybını yaklaşık % 15 oranında azaltmakta, aynı şekilde yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürmektedir. Gazokromik cam, fotokromik cam ve askıya alınmış parçacık cam ise mevcut cam malzemeden daha kötü bir ısı yalıtımı sağlamaktadır.

Ayrıca elde edilen bulgulara göre kullanılan şeffaf (cam) malzemenin binanın kuzey, güney, doğu, batı yönlerine göre konumlanışına göre farklı bloklarda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında farklılıklar olduğu görülmüştür. Örneğin güney ve güney batı cephesinde cephe başına düşen şeffaf (cam) malzeme miktarı arttığı için D, E ve F bloklarında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı diğer bloklara göre en düşük miktardadır. Bu kapsamda farklı iklim bölgeleri için doğru “u değerine” sahip malzeme seçimi ile birlikte güneye bakan cephelerde şeffaf malzeme miktarının artması yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltması bakımından önemlidir.

G ve H bloklarında ise batı cephesinde şeffaf (cam) malzeme miktarı fazla olduğu yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı D, E ve F bloklarına göre daha fazladır. Kuzey cephesinde şeffaf (cam) malzeme miktarı fazla olan A,B ve C bloklarında ise yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı diğer bloklara göre en fazladır. Bu bağlamda kuzey cephelerde şeffaf malzeme miktarının artması yıllık ısıtma enerjisi artırması bakımından önerilmemektedir.

Yapıda ısı kayıplarına neden olan alanlarda doğru malzeme seçimi enerji kayıplarının önüne geçmektedir. TS 825 hesap programına göre yapılarda düşük u değerine (ısı iletkenlik katsayısı) sahip olan malzeme kullanıldığında pencerelerden gerçekleşen ısı kaybı ve buna bağlı olarak toplam ısı kaybı azalmaktadır. İdeal ışık geçirgenliğine sahip olan malzemeler havalandırma ihtiyacını azaltarak da enerji tüketimini azaltmaktadır.

Literatür taraması sonucu birçok malzemenin güncel “u değeri” bulunamadığı için Türkiye’de ve yurtdışında en çok şeffaf malzeme üreten firmaların deneysel verileri kullanılmıştır. Bu nedenle çoğunlukla kullanılan firma ürünlerinin farklı bölgesel koşullara göre deneysel olarak incelenmesinde yarar vardır. Tam olarak gerçek veriler ancak bu şekilde elde edilebilir.

Çalışma kapsamında incelenen firma ürünü malzemeler en çok ürün çeşitliliğine ve deneysel veriye sahip olması sebebiyle seçilmiştir. Bütün verileri almak mümkün olmadığından seçilen malzemeler arasında kıyaslama yapılabilmesi için en düşük, orta ve en yüksek “u değerine” sahip malzemeler seçilmiştir.

Genelde “u değeri” yüksek olan camlar erişimi kolay, ucuz fakat yalıtım değeri düşük olan camlardır. Orta “u değerine” sahip camlar, biraz maliyet artışı ile erişilebilir camlardır. “u değeri” düşük olan camlar ise erişimi zor, pahalı ancak yalıtım değeri duvardan bile fazla olan camlardır.

Pencerelerde kullanılan malzemenin ısı iletkenlik katsayısı düştükçe daha iyi bir ısı yalıtımı sağlamaktadır. Kullanılan malzemelerin iyi bir ısı yalıtımı sağlamasının yanı sıra aynı zamanda güneş ışığı geçirgenliği, UV ışınlarına karşı koruma, ortamda ısıl konfor oluşturma özelliklerine sahip olması enerji tüketim miktarını azaltırken kullanıcıya sağlıklı bir ortam oluşmasını da sağlamaktadır.

Süreç içerisinde teknoloji geliştikçe bu malzemelerin erişilebilirliğinin artacağı düşünülmektedir. Malzeme seçiminde bir yandan erişilebilirlik düşünülürken diğer yandan ilerideki gelişmelere ön ayak olmak istenmiştir.

- ✓ İncelenen akıllı malzemeler yapıda sadece pencerelerde değil binanın diğer bölümlerinde de kullanılarak bütüncül bir ısı yalıtımı sağlanabilir. Örneğin fotovoltaiik camın pencerede kullanılması ile birlikte fotovoltaiik hücre içeren fotovoltaiik panellerin çatıda, cephe elemanı olarak duvarlarda kullanılması ile maksimum fayda elde edilir.

- ✓ Geleneksel ve akıllı şeffaf (cam) malzemelerin TS 825 hesap programında kıyaslanması sonucu elde edilen bulgulara yapılarda enerji tasarrufu sağlayabilmek için “u değeri” düşük bir malzeme kullanılmalıdır. Yüksek “u değerine” sahip geleneksel şeffaf malzemelere kıyasla düşük akıllı şeffaf malzemelerin kullanımı enerji tüketimini azaltarak daha çok enerji tasarrufu sağlayabilir.
- ✓ Yüksek “u değeri” sahip akıllı malzeme yerine ise yapılarda düşük “u değeri” sahip geleneksel şeffaf malzeme kullanılabilir. Yapılarda malzeme seçimi yapılırken; düşük u değeri, iklime uygun malzeme, ulaşılabilirlik, maliyet açısından bütüncül bir yaklaşımla bakılmalı ve avantaj- dezavantaj açısından en uygun malzeme seçimine dikkat edilmelidir.
- ✓ Çalışma kapsamında sadece cephelerde kullanılan şeffaf (cam) malzemelerin “u değerleri” TS 825 hesap programında kıyaslanmıştır. Şeffaf malzemelerin yanı sıra doğru ısı yalıtımı sağlayabilmek, enerjiyi etkin kullanmak ve enerji tasarrufu sağlayabilmek için yapılarda kullanılan diğer yapı malzemelerinde u değerlerine dikkat edilip iklim bölgesine uygun malzeme seçilmelidir.
- ✓ Yapının bulunduğu iklim bölgesine uygun “u değeri” sahip malzemelerin kullanımının artması ile inşaat sektöründe enerji tüketim miktarı azalmakta ve daha çok enerji tasarrufu oluşmaktadır.
- ✓ Bütün bu bilgiler doğrultusunda ısı iletkenliği (u değeri) ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı paralel olarak artmaktadır. Bu nedenle en düşük “u değeri” sahip olan pencerelerin yaygınlaşacağı sürece kadar en azından orta “u değeri” sahip pencerelerin kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, S. Y., & Al-Alwan, A. S. H. (2019). Smart material systems and adaptiveness in architecture
- Aburas, M., vd., (2019). Thermochromic smart window technologies for building application: A review
- Addington, D.M., & Schodek, D.L. (2005). Smart Materials and New Technologies
- Agarwal, S. & Gupta, K. R. (2011). Plastics in Buildings and Construction, 2011, Pages 553-564
- Ajabli, H., vd., (2023). Review on Eco-friendly insulation material used for indoor comfort in building
- Archdaily, (2023, Kasım 4). <https://www.archdaily.com/935777/cube-berlin-smart-office-building-3xn>
- Arkippedi, (2023, Eylül 28). <https://www.arkippedi.com/lamine-cam/>
- Aydın, D. & Mıhlayanlar, E. (2017). Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin İncelenmesi: Megaron 2017;12(2):213–227
- Ayçam, İ. & Utkuğu, S. G. (1999). Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi Ve Enerji Etkin Pencere Seçimi
- Baetens, R., vd., (2010). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review
- Bektaş, V. (2018). Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması
- Berardi, U., Khaled, K. (2023). Architectural Glass Solar and Thermal Control Coating Technologies
- BM Çevre Programı, (2023, Eylül 17). <https://www.ctc-n.org/technologies/building-envelope-thermal-insulation>
- BP Energy Outlook, (2017). Energy Outlook 2017 Edition, London, United Kingdom, 2017
- BP Energy Outlook, (2022). Energy Outlook 2022 Edition, London, United Kingdom, 2022
- Camyapı, (2023, Eylül 28). <https://camyapi.com.tr/tr/Temperli-Cam-Genel>

- Cuce, M. P., vd., (2019). Enerji Verimli Binalar İçin Sürdürülebilir Ve Çevre Dostu Pencere Ve Cam Teknolojileri: Son Gelişmeler Ve Uygulamalar
- Çakmak, Ö. & Kaya, M. (2017). Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2023, Ekim 4).
- Dardouri, S., vd., (2023). Energy performance based optimization of building envelope containing PCM combined with insulation considering various configurations
- Değirmencioğlu Mimarlık, (2023).
- Dilmaç, Ş. & Kesen, N. (2003). A comparison of new Turkish thermal insulation standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German regulation
- Dino, G. İ. (2017). Binalarda Güneş Kontrol Yöntemlerinin Optimizasyon Temelli Performans Değerlendirilmesi; GU J Sci, Part C, 5(3): 71-87
- Ease Educators, (2023, Ekim 4). <https://ease-educators.com/anna-papageorgiou-stem-center-where-steam-and-environmental-education-meet/>
- Erkol, E., & Sayın, S. (2021). Akıllı Cam Cephe Sistemleri ve Teknolojileri; Online Journal of Art and Design volume 9, issue 1, January 2021
- Euroglas, (2023, Eylül 28). <https://www.euroglas.com/en/service/data-tables-tender-documents/float-glass#lightbox-headerImage>
- Fawaier, M., & Bokor, B. (2022). Dynamic insulation systems of building envelopes: A review
- Feng, W., vd., (2016). Gasochromic smart window: optical and thermal properties, energy simulation and feasibility analysis
- Glassx, (2023, Ekim 3). <https://www.glassx.ch/>
- Ghosh, A., vd., (2015). Measured overall heat transfer coefficient of a suspended particle device switchable glazing
- Greenliteglass, (2023, Ekim 3). <https://greenliteglass.com/wp-content/uploads/2019/05/>
- Guardianglass, (2023, Ekim 1). <https://www.guardianglass.com/tr/tr/our-glass/solar-control-glass>

- Guardianglass, (2023, Kasım 4). <https://www.guardianglass.com/us/en/our-glass/sunguard-hp-neutral-78-65>
- Güner, B. (2018). Türkiye’de Birincil Enerji Tüketimi Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Dinamik Bir Analiz
- Hemaida, A., vd., (2020). Evaluation of thermal performance for a smart switchable adaptive polymer dispersed liquid crystal (PDLC) glazing
- Hodge, S. (2021). Mimarlığın Kısa Öyküsü. (s.50): Hep Kitap Yayınları
- Inoue, T., vd., (2008). Thermotropic glass with active dimming control for solar shading and daylighting
- Isıcam, (2023, Ekim 2). <https://www.isicam.com.tr/tr/urunler/isicam-sistemleri-c-serisi>
- İzocam, (2013). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları
- İzoder, (2023, Ekim 9). https://www.izoder.org.tr/hesap-makinesi/ts_825_yardim.pdf
- Jelle, P. B. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities
- Ji, Y., vd., (2023). Reversible thermochromic transparent bamboo for dynamically adaptive smart windows
- Kabakçı, K. O. (2019). Binalarda Enerji Verimliliği; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://www.dunyaenerji.org.tr/wpcontent/uploads/2019/11/21112019Sunum.pdf> (Erişim Tarihi: 17.09.2023)
- Kaempfen, (2023, Ekim 3). <https://www.kaempfen.com/projekte/neubauten/marche-international-2007#anker>
- Kamalisarvestani, M., vd., (2013). Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows
- Koç, E., & Kaya, K. 2015. “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 36-4
- Konuklu, Y., & Paksoy, H.Ö. (2011). Faz Değiştiren Maddeler İle Binalarda Enerji Verimliliği
- Kunwar, N. vd., (2023). Performance assessment of active insulation systems in residential buildings for energy savings and peak demand reduction
- Kutlu, R. (2018). Çevresel Faktörlerin Mekan Kalitesi Ve İnsan Sağlığına Etkileri

- Leftheriotis, G., & Yianoulis, P. (2022). 3.10 - Glazings and Coatings; Comprehensive Renewable Energy (Second Edition); Volume 3, 2022, Pages (360-401)
- Mesloub, A., vd., (2022). Polymer-Dispersed Liquid Crystal (PDLC) smart switchable windows for less-energy hungry buildings and visual comfort in hot desert climate
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2023). <https://mgm.gov.tr>
- Ming, Y., vd., (2022). Optical evaluation of a smart transparent insulation material for window application
- Mirrahimi, S., vd., (2016). The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate
- Mirzaei, A., vd., (2019). Gasochromic WO₃ Nanostructures for the Detection of Hydrogen Gas: An Overview
- MMO, (2024). https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/727e44224c40ad9_ek.pdf
- Mustafa, N. M., vd., (2023). Smart window technology and its potential for net-zero buildings: A review
- Nicoletti, F., vd., (2022). Analysis of the energy and visual performance of a building with photochromic windows for a location in southern Italy
- OnyxSolar, (2023, Ekim 4). <https://onyxsolar.com/product-services/amorphous-pv-glass>; <https://onyxsolar.com/product-services/crystalline-pv-glass>
- Özalp, C., vd., (2019). Evaluation of a sample building with different type building elements in an energetic and environmental perspective
- Özlercam, (2023, Eylül 30). <https://www.ozlercam.com.tr/renklicam/#:~:text=Renkli%20cam%20elde%20e%20debilmek%20i%C5%9Fin,g%C3%BCm%C3%BC%C5%9F%20tabakayla%20kaplanarak%20haz%C4%B1rlanan%20camlard%C4%B1r.>
- Qader, N. İ., vd., (2019). A Review of Smart Materials: Researches and Applications; El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 6, No: 3, 2019 (755-788)
- Qahtan, M. A. (2023). Enhancing building thermal performance in Saudi's extreme climates through reversible smart insulated window glazing: Laboratory-scale experiments
- Perker, Z.S., & Akkuş, K. (2016). Optik Özelliği ve Rengi Değişebilen Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanım Olanakları, Yapı Dergisi. (s. 74-79)
- Ritter, A. (2007). Smart Materials in Achitecture

- Ruggiero, S., vd., (2022). Energy saving through building automation systems: Experimental and numerical study of a smart glass with liquid crystal and its control logics in summertime
- Sageglass, (2023, Ekim 4). https://www.sageglass.com/sites/default/files/2022-05/mkt-043_performance_and_acoustical_data_flyer.pdf
- Sarcam, (2023, Eylül 30). <https://www.sar-cam.com.tr/cam-cesitleri/emaye-cam>
- Schwarz Architekten (2023, Ekim 3). <https://www.schwarz-architekten.com/project/mehrgenerationenwohnen-west-albertinum/>
- Selectaglaze, (2023, Ekim 1). <https://www.selectaglaze.co.uk/home>
- Seyhancam, (2023, Eylül 28). <http://www.seyhancam.com.tr/tr/?i=pages&id=137>
- Smartglass, (2023, Ekim 4). <https://www.smartglasscountry.com/smart-glass-home>
- Stamhuis, N. (2015). Design with smart materials: The development of a tactile interface platform to control light and sound in domestic environments
- Studio Mapbox, (2024, Şubat 15). <https://studio.mapbox.com/styles/mervetugal/cj154qtzd002q2rqs68gfsam9/edit/#14.88/38.6821/39.17508/-36.3>
- Sun, Y., vd., (2021). Energy and daylight performance of a smart window: Window integrated with thermotropic parallel slat-transparent insulation material
- Sun, Y., vd., (2021). Numerical investigation of a smart window system with thermotropic Parallel Slat Transparent Insulation Material for building energy conservation and daylight autonomy
- Superfuture, (2023, Ekim 4). <https://superfuture.com/2018/04/new-shops/miami-balenciaga-store-opening/>
- Suntuitiveglass, (2023, Ekim 3). <https://suntuitiveglass.com/dynamic-glass-performance/>
- Swagroup, (2023, Kasım 4). <https://www.swagroup.com/projects/ambleside-mixed-use-development/>
- Tällberg, R., vd., (2019). Comparison of the energy saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state-of-the-art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic technologies

- Thomsaglass, (2023, Ekim 2). <https://thomsaglass.com/product/Dynaclime-Solar-film/24>
- U.S. Department of Energy – Office of Energy Efficiency & Renewable Energy: Opaque Envelopes: Pathway to Building Energy Efficiency and Demand Flexibility
- Ünver, E. (2013). Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerin Mimaride Kullanımları, Ekoyapı Dergisi <https://www.ekoyapidergisi.org/binaya-entegre-fotovoltaik-sistemlerin-mimaride-kullanimlari> (Erişim Tarihi: 08.09.2023)
- Venturelli, M., vd., (2023). Combined numerical approach for the evaluation of the energy efficiency and economic investment of building external insulation technologies
- Villegas, R. R., vd., (2019). Life Cycle Assessment of Building Renovation Measures—Trade-off between Building Materials and Energy
- Viracon, (2023, Ekim 4) <https://www.viracon.com/smart-glass/>
- Yağlı, S. (2019). Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler
- Yılankıran, N. & Doğan, H. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu; Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi Cilt 10, Sayı 2
- Yüceer, N., S. (2011). Mimari Tasarımda İklim Çözümleme: İstanbul Üzerine Bir Deneme
- Ytong. (2023, Eylül 18). <https://ytong.com.tr/blogdetay.asp?blogID=10#:~:text=U%20De%C4%9Feri%20mantolama%20uygulamalar%C4%B1nda%20oldu%C4%9Fu,amac%C4%B1%0U%20de%C4%9Ferinin%20olabildi%C4%9Fince%20azalt%C4%B1lmas%C4%Bd%C4%B1r.>
- Zakurullin, R. (2020). Akıllı pencereler için ızgaralı optik filtreler: Malzemeler, hesaplamalar ve beklentiler[J]. AIMS Malzeme Bilimi, 2020, 7(6): 720-771. doi: 10.3934/matricsci.2020.6.720
- Zerobuild Türkiye. (2023, Eylül 16). <https://www.turkiye.zerobuild.org/thermal-insulation?lang=tr>
- Weatherspark, (2024, Şubat 15). <https://tr.weatherspark.com/y/101227/EI%C3%A2z%C4%B1%C4%9FT%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca>
- Westgateresidence, (2023, Ekim 2). <https://www.westgateresidence.com/media/8.jpeg>

Wu, S., vd., (2023). Applications of thermochromic and electrochromic smart windows: Materials to buildings



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

TUĞAL, Merve Gül

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece

Kurum

Mezuniyet Yılı

Yüksek Lisans

Dicle Üniversitesi

2024

Lisans

Mustafa Kemal Üniversitesi

2017

Lise

Kaya Karakaya Anadolu Lisesi

2012

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)

Şirket, Kurum

Görev

2021- ...

İller Bankası
Elazığ Bölge Müdürlüğü

Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Merve Gül TUĞAL
Öğrenci No	20808033
Ana Bilim Dalı	Mimarlık
Program Türü	Proje ☐ Yüksek Lisans ☒ Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEK
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	
Tez Başlığı	Cephelerde Kullanılan Şeffaf Yapı (Cam) Malzemelerinin Isı Yalıtımı Açısından TS 825 Hesap Programında Değerlendirilmesi: Elazığ Sahra Royal Sitesi Örneği
RAPOR BİLGİLERİ	
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası
Sayfa Sayısı	130
Raporlama Tarihi	23.04.2024
Benzerlik Oranı (%)	22

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 130 sayfalık kısmına ilişkin, 23/04/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 22 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐ Kaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☒ Diğer (Herşey dâhil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Merve Gül TUĞAL

Tarih:

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEK

İmza:

Tarih: 09.05.2024

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Havva ÖZYILMAZ

İmza:

Tarih: 09.05.2024